

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS:

**Elaboración de adobe con fibras de PET reciclado para
mejorar la resistencia a la humedad y fluctuaciones térmicas
en Huayrapata, Ayacucho 2024**

Para optar el título profesional de:
INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:

Bach. Yesven Julio RAMIREZ ESPINOZA

ASESOR:

Mtro. Carlos Augusto CASTAÑEDA ESQUÉN

AYACUCHO - PERÚ

2026

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, quien con su infinita sabiduría y bondad me ha brindado la fortaleza, salud y oportunidades necesarias para completar esta etapa de mi vida con éxito, guiándome siempre en cada paso de este camino.

A mis amados padres, mi esposa y mi hijo Gamaliel, por ser mi fuente constante de inspiración y apoyo incondicional, llenándome de ánimo en los momentos difíciles y celebrando conmigo cada logro alcanzado.

Extiendo también mi más sincera gratitud a mis profesores y mentores, quienes con su paciencia, conocimientos y motivación han sido pilares fundamentales en mi formación académica y profesional. Este trabajo es reflejo del esfuerzo compartido y de las enseñanzas recibidas durante este proceso de aprendizaje.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero reconocimiento a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, por brindarme la oportunidad de formarme académica y profesionalmente. Los conocimientos, valores y experiencias adquiridos durante mi formación que fueron fundamentales para la realización de esta investigación.

A mi asesor de tesis, Mtro. Carlos Augusto Castañeda Esquen, le manifiesto mi especial gratitud por su constante orientación, dedicación, paciencia y valiosos aportes, los cuales fueron esenciales para el desarrollo y culminación de este trabajo.

De igual manera, hago llegar mi reconocimiento a la Comisión de Revisión, presidida por el M.Sc. Federico Quicaño Suárez e integrada por el Ing. Vance Giorgio Fernández Huamán y el Ing. John Samuel Cazorla Orihuela, por la revisión del presente estudio y por las observaciones y recomendaciones que enriquecieron su contenido académico.

Expreso igualmente mi agradecimiento al Laboratorio INGEOTECON por las facilidades brindadas y el apoyo recibido durante la ejecución de la presente investigación.

Asimismo, extiendo mi agradecimiento a Luis Alberto Rivera Huamancusi, por su disposición, colaboración y apoyo durante las distintas etapas de este estudio.

Reconozco igualmente la labor de todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, quienes, con sus enseñanzas, experiencia y compromiso, contribuyeron significativamente a mi formación profesional.

Finalmente, dedico un agradecimiento muy especial a mi familia, por su cariño, confianza, comprensión y apoyo incondicional. Su permanente motivación y acompañamiento que fueron el impulso que me permitió afrontar los desafíos de este camino y alcanzar esta importante meta.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	xiv
RESUMEN.....	15
ABSTRACT.....	16
INTRODUCCIÓN	17
Objetivos	18
<i>Objetivo general</i>	<i>18</i>
<i>Objetivos específicos</i>	<i>18</i>
CAPÍTULO I.....	19
MARCO TEÓRICO	19
1.1. Antecedentes.....	19
1.1.1. Antecedentes internacionales	19
1.2. Bases teóricas	21
1.2.1. Definición de adobe.....	21
1.2.2. Características del adobe	21
1.2.3. Componentes del adobe	21
1.2.4. Generalidades a tener en cuenta.....	22
1.2.5. Terreno apto para la fabricación.....	22
1.2.6. Prueba de la botella.....	23
1.2.7. Cinta de barro.....	24
1.2.8. Límite Atterberg de líquido.....	24
1.2.9. Propiedades del adobe.....	24
1.2.10. Resistencia a la compresión.....	25
1.2.11. Propiedades mecánicas del adobe.....	25
1.2.12. Definición de Tereftalato de Polietileno (PET)	26
1.2.13. Tipos de plástico según su plasticidad.....	26
1.2.14. Principales propiedades del PET.....	27
1.2.15. Estructura química.....	27
1.2.16. Propiedades del PET.....	27

1.2.17. Reciclaje del PET	28
1.2.18. Incorporación de PET en Materiales de Construcción	29
1.2.19. Resistencia Térmica y Estructural del Adobe con PET	29
1.2.20. Sostenibilidad Ambiental en la Construcción con Adobe	30
1.2.21. Aportación de Materiales Reciclados en Climas Adversos	30
1.2.22. Adaptación de Técnicas Sostenibles a Contextos Rurales	30
1.2.23. Definición de humedad	30
1.2.24. Humedad del suelo y como monitorearla.....	31
1.2.24. Humedad y compactación	32
1.2.25. Fluctuaciones térmicas.....	33
CAPÍTULO II.....	34
MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	34
2.1. Aspectos metodológicos	34
2.1.1. Ubicación	37
2.1.2. Vías de acceso	38
2.2. Materiales y equipos	39
2.4.1. Materiales.....	39
2.4.2. Equipos	39
2.3. Diseño de la investigación	40
2.4. Procedimientos	40
CAPÍTULO III.....	70
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	70
3.1. Resultados.....	70
3.1.1 Determinar las características físicas del suelo y la dosificación de las fibras PET recicladas para la elaboración del adobe tradicional.....	70
3.1.2. Evaluar la resistencia a la compresión, densidad, absorción de agua, conductividad térmica y fluctuación térmica del adobe patrón y de los adobes reforzados con 1%, 3% y 7% de PET.	74
3.1.3. Comparar los resultados del adobe patrón versus los adobes reforzados al 1%, 3% y 7% determinando el porcentaje óptimo de incorporación de fibras PET..	89
3.2. Discusiones	100
3.2.1 Determinación de las características físicas del suelo y la dosificación de las fibras PET recicladas para la elaboración del adobe tradicional.....	100
3.2.2. Evaluación de la resistencia a la compresión, densidad, absorción de agua, conductividad y fluctuación térmica del adobe patrón y de los adobes reforzados con 1%, 3% y 7% de PET.....	101

3.2.3. Comparación de los resultados del adobe patrón versus los adobes reforzados al 1%, 3% y 7% determinando el porcentaje óptimo de incorporación de fibras PET	102
CAPÍTULO IV.	104
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
4.1. Conclusiones	104
4.2. Recomendaciones	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Propiedades del adobe</i>	24
Tabla 2 <i>Capacidad de retención de humedad aprovechable en suelos con diferentes texturas</i>	31
Tabla 3 <i>Distribución de muestras por tipo de ensayo</i>	35
Tabla 4 <i>Análisis de las variables</i>	36
Tabla 5 <i>Vías de acceso</i>	39
Tabla 6 <i>Pesos para el cubo de adobe con ichu</i>	56
Tabla 7 <i>Pesos para el cubo de adobe con PET</i>	56
Tabla 8 <i>Pesos para el ladrillo de adobe con ichu</i>	58
Tabla 9 <i>Pesos para el ladrillo de adobe con PET</i>	58
Tabla 10 <i>Análisis granulométrico</i>	70
Tabla 11 <i>Determinación del Limite Plástico</i>	72
Tabla 12 <i>Resultados del ensayo de Limites de Atterberg</i>	72
Tabla 13 <i>Composición del suelo extraído</i>	72
Tabla 14 <i>Clasificación SUCS</i>	73
Tabla 15 <i>Resultados de los cálculos de materiales para las unidades de adobe de forma cúbica (10×10×10 cm³)</i>	73
Tabla 16 <i>Resultados de los cálculos de materiales para las unidades de adobe de forma rectangular (22×11×8 cm³) empleadas en la formación de un murete</i>	74
Tabla 17 <i>Resistencia a la compresión en unidades de adobe patrón</i>	74
Tabla 18 <i>Resistencia a la compresión en unidades de adobe con 1% de fibras PET</i> ..	74
Tabla 19 <i>Resistencia a la compresión en unidades de adobe con 3% de fibras PET</i> ..	75
Tabla 20 <i>Resistencia a la compresión en unidades de adobe con 7% de fibras PET</i> ..	75
Tabla 21 <i>Resumen del promedio de la resistencia a la compresión en unidades de adobe patrón y con fibras PET</i>	76
Tabla 22 <i>Resumen del promedio de la resistencia a la compresión de las 4 mejores unidades de adobe patrón y con fibras PET</i>	76
Tabla 23 <i>Resistencia a la compresión en muretes de adobe patrón, de ladrillos con dimensiones de 22×11×8 cm³</i>	77
Tabla 24 <i>Resistencia a la compresión en muretes de adobe, de ladrillos con dimensiones de 22×11×8 cm³, con 1 % de fibras PET</i>	77
Tabla 25 <i>Resistencia a la compresión en muretes de adobe, de ladrillos con dimensiones de 22×11×8 cm³, con 3 % de fibras PET</i>	78

Tabla 26 Resistencia a la compresión en muretes de adobe, de ladrillos con dimensiones de 22×11×8 cm ³ , con 7 % de fibras PET	78
Tabla 27 Resumen del promedio de la resistencia a la compresión en muretes de adobe patrón y con fibras PET, de ladrillos con dimensiones de 22×11×8 cm ³	79
Tabla 28 Resumen del promedio de la resistencia a la compresión de los 4 mejores muretes de adobe patrón y con fibras PET, de ladrillos con dimensiones de 22×11×8 cm ³	79
Tabla 29 Densidad en unidades de adobe patrón	80
Tabla 30 Densidad en unidades de adobe con 1% de fibras PET	80
Tabla 31 Densidad en unidades de adobe con 3% de fibras PET	81
Tabla 32 Densidad en unidades de adobe con 7% de fibras PET	81
Tabla 33 Resumen del promedio de densidad en unidades de adobe patrón y con fibras PET	81
Tabla 34 Porcentaje de absorción de agua en unidades de adobe patrón	82
Tabla 35 Porcentaje de absorción de agua en unidades de adobe (10x10x10 cm ³) con 1% de fibras PET	82
Tabla 36 Porcentaje de absorción de agua en unidades de adobe con 3% de fibras PET	83
Tabla 37 Porcentaje de absorción de agua en unidades de adobe con 7% de fibras PET	83
Tabla 38 Resumen del promedio del porcentaje de absorción de agua en unidades de adobe (10x10x10 cm ³) patrón y con fibras PET	83
Tabla 39 Conductividad térmica en unidades del adobe (10x10x10 cm ³) patrón	84
Tabla 40 Conductividad térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm ³) con 1% de fibras PET	85
Tabla 41 Conductividad térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm ³) con 3% de fibras PET	85
Tabla 42 Conductividad térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm ³) con 7% de fibras PET	85
Tabla 43 Resumen de la conductividad térmica de las unidades de adobe patrón (10x10x10 cm ³) y con fibras PET	86
Tabla 44 Fluctuación térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm ³) patrón	87
Tabla 45 Fluctuación térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm ³) con 1% de fibras PET	87
Tabla 46 Fluctuación térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm ³) con 3% de fibras PET	87
Tabla 47 Fluctuación térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm ³) con 7% de fibras PET	88

Tabla 48 <i>Resumen de la fluctuación térmica de las unidades de adobe (10x10x10 cm³) patrón y con fibras PET</i>	88
Tabla 49 <i>Porcentaje de reducción de la densidad en las unidades de adobe(10x10x10 cm³)</i>	93
Tabla 50 <i>Porcentaje de reducción de la absorción en las unidades de adobe (10x10x10 cm³) con fibras PET</i>	93
Tabla 51 <i>Porcentaje de reducción de la conductividad térmica en las unidades de adobe</i>	94
Tabla 52 <i>Porcentaje de reducción de la fluctuación térmica (ΔM) en las unidades de adobe con fibras PET</i>	95
Tabla 53 <i>Resistencia a la compresión de unidades de adobe (10x10x10 cm³) , muretes y densidad</i>	96
Tabla 54 <i>Absorción, conductividad térmica y fluctuación térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm³)</i>	96
Tabla 55 <i>Análisis de varianza (ANOVA) para las propiedades evaluadas</i>	97
Tabla 56 <i>Comparaciones de Tukey e Densidad en unidades de adobe (10x10x10 cm³)</i>	98
Tabla 57 <i>Comparaciones de Tukey - Fluctuación térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm³)</i>	98
Tabla 58 <i>Resistencia a la compresión – unidades en unidades de adobe (10x10x10 cm³)</i>	99
Tabla 59 <i>Resistencia a la compresión – muretes</i>	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Prueba granulometría</i>	23
Figura 2 <i>Estructura química del PET</i>	27
Figura 3 <i>Ejemplar de construcciones con adobe y plástico</i>	28
Figura 4 <i>Resistencia estructural</i>	29
Figura 5 <i>Humedad óptima de compactación</i>	33
Figura 6 <i>Ubicación satelital del área de proyecto</i>	37
Figura 7 <i>Ubicación política del área de proyecto</i>	38
Figura 8 <i>Recolección de muestra de tierra para laboratorio</i>	41
Figura 9 <i>Recolección de PET reciclado</i>	41
Figura 10 <i>Recolección de ichu</i>	42
Figura 11 <i>Materiales para la evaluación de arcilla</i>	42
Figura 12 <i>Preparación de mezcla</i>	43
Figura 13 <i>Prueba de Resistencia seca</i>	43
Figura 14 <i>Prueba de cinta de barro</i>	44
Figura 15 <i>Saco de tierra para su respectivo ensayo de mecánica de suelos</i>	44
Figura 16 <i>Procedimiento de cuarteo</i>	45
Figura 17 <i>Separación de materiales utilizando la malla N°4</i>	45
Figura 18 <i>Rotura de tierra seca de forma de grava</i>	46
Figura 19 <i>Agregado grueso de tamiz N°4</i>	46
Figura 20 <i>Clasificación de agregado grueso</i>	46
Figura 21 <i>Pesaje de material en la balanza digital</i>	47
Figura 22 <i>Pesado del material total</i>	47
Figura 23 <i>Pesado del material seleccionado</i>	47
Figura 24 <i>Lavado del material</i>	48
Figura 25 <i>Secado en el horno</i>	48
Figura 26 <i>Muestra retirada del horno</i>	48
Figura 27 <i>Pesado de la muestra seca y tamizado</i>	49
Figura 28 <i>Muestras que paso el tamiz N°40</i>	49
Figura 29 <i>Echado de agua destilada sobre la muestra seca</i>	50
Figura 30 <i>División de suelo en dos secciones simétricas en la taza de la copa de Casagrande</i>	50
Figura 31 <i>Muestra dividida</i>	51

Figura 32 <i>Porción de suelo del área de contacto</i>	51
Figura 33 <i>Porción de muestra sobrante del ensayo limite liquido</i>	52
Figura 34 <i>Muestra de 6g</i>	52
Figura 35 <i>Ichu</i>	53
Figura 36 <i>Realizando tiras PET</i>	54
Figura 37 <i>Dimensión de los cubos de adobe</i>	54
Figura 38 <i>Diseño e muretes en vista en elevación y en planta</i>	54
Figura 39 <i>Mezcla de tierra en el molde de 10x10x10 cm³</i>	55
Figura 40 <i>Desmolde de la mezcla de tierra</i>	55
Figura 41 <i>Cantidad de materiales de PET e Ichu calculados</i>	58
Figura 42 <i>Mezcla de materiales con el agua</i>	59
Figura 43 <i>Colocación de la mezcla en los moldes de cubos y ladrillos</i>	59
Figura 44 <i>Desmoldado de los cubos y ladrillos</i>	60
Figura 45 <i>Unidad de adobe</i>	60
Figura 46 <i>Unidades de adobe de 10x10x10 cm³</i>	61
Figura 47 <i>Ensayo de resistencia con el adobe patrón y fibras PET de cubos de 10x10x10 cm³</i>	62
Figura 48 <i>Unidades de adobes con 4 hileras para la compresión</i>	63
Figura 49 <i>Resistencia de compresión los adobes</i>	63
Figura 50 <i>Prueba de densidad</i>	64
Figura 51 <i>Espécimen recubierto sumergido en agua</i>	65
Figura 52 <i>Saturación total de especímenes</i>	65
Figura 53 <i>Medida del peso de la muestra totalmente saturada</i>	66
Figura 54 <i>Secado de muestras en el horno</i>	66
Figura 55 <i>Medidor de Conductividad térmica (Thermtest TLS-100)</i>	67
Figura 56 <i>Muestras de adobe patrón y adobe con fibras</i>	67
Figura 57 <i>Prueba de conductividad térmica en las muestras</i>	68
Figura 58 <i>Curva de distribución Granulométrica</i>	71
Figura 59 <i>Limite Liquido</i>	71
Figura 60 <i>Promedio de la resistencia a la compresión de las unidades de adobe</i>	76
Figura 61 <i>Promedio de la resistencia a la compresión de los muretes de adobe</i>	80
Figura 62 <i>Densidad promedio de las muestras de adobe</i>	82
Figura 63 <i>Porcentaje de absorción promedio de las unidades de adobe (10x10x10 cm³)</i>	84

Figura 64 <i>Conductividad térmica promedio de las unidades de adobe (10x10x10 cm³)</i>	86
Figura 65 <i>Fluctuación térmica promedio de las unidades de adobe (10x10x10 cm³)</i> ...	88
Figura 66 <i>Variación de las resistencias a la compresión de las unidades de adobe de forma cubica (10x10x10 cm³) patrón y adobe con fibras PET</i>	89
Figura 67 <i>Variación de las resistencias a la compresión de los muretes de adobe patrón y adobe con fibras PET</i>	91
Figura 68 <i>Resistencia a la compresión en unidades de adobe ensayadas vs resistencia a la compresión en unidades de adobe de forma cubica (10x10x10 cm³) según norma E.080</i>	91
Figura 69 <i>Resistencia a la compresión en muretes de adobe ensayados vs resistencia a la compresión en muretes de adobe según norma E.080</i>	92
Figura 70 <i>Variación porcentual de las propiedades evaluadas respecto al adobe patrón, según dosificación de fibras PET</i>	97
Figura 71 <i>Comparación de las propiedades del adobe patrón y con fibras PET (1 %, 3 % y 7 %), con significancia estadística (Tukey)</i>	100

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos A Panel Fotografico	112
Anexos B Plano de ubicación y localización	118
Anexos C Evaluación económica de la elaboración de adobe con ichu y con fibras de Pet reciclado.....	111
Anexos D Resultados de ensayos de laboratorio.....	122

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Sigla	Definición
PET	: Tereftalato de Polietileno
ASTM	: Sociedad Americana para Ensayos y Materiales
NTP	: Norma Técnica Peruana
SENCICO	: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
UTM	: Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator
WGS	: Sistema Geodésico Mundial
E.080	: Norma Técnica de Edificaciones - Diseño y Construcción con Tierra Reforzada
E.070	: Norma Técnica de Edificaciones - Albañilería

RESUMEN

El presente estudio determinó el efecto de la incorporación de fibras de tereftalato de polietileno (PET) reciclado en la resistencia a la humedad y las fluctuaciones térmicas del adobe tradicional en Huayrapata, Ayacucho, 2024, mediante un diseño experimental de enfoque cuantitativo. Se determinaron las características físicas del suelo, clasificado como tipo CL (arcilla de baja plasticidad) según el sistema SUCS, en función del cual se estableció la dosificación de fibras PET en 1 %, 3 % y 7 % respecto al adobe patrón. Mediante ensayos de laboratorio se evaluó la resistencia a la compresión en unidades y muretes, la densidad, la absorción de agua, la conductividad térmica y la fluctuación térmica (ΔM), conforme a la norma E.080. Se determinó que el 7 % constituye el porcentaje óptimo, al presentar el mejor desempeño integral: la resistencia a la compresión aumentó en 21 % en unidades y 64 % en muretes; la densidad se redujo en 16 %; la absorción de agua disminuyó en 12 %; la conductividad térmica se redujo en 36 %; y la fluctuación térmica disminuyó en 37 %, respecto al adobe patrón. El análisis estadístico (ANOVA y prueba de Tukey) confirmó que estas diferencias son significativas para la resistencia a la compresión, la densidad y la fluctuación térmica, mientras que en la absorción de agua y la conductividad térmica se observó una tendencia favorable sin significancia estadística. Tanto el adobe patrón como los reforzados con PET cumplieron con la resistencia mínima establecida en la norma E.080. En conclusión, la incorporación de fibras PET al 7 % tiene un efecto positivo e integral sobre las propiedades físicas, mecánicas y térmicas del adobe tradicional, favoreciendo la durabilidad de las viviendas rurales frente a la humedad y las variaciones térmicas, además de contribuir a la reducción de residuos plásticos en Ayacucho.

Palabras clave: adobe, fibras PET recicladas, resistencia a la compresión, absorción de agua, conductividad térmica, fluctuación térmica.

ABSTRACT

The present study determined the effect of incorporating recycled polyethylene terephthalate (PET) fibers on the resistance to moisture and thermal fluctuations of traditional adobe in Huayrapata, Ayacucho, 2024, through a quantitative experimental design. The physical characteristics of the soil were determined, classified as CL-type (low-plasticity clay) according to the USCS system, based on which the dosage of PET fibers was established at 1%, 3%, and 7% relative to the control adobe. Through laboratory tests, the compressive strength in units and wallettes, density, water absorption, thermal conductivity, and thermal fluctuation (ΔM) were evaluated, in accordance with the E.080 standard. It was determined that 7% constitutes the optimal percentage, presenting the best overall performance: compressive strength increased by 21% in units and 64% in wallettes; density decreased by 16%; water absorption decreased by 12%; thermal conductivity decreased by 36%; and thermal fluctuation decreased by 37%, compared to the control adobe. Statistical analysis (ANOVA and Tukey test) confirmed that these differences were significant for compressive strength, density, and thermal fluctuation, while water absorption and thermal conductivity showed a favorable trend without statistical significance. Both the control adobe and the PET-reinforced adobes met the minimum compressive strength required by the E.080 standard. In conclusion, the incorporation of 7% recycled PET fibers has a positive and comprehensive effect on the physical, mechanical, and thermal properties of traditional adobe, enhancing the durability of rural housing against moisture and thermal variation, while also contributing to the reduction of plastic waste in Ayacucho.

Keywords: adobe, recycled PET fibers, compressive strength, water absorption, thermal conductivity, thermal fluctuation.

INTRODUCCIÓN

La construcción con adobe, una técnica con raíces ancestrales, sigue siendo popular en las áreas rurales de Perú. Su uso se debe a su bajo costo y la facilidad para obtener materiales locales como la tierra y el agua. Además, el adobe ofrece un aislamiento térmico que resulta ideal en climas templados (García et al., 2017). No obstante, con los cambios que trae el clima actual, el adobe enfrenta nuevos retos, sobre todo en lugares como Huayrapata, Ayacucho. En estas áreas, el aumento de la humedad y las variaciones bruscas de temperatura provocan un desgaste acelerado del material, exigiendo reparaciones frecuentes para conservar la estabilidad de las construcciones (Urbano, 2019).

Los efectos del clima en las construcciones de adobe se explican por la tendencia de este material a absorber agua, lo que compromete su estabilidad estructural. Las lluvias y los cambios extremos de temperatura causan fisuras y debilitan las paredes, afectando tanto la funcionalidad de las viviendas como la seguridad de sus ocupantes (Guevara y Silva, 2018). En este contexto, surge la necesidad de explorar alternativas que refuercen las propiedades físicas del adobe, haciéndolo más resistente a los factores climáticos sin perder sus ventajas de costo y accesibilidad.

Una alternativa interesante es incorporar materiales reciclados, como las fibras de PET, en la elaboración de adobes. El PET (tereftalato de polietileno), conocido por su uso en botellas plásticas y otros envases, puede ser reciclado en el ámbito de la construcción. Su integración no solo disminuye la acumulación de residuos plásticos, sino que también brinda al adobe una mayor resistencia al agua y estabilidad frente a los cambios de temperatura (Zeña, 2022 y Campos, 2018). Además, este enfoque es amigable con el medio ambiente y se adapta bien a los objetivos de desarrollo rural, permitiendo que recursos reciclados y accesibles mejoren el rendimiento de los materiales de construcción tradicionales.

Este proyecto se enfoca en analizar cómo la inclusión de fibras de PET reciclado puede incrementar la resistencia del adobe a la humedad y a las variaciones de temperatura. La investigación se llevará a cabo en la comunidad de Huayrapata, Ayacucho, donde se estudiará el comportamiento de adobes con distintas proporciones de PET, evaluando su desempeño mediante pruebas de resistencia y absorción de humedad.

Acuña y Navarro (2024) señalan que la meta es establecer un modelo de construcción que ofrezca soluciones prácticas y accesibles, contribuyendo al desarrollo de viviendas más resistentes y sostenibles en áreas rurales.

Objetivos

Objetivo general

Determinar el efecto de la incorporación de fibras PET reciclado en la resistencia a la humedad y las fluctuaciones térmicas del adobe tradicional en Huayrapata, Ayacucho 2024.

Objetivos específicos

- Determinar las características físicas del suelo y la dosificación de las fibras PET recicladas para la elaboración del adobe tradicional en Huayrapata, Ayacucho 2024.
- Evaluar la resistencia a la compresión, densidad, absorción de agua, conductividad térmica y fluctuación térmica del adobe patrón y de los adobes reforzados con 1%, 3% y 7% de PET, mediante ensayos de laboratorio en Huayrapata, Ayacucho, 2024.
- Comparar los resultados del adobe patrón versus los adobes reforzados al 1%, 3% y 7% determinando el porcentaje óptimo de incorporación de fibras PET Huayrapata, Ayacucho 2024.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. Antecedentes internacionales

Núñez et al. (2021) en su artículo científico titulado "Adición de botellas plásticas PET 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, provincia de Tungurahua", publicado en la revista *Ciencia Digital* de Ecuador, plantearon como objetivo analizar los resultados del estudio de la variación de temperatura y acondicionamiento acústico en bloques de adobe con adición de plástico triturado tipo PET. La metodología empleada tuvo un diseño de investigación experimental, cuantitativo y cualitativo; la elaboración de los bloques de adobe se efectuó bajo los parámetros de la norma peruana E.080, adicionando plástico triturado PET en función del volumen del suelo utilizado en proporciones de 0%, 5%, 10% y 15%; para el análisis de temperatura y sonido se emplearon normas chilenas mediante el uso de una cámara hermética. Los resultados obtenidos demostraron que al incrementar el porcentaje de PET se aumenta la aislación ante la temperatura externa, registrándose una temperatura ambiente de 15°C, y en lo referente al acondicionamiento acústico se obtuvo un aumento en el nivel de aislamiento de 50.97% del nivel máximo emitido por la fuente. En conclusión, la adición de plástico PET incrementa las propiedades de aislamiento acústico y térmico del adobe, manteniendo siempre una relación en la que no se disminuya su resistencia mínima, lo que constituye un referente directo para la presente investigación en cuanto a la evaluación del comportamiento térmico del adobe mejorado con PET en zonas como Huayrapata, Ayacucho, donde las fluctuaciones térmicas representan una de las principales amenazas para las viviendas tradicionales.

Cáceres y Quispe (2024) en el estudio titulado "Comparación de las propiedades del adobe elaborado con fibras PET frente a otro con paja para viviendas rurales en Anta

– Huancavelica", desarrollado en la Universidad Nacional de Huancavelica, plantearon como objetivo comparar las propiedades físicas y mecánicas del adobe elaborado con fibras PET frente al adobe con paja de cebada, en una zona rural de condiciones climáticas adversas. La metodología consistió en la elaboración de unidades de adobe con adición de paja de cebada al 0%, 5% y 10%, y fibras PET al 4% y 6%, en el Centro Poblado Buena Vista Patacancha del distrito de Anta – Acobamba – Huancavelica; se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas mediante ensayos de succión, absorción de agua y resistencia a la compresión. Los resultados obtenidos en el ensayo de absorción demostraron que el adobe con fibras PET al 6% presentó el mejor comportamiento, con un valor de 10.34% en 6 horas y 2.47% en 1 hora, siendo este el resultado más bajo registrado, lo que indica una menor absorción de agua respecto a las demás combinaciones; además, la resistencia a la compresión de los adobes con fibras PET se mantuvo dentro de los parámetros mínimos de la Norma E.080, equivalentes a 10.20 kg/cm², y los adobes con fibras PET presentaron una mejora de 0.06 mm en el ensayo de alabeo respecto a los adobes con paja de cebada. En conclusión, el estudio evidenció que la adición de fibras PET al 6% mejora las propiedades de absorción y resistencia del adobe frente al tratamiento con paja tradicional, constituyendo un antecedente de alta pertinencia para la presente investigación por su contexto rural andino y su enfoque en la resistencia del material ante la humedad.

Quispe y Huanca (2022) representados en el estudio titulado "Adición de fibras PET en el adobe para aumentar la capacidad resistente a la compresión, reducir la densidad, el porcentaje de absorción de agua y la conductividad térmica en las viviendas de la zona rural de Ayacucho-Perú", desarrollado en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), plantearon como objetivo determinar el efecto de las fibras PET en la resistencia a la compresión, densidad, porcentaje de absorción y conductividad térmica del adobe. La metodología consistió en la elaboración de muestras de adobe patrón y muestras de adobe con fibras PET en proporciones de 2%, 4% y 6%, sometiénolas a ensayos basados en la norma E.080 (adobe) y E.070 (albañilería); el estudio se llevó a cabo en la comunidad de Rancho, en la región de Ayacucho, donde predominan las viviendas de adobe. Los resultados determinaron que el porcentaje óptimo de fibras PET fue el 6%, logrando que la resistencia a la compresión en unidades aumentara en un 19% y en muretes en un 62%; asimismo, la densidad se redujo en 16.4%, el porcentaje de absorción de agua disminuyó en 12% y la conductividad térmica se redujo en 35%. En conclusión, la investigación demostró que la incorporación de fibras PET en el adobe mejora de manera integral sus propiedades físico-mecánicas y térmicas, siendo de

especial relevancia para la presente tesis dado que fue desarrollada en la misma región de Ayacucho, en condiciones climáticas similares a las de Huayrapata

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Definición de adobe

El adobe es un material ecológico utilizado en la construcción, creado a partir de una mezcla de tierra como componente principal, combinada con subproductos como arcilla, limo, arena, agua y paja. Una vez moldeado en formas rectangulares o cuadradas y secado al sol en adoberas, el adobe sigue siendo ampliamente utilizado hoy en día, gracias a su fácil acceso y su proceso de fabricación simple (Guerrero, 2014).

1.2.2. Características del adobe

Una de las mayores ventajas del adobe es lo sencillo que resulta fabricarlo. Además, es reutilizable, ecológico y no genera impacto ambiental, ya que se seca naturalmente al sol sin necesidad de cocción en horno. Sin embargo, no es recomendable para construir en áreas con lluvias intensas, en laderas, en zonas de alta humedad o con actividad sísmica. Su uso está sugerido solo para edificaciones de hasta dos pisos (Guerrero, 2014).

1.2.3. Componentes del adobe

Los componentes principales del adobe son la arcilla y la arena. Si la mezcla no contiene suficiente arcilla, se pueden añadir tierra y agua, aunque esto puede afectar la fuerza y consistencia del adobe. Por otro lado, la falta de arena puede provocar grietas en el material debido a la contracción que ocurre durante el secado (Brito et al., 2021).

Arena: La arena está compuesta de partículas pequeñas, como piedras o minerales, que miden entre 0.063 y 2 mm. Estas partículas provienen de la erosión de rocas más grandes (Brito et al., 2021).

Limo: El limo es transportado por el viento y cuerpos de agua como ríos y arroyos, acumulándose en zonas inundadas o en áreas donde el agua fluye libremente. Sus partículas son pequeñas, con un diámetro que varía entre 0.0039 y 0.0625 mm (Brito et al., 2021).

Arcilla: La arcilla está formada por fragmentos de roca descompuesta, principalmente silicatos que contienen feldespatos, y a menudo proviene de rocas como el granito. Para considerarse arcilla, las partículas deben ser menores de 0.002 mm (Brito et al., 2021).

Paja: La paja, también conocida como ichu en las zonas andinas, es una planta que crece en las alturas del Cusco, a unos 3,350 metros sobre el nivel del mar. También sirve como alimento para camélidos en regiones altoandinas como Apurímac y Cerro de Pasco. Para el adobe, se utiliza en trozos de unos 10 cm de largo y de 0.5 a 1 mm de grosor (Brito et al., 2021). Las fibras vegetales, como la paja, mejoran la mezcla de adobe al hacerla más rugosa, lo que facilita la adhesión entre los materiales y reduce el peso total de la estructura (Brito et al., 2021).

Agua: El agua es fundamental para fabricar adobe y debe estar limpia, sin impurezas como cloruros o sulfatos. Su función en la mezcla es lubricar las partículas de barro, y tanto su exceso como su falta pueden afectar el resultado final. Una mezcla demasiado húmeda o seca influye en la resistencia y durabilidad del adobe. En general, la cantidad de agua ideal está entre el 8 % y el 16 % del total de la mezcla (Brito et al., 2021).

1.2.4. Generalidades a tener en cuenta

La mezcla del suelo para fabricar adobe debería contener aproximadamente entre un 10 y 20 % de arcilla, un 15 y 21 % de limo, y entre un 55 y 70 % de arena. Es importante evitar suelos orgánicos, ya que pueden afectar la calidad del adobe mejorado. Además, el adobe debe ser estable y tener únicamente huecos verticales en la base, que es su área de apoyo más amplia, y estos huecos no deben superar el 3 % de esa superficie. Para garantizar su resistencia y durabilidad, los adobes también deben estar libres de impurezas, grietas y cualquier otro elemento que pueda debilitarlos (Moscoso, 2016).

1.2.5. Terreno apto para la fabricación

Analizando nos darán a ver las características si son apropiadas para la realización de los adobes, a continuación, describimos las pruebas.

a) Olor a tierra

El objetivo de este ensayo es coger una porción de material in situ y olerlo para ver si tiene material orgánico en descomposición (olor desagradable) si este es verídico se busca otro lugar (SENCICO, 2020).

- Se saca tres muestras de suelo en cantera.
- Se procede a olerlo.
- Si tiene olor rancio o nauseabundo corresponde a material orgánico en descomposición se procede a buscar otra cantera.

b) Color de tierra

La prueba de color de tierra se desarrolla con tierra seca in situ, si fuese tierra mojada daría lugar a equivocación (SENCICO, 2020)

Pasos a seguir:

- Se saca tres muestras de suelo in situ.
- Si son colores negros, marrones y verdes.
- Si es gris, el suelo contiene componentes fangosos y carbonato de calcio, y tiene pocas propiedades aglutinantes.

c) Textura de tierra

En esta prueba palpamos la textura en una pequeña muestra utilizando la mano, palpamos y sentimos el tamaño de partículas mayores y menores. (SENCICO, 2020)

Pasos a seguir:

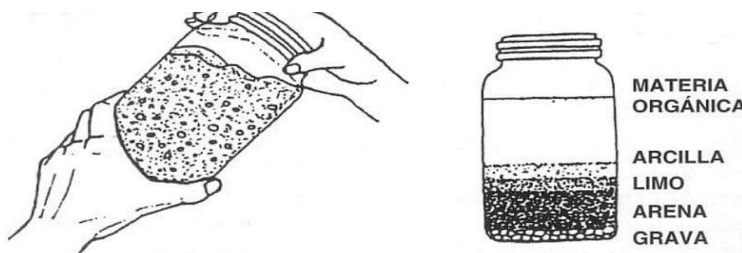
- Se saca tres muestras de suelo in situ.
- Palpamos su textura del suelo.

1.2.6. Prueba de la botella

Según, SENCICO (2020), su objetivo es ver las cantidades de arena, limos y arcillas. En la figura 1 se muestra la prueba de granulometría.

Figura 1

Prueba granulometría



Fuente: Obtenido de la revista Casas Saludables y resistentes (2018).

Pasos:

- Llenar con tierra la botella de 2.25 litro hasta su mitad de la altura.
- Llene el resto con agua y agitar la botella descartable vigorosamente hasta que logre mezclarse todo el contenido con el agua.
- Luego espere hasta que todos los contenidos de arena se depositen en el fondo.
- Al final, al medir las cantidades de arcilla, arena y limo, se sugiere ajustar la proporción de estos materiales a una relación de 2 a 1.

1.2.7. Cinta de barro

Según Huilca y Arphi (2024) señalan verificar la presencia de arcilla en el suelo, se realiza una "prueba de cinta de barro o lodo". Para esto, se toma una muestra de arcilla con suficiente agua para formar un cilindro de aproximadamente 12 mm de grosor. Luego, se aplana suavemente entre el pulgar y el índice hasta crear una tira de unos 4 mm de grosor, y se deja colgar todo lo que se pueda. Si la tira mide más de 15 cm, indica un alto contenido de arcilla; si mide menos de 5 cm, el suelo tiene poca arcilla; y si mide entre 5 y 15 cm, el contenido de arcilla es adecuado.

1.2.8. Límite Atterberg de líquido

De acuerdo con Huilca y Arphi (2024), estos ensayos permiten determinar los límites líquido y plástico de un material, lo cual es esencial para clasificar y compactar el suelo de manera óptima. Estos procedimientos siguen las indicaciones de la norma NTP 339.129. El límite líquido (LL) se define como el nivel de humedad necesario para que una muestra colocada en el dispositivo de Casagrande cierre una ranura de media pulgada tras recibir 25 golpes, aplicados a un ritmo de 2 golpes por segundo en una cápsula de bronce. Por otro lado, el límite plástico representa la menor cantidad de humedad en la que el suelo aún se puede moldear. Esto se verifica al hacer pequeñas bolitas de suelo húmedo y formar rollitos de aproximadamente 1/8 de pulgada sobre una superficie lisa y no absorbente. Si los rollitos no se agrietan, el suelo ha alcanzado el límite plástico; si se agrietan, no se cumple con el límite plástico.

1.2.9. Propiedades del adobe

Conductividad térmica: En función al estudio de Escobar y Holguino (2018), se puede conocer la conductividad térmica del adobe. En la tabla 1 se muestra las propiedades del adobe.

Tabla 1

Propiedades del adobe

Materiales de construcción	Conductividad Térmica (W/mk)
Adobe (*)	0.176
Madera (*)	0.274
Aire (**)	0.026
Yeso (*)	0.149
Vidrio (**)	0.840
Eternic (**)	0.360

Fuente: Escobar y Holguino (2018).

Nota: Conductividad térmica de distintos materiales de construcción. Adaptado de “Confort térmico en una habitación de adobe con sistema de almacenamiento de calor en los andes del Perú.

1.2.10. Resistencia a la compresión

Por otro lado, según la norma E.080 de SENCICO (2017), la resistencia mínima que debe tener el adobe es de $f_0 = 1.0 \text{ MPa}$, equivalente a 10.2 kgf/cm^2 .

Durabilidad: La norma E.080 también clasifica la durabilidad de los materiales en tres tipos: física, química y biológica. La durabilidad física se ve afectada por factores externos como la lluvia y la abrasión; la durabilidad química, por reacciones que alteran su composición; y la durabilidad biológica, por descomposición de origen orgánico.

Dimensiones: Según la misma norma E.080 (SENCICO, 2017), los adobes pueden tener forma cuadrada o rectangular, pero deben respetar ciertas proporciones. En el caso de los adobes rectangulares, la relación entre el largo y el ancho debe ser de 2 a 1, y entre el largo y el alto, de 4 a 1. Además, la altura de cada pieza debe ser mayor a 8 cm.

1.2.11. Propiedades mecánicas del adobe

a) Erosión acelerada swinburne (saet)

Este ensayo simula cómo los adobes reaccionan a la erosión superficial causada por el impacto constante de agua sobre una de sus caras, replicando los efectos de una lluvia intensa y prolongada. La prueba sigue las normas españolas UNE 41410-2008.

Procedimiento

- Se aplica un chorro continuo de líquido en el espécimen, mediante de una manguera de 2.5 mm de radio, durante el tiempo de diez minutos. La manguera está conectada a un contenedor con un nivel de líquido constante a una altura de un metro y medio, desde la superficie del espécimen.
- El adobe su Angulo de inclinación es veintisiete grados, con la base.
- Se emplea una vara pequeña de diámetro de tres milímetros, para medir la depresión que se forma.

Cuando una fuerza actúa sobre un objeto, las fibras de este generan una resistencia conocida como fuerza interna, que representa su capacidad para soportar fuerzas externas. La tensión, entonces, se refiere a la cantidad de fuerza aplicada por unidad de área. La resistencia de un material expresa su capacidad para soportar esa influencia.

Según la norma E.080, la resistencia a la compresión de los adobes debe ser mayor a 10.2 kg/cm². Para esta prueba, las unidades de adobe deben secarse durante 28 días. La resistencia a la compresión (σ) en la muestra se calcula dividiendo la carga de rotura (P) entre el área bruta (A). Para obtener la resistencia característica a compresión ($f'o$), se calcula el promedio de los resultados de cada muestra y se le resta una desviación estándar. Esta prueba sigue las normas NTP 339.613 (2005) y E.080.

1.2.12. Definición de Tereftalato de Polietileno (PET)

Según Sánchez et al. (2018), el tereftalato de polietileno (PET) es un tipo de plástico caracterizado por ser fuerte, ligero, transparente y resistente. Este material se obtiene a partir de la reacción entre el ácido tereftálico y el etilenglicol.

El PET fue producido por primera vez en 1941 por los científicos británicos Whinfield y Dickson, quienes lo patentaron como un polímero para la fabricación de fibras. En ese momento, su país se encontraba en medio de la guerra y había una urgente necesidad de encontrar alternativas al algodón, que solía importarse de Egipto (Sánchez et al., 2018).

De acuerdo con Bolaños (2019), el PET se compone de petróleo crudo, gas y aire. Para fabricar 1 kg de PET, se utiliza un 64 % de petróleo, un 23 % de derivados líquidos del gas natural y un 13 % de aire. A partir del petróleo se extrae el paraxileno, que luego se oxida con aire para producir ácido tereftálico. Por otro lado, el etileno, obtenido de derivados del gas natural, se oxida para formar etilenglicol. Al combinar el ácido tereftálico y el etilenglicol se obtiene el PET. Además, este material se identifica con el número "01", rodeado por tres flechas en la base de los envases, según el sistema de clasificación de la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI).

1.2.13. Tipos de plástico según su plasticidad

Termoplásticos: Estos plásticos se vuelven líquidos al calentarse y se solidifican al enfriarse, permitiendo repetir este proceso tantas veces como sea necesario sin perder sus propiedades originales. Aproximadamente el 81 % de los plásticos son de este tipo, lo que los hace reciclables. Algunos ejemplos de termoplásticos incluyen el polietileno, que se usa en botellas de plástico y tuberías; el polipropileno, presente en materiales de construcción y ropa; y el poliestireno, empleado en la fabricación de platos y vasos de tecnopor (Sánchez et al., 2018).

Termoestables: Estos plásticos solo pueden fundirse y moldearse una vez, durante su fabricación. Una vez enfriados, se vuelven rígidos y no pueden volver a calentarse y remodelarse, aunque pueden reprocesarse por otros métodos. Los

termoestables suelen ser más resistentes, pero también más frágiles que los termoplásticos. Entre estos plásticos están la resina de poliéster y la melamina formaldehído (Sánchez et al., 2018).

1.2.14. Principales propiedades del PET

Entre las características más destacadas del PET se encuentran su alta transparencia, que puede ser modificada con colorantes, y su notable resistencia al desgaste y a la corrosión. También presenta un excelente coeficiente de deslizamiento, junto con buena resistencia tanto química como térmica. Además, actúa como una barrera eficaz contra el CO₂, y de forma aceptable contra el oxígeno y la humedad. Es compatible con otros materiales de barrera, lo que mejora la protección de los envases y permite su uso en mercados específicos. Es reciclable, aunque su viscosidad puede disminuir después de varias exposiciones al calor. También está aprobado para productos en contacto con alimentos (Sánchez et al., 2018).

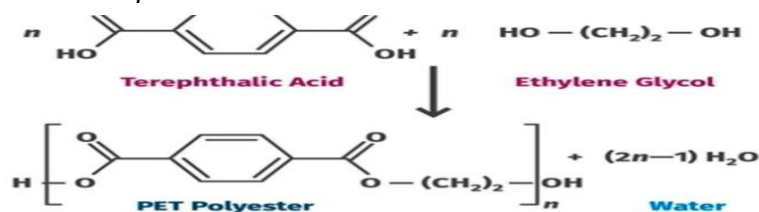
Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir con diversas especificaciones técnicas han sido clave en su desarrollo, especialmente en la fabricación de fibras textiles y una gran variedad de envases. Su uso es común en la producción de botellas, bandejas, flejes y láminas (Sánchez et al., 2018).

1.2.15. Estructura química

La estructura del PET se caracteriza por una cadena principal compuesta de grupos aromáticos, que son voluminosos y polarizables, lo cual aumenta su rigidez (ver figura 2). Además, el anillo bencénico no solo refuerza esta rigidez, sino que también le otorga al PET una mayor resistencia química frente a la saponificación (Suasnavas, 2017).

Figura 2

Estructura química del PET



Fuente: Platics Technology México (2017).

1.2.16. Propiedades del PET

Según González (2019), las principales propiedades del polímero PET para su uso en construcción son las siguientes:

Propiedades químicas: El PET tiene buena resistencia a grasas, aceites, alimentos, soluciones diluidas de ácidos minerales, sales, jabones, hidrocarburos alifáticos y alcoholes. Sin embargo, es menos resistente a solventes y sustancias aromáticas.

Propiedades físicas: El PET ofrece buenas propiedades térmicas, soporta bien los esfuerzos prolongados y actúa como una excelente barrera para el CO₂, además de ser aceptable como barrera frente al oxígeno y la humedad. También es completamente reciclable, cristalino y muestra una alta resistencia al desgaste.

Propiedad térmica: La conductividad térmica del PET se refiere a la cantidad de calor que el material permite pasar a través de él. Esta propiedad es esencial para evaluar si el plástico ofrece un buen aislamiento térmico, siendo más efectivos aquellos con valores bajos de conductividad. En el caso del PET, su conductividad térmica es de 0.24 W/m x K.

1.2.17. Reciclaje del PET

El reciclaje de PET consiste en reutilizar plásticos desechables, como botellas de bebidas gaseosas, para reducir la contaminación ambiental. Una botella de PET tarda en promedio 500 años en degradarse y puede reciclarse hasta 10 veces sin perder sus propiedades (González, 2019).

Ya existen ejemplos de viviendas construidas con botellas de plástico recicladas. González (2019) señala que el alemán Andreas Froese ha sido pionero en este tipo de construcciones en países de América Latina (México, Bolivia y Colombia) y de África (Uganda y Senegal). En la figura 3 se muestra un ejemplar de construcción con adobe y plástico.

Figura 3

Ejemplar de construcciones con adobe y plástico



Fuente: Tomado de eco-tecnología.

Se construyeron dos viviendas utilizando botellas desechables de PET, tierra y escombros, con el objetivo de capacitar a miembros de la comunidad y a los futuros

propietarios en la técnica conocida como Ecotec, que emplea botellas de plástico recicladas junto con otros materiales locales.

El alemán Andreas Froese ha perfeccionado esta técnica de construcción con plásticos, aprovechando botellas recicladas y tierra para construir tanques de agua, muros perimetrales y columnas. Según Froese, este método produce estructuras más fuertes y duraderas que el concreto tradicionalmente utilizado en las construcciones (González, 2019).

1.2.18. Incorporación de PET en Materiales de Construcción

Estudios recientes muestran que el uso de PET reciclado en la construcción ha sido exitoso para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales. Según Rodríguez y Núñez (2018), las fibras de PET incrementan la cohesión en mezclas como la del adobe, disminuyendo notablemente su porosidad y, por ende, su absorción de agua. Esto es especialmente útil en zonas con mucha lluvia, donde el adobe tradicional tiende a deteriorarse rápidamente.

1.2.19. Resistencia Térmica y Estructural del Adobe con PET

La investigación de Torres y Ramos (2019) se enfocó en analizar cómo las fibras de PET afectan la respuesta del adobe frente a cambios de temperatura. Sus resultados mostraron que el adobe reforzado con PET mantiene una mayor estabilidad ante variaciones bruscas de temperatura, reduciendo la expansión y contracción que suelen provocar fisuras en el material. Estos hallazgos indican que el uso de PET no solo mejora la estructura del adobe, sino que también incrementa su resistencia térmica, algo especialmente importante en regiones como Ayacucho. En la figura 4 se muestra los adobes que tienen una resistencia estructural.

Figura 4

Resistencia estructural



Fuente: (Asfes Galicia. **(Ficha Técnica Adobe Tapial)**)

1.2.20. Sostenibilidad Ambiental en la Construcción con Adobe

La problemática ambiental generada por los residuos plásticos ha motivado investigaciones como la de Morales y Salazar (2020), quienes sostienen que el reciclaje de PET para la construcción ayuda a reducir el impacto ambiental. En su estudio, argumentan que el uso de fibras de PET no solo disminuye la cantidad de desechos plásticos, sino que también fortalece los materiales de construcción, creando un ciclo de aprovechamiento de recursos y beneficios ecológicos. De esta forma, la incorporación de PET en el adobe se presenta como una solución que combina mejoras técnicas y beneficios ambientales en un solo enfoque.

1.2.21. Aportación de Materiales Reciclados en Climas Adversos

La investigación de Herrera y León (2021) analiza cómo el PET y otros materiales reciclados responden en entornos con condiciones climáticas extremas. Los investigadores encontraron que las fibras de PET ayudan a que los materiales de construcción soporten mejor el desgaste físico y reduzcan la absorción de humedad, dos desafíos comunes en el uso del adobe en climas como el de Huayrapata, Ayacucho. Esto sugiere que el PET reciclado puede ofrecer una solución adaptada a las condiciones del entorno, aumentando la durabilidad de las construcciones.

1.2.22. Adaptación de Técnicas Sostenibles a Contextos Rurales

En un estudio realizado por Rivas y Mendoza (2022), se evaluó la viabilidad de implementar tecnologías sostenibles en áreas rurales mediante el uso de materiales reciclados y de fácil acceso. Los resultados mostraron que el PET puede integrarse sin dificultad en los procesos de construcción tradicionales, mejorando la calidad de las edificaciones sin incrementar notablemente los costos. Este enfoque es especialmente relevante en comunidades como Huayrapata, donde los recursos económicos y tecnológicos son limitados, pero existe una gran necesidad de construir viviendas duraderas.

1.2.23. Definición de humedad

La humedad del suelo se refiere a la cantidad de agua presente en los poros o en la superficie del suelo. Esta humedad puede expresarse en porcentaje, en cantidad de agua por peso o volumen, o en pulgadas de agua por pie de profundidad de suelo. El nivel de humedad en el suelo varía según factores como el clima, el tipo de terreno y la vegetación que crece en él (Martins et al., 2010).

1.2.24. Humedad del suelo y como monitorearla

El contenido de humedad del suelo indica la cantidad de agua presente, mientras que el potencial de humedad refleja qué tan firmemente el agua se adhiere a las partículas del suelo. Estos factores afectan tanto el contenido de aire como la salinidad del suelo. Conocer los valores de contenido y potencial de humedad es esencial en un sistema de producción de adobe, ya que permite determinar la frecuencia y la cantidad de agua necesaria (Martins et al., 2010).

En la tabla 2 se muestra la capacidad de retención de humedad aprovechable en suelos con diferentes texturas.

Tabla 2

Capacidad de retención de humedad aprovechable en suelos con diferentes texturas

Clase textural	Cm de agua / 30 cm profundidad del suelo
Arena gruesa	1.0 a 2.0
Arena y migajón arenosa	2.0 a 4.0
Franco y franco limoso	4.0 a 5.5
Franco arcilloso, franco arcillo-limoso y franco arcillo-arenoso	4.5 a 6.2
Arcillo-arenoso, arcillo-limoso y arcilla	4.0 a 6.2

Fuente: obtenido de Proain (Tecnología agrícola)

Existen distintos métodos para medir la humedad del suelo, que pueden realizarse directamente en campo o en laboratorio y se dividen en métodos directos e indirectos.

Método directo: Consiste en extraer el agua de una muestra de suelo y calcular la humedad basándose en el peso del agua extraída en relación con el peso de la muestra seca. También se pueden usar sensores que proporcionan la información en tiempo real (SENCICO, 2017), las fórmulas son como se muestran en la ecuación 1 y ecuación 2.:

Contenido gravimétrico de agua (%):

$$\left(\frac{\text{Peso suelo húmedo} - \text{Peso suelo seco}}{\text{Peso suelo seco}} \right) \times 100 \dots \dots \dots \text{Ecu (1)}$$

Contenido volumétrico del agua (%):

$$\left(\frac{\text{Densidad aparente}}{\text{Densidad agua}} \right) \times \text{Contenido gravimétrico agua} \dots\dots\dots \text{Ecu (2)}$$

Método indirecto: Este método mide las propiedades del suelo en relación con su contenido de humedad y existen varios equipos que facilitan esta tarea, entre los cuales destacan dos tipos:

- Sensores de humedad del suelo: Estos dispositivos utilizan varillas que se insertan en el suelo y permiten obtener información sobre diversos indicadores, como la humedad, la conductividad eléctrica y las coordenadas. Son versátiles y pueden emplearse en distintos tipos de suelo (SENCICO, 2017).
- Sensores de tensión del agua del suelo: Estos sensores se colocan en el suelo para medir la tensión del agua, es decir, el esfuerzo que deben hacer las raíces para obtener agua. Para obtener resultados precisos, se recomienda instalar varios sensores en el área, seleccionándolos de acuerdo con el tipo de suelo (SENCICO, 2017).

1.2.24. Humedad y compactación

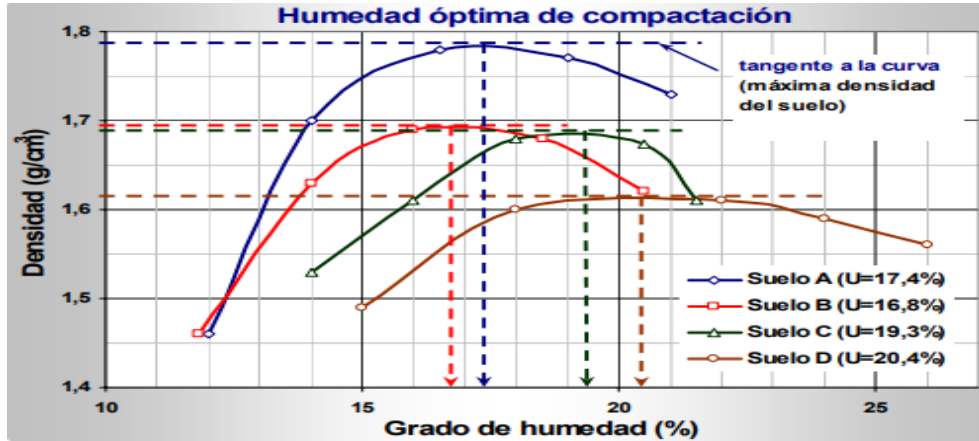
La resistencia del suelo está directamente vinculada a su grado de compactación cuando se somete a una determinada presión. Cada tipo de suelo y nivel de compactación tiene una humedad específica, conocida como humedad óptima de compactación, en la cual se logra la mejor compactación posible, es decir, la mayor densidad seca del suelo. En este estado, el suelo tiene menos porosidad, lo que lo convierte en un material más duradero y con mayor resistencia mecánica (Herrera, 2016).

La humedad óptima de compactación se determina en el laboratorio midiendo la densidad del suelo a diferentes niveles de humedad, compactado dentro de un molde específico, como el cilindro de Proctor. Los valores de densidad se representan en un gráfico en función de la humedad, y la densidad máxima obtenida en la curva define la humedad óptima de compactación del suelo (Herrera, 2016).

En la figura 5 se muestra la humedad óptima de compactación del suelo.

Figura 5

Humedad óptima de compactación



Fuente: Tomado de la REDE IBEROAMERICANA PROTERRA.

En algunas técnicas de construcción, como en la producción de adobes, se utiliza una mezcla de suelo y agua en una consistencia plástica, con niveles de humedad que superan la humedad óptima de compactación. Esto permite que no sea necesario aplicar energía para compactarlo. Una vez seco, el suelo alcanza una densidad específica, que es distinta de la densidad máxima que se lograría mediante compactación (Herrera, 2016).

1.2.25. Fluctuaciones térmicas

Las fluctuaciones térmicas reflejan los cambios de temperatura en un sistema. Cuando la temperatura de un sistema es superior a cero, este no permanece en equilibrio microscópico, sino que pasa aleatoriamente por todos sus posibles estados (Vega, 2020).

Medir estas fluctuaciones implica registrar cómo varía la temperatura en un lugar o material específico a lo largo del tiempo. Este análisis es particularmente útil en la construcción con adobe, ya que permite comprender cómo los cambios de temperatura pueden influir en la estabilidad y durabilidad de los bloques. A continuación, te explico cómo realizar esta medición (Vega, 2020).

CAPÍTULO II

MATERIALES Y METODOLOGÍA

2.1. Aspectos metodológicos

Según Hernández et al. (2014), los aspectos metodológicos de la presente investigación se describen de la siguiente manera:

La investigación adopta un enfoque cuantitativo, debido a que permite medir y analizar numéricamente las propiedades físicas y mecánicas de los adobes elaborados con diferentes porcentajes de fibras PET reciclado. Los resultados obtenidos mediante ensayos de laboratorio serán procesados estadísticamente y presentados en tablas y figuras para su interpretación.

El nivel de investigación es aplicado, ya que busca generar una alternativa de mejora para las construcciones de adobe mediante la incorporación de fibras PET reciclado, contribuyendo a incrementar su resistencia frente a la humedad y las fluctuaciones térmicas.

El diseño de investigación es experimental, puesto que se manipula la variable independiente, correspondiente al porcentaje de fibras PET incorporadas en la mezcla de adobe, evaluando su efecto sobre la resistencia a la humedad y las fluctuaciones térmicas.

Población y muestra: La población está constituida por las unidades de adobe (cubos y muretes) elaboradas con tierra de Huayrapata, Comunidad Campesina de Rancho, Ayacucho, considerando adobe patrón y reforzado con fibras PET. La muestra se seleccionará mediante muestreo no probabilístico por conveniencia, según la Norma

E.080, y estará conformada por 68 especímenes (44 cubos y 24 muretes), distribuidos en cuatro dosificaciones: 0%, 1%, 3% y 7% de PET como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Distribución de muestras por tipo de ensayo

Tipo de espécimen	RC	CT	D	AA	Total
Cubos - adobe patrón (0% PET)	6	3	1	1	11
Cubos - adobe con 1% PET	6	3	1	1	11
Cubos - adobe con 3% PET	6	3	1	1	11
Cubos - adobe con 7% PET	6	3	1	1	11
Muretes - adobe patrón (0% PET)	6	-	-	-	6
Muretes - adobe con 1% PET	6	-	-	-	6
Muretes - adobe con 3% PET	6	-	-	-	6
Muretes - adobe con 7% PET	6	-	-	-	6
Total	48	12	4	4	6

Nota: RC = Resistencia a la Compresión; CT = Conductividad Térmica; D = Densidad; AA = Absorción de Agua. Elaboración propia.

Variables de estudio:

Variables dependientes

- Densidad (ρ)
- Porcentaje de absorción de agua (A)
- Resistencia a compresión del cubo (f_b)
- Resistencia a compresión del murete (f_m)
- Conductividad Térmica (λ)
- Fluctuación térmica (ΔM)

Variable independiente:

Porcentaje de fibras de tereftalato de polietileno (PET) que se añada a la mezcla de cubos y muretes de adobe.

Análisis de las variables:

A continuación, en la tabla 4 se muestra a detalle información sobre el cálculo de las variables

Tabla 4*Análisis de las variables*

Variables	Tipo	Dimensión	Indicador	Unidad	Instrumento
Porcentaje de fibras de tereftalato de polietileno (PET) que se añade a la mezcla de cubos y muretes de adobe	Independiente	-	Estado del Arte	Adimensional	Cálculo en gabinete
Densidad	Dependiente	ρ	$\frac{masa}{volumen}$	g/cm ³	Balanza digital, Pie de Rey
Porcentaje de absorción de agua	Dependiente	A	$w = \frac{(W_{seco} - W_{humedo})}{W_{humedo}} \times 100$	%	Balanza digital, Horno
Resistencia a la compresión	Dependiente	fb, fm	Carga/Área	kg/cm ²	Máquina de prueba a compresión
Conductividad Térmica	Dependiente	λ	*	W/(K.m)	Medidor de conductividad térmica
Fluctuación térmica	Dependiente	ΔM	$AE - AI$	°C	Termómetro, cámara de ciclos térmicos (choque térmico)

El asterisco (*) señala que dicho valor no se determina mediante una fórmula de cálculo, sino que se obtiene de manera directa a través de la lectura del medidor de conductividad térmica. Elaboración propia.

Nota: El símbolo (-) indica que la variable no posee una dimensión particular, por lo que únicamente se le identifica según lo señalado en la tabla.

2.1.1. Ubicación geográfica

a) Ubicación

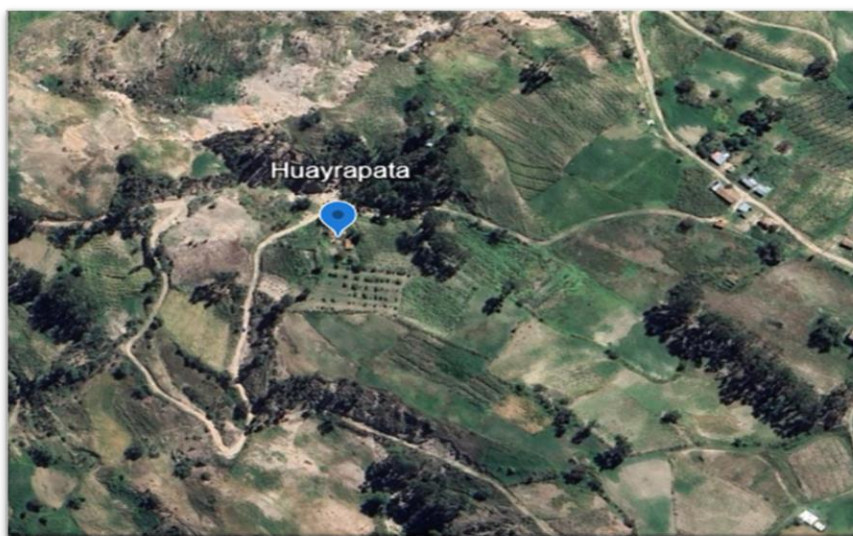
Huayrapata es un centro poblado perteneciente a la Comunidad Campesina de Rancho, ubicada en el distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho. La Comunidad Campesina de Rancho se encuentra a una altitud que varía entre los 3 000 y 3 200 m.s.n.m., siendo reconocida oficialmente como comunidad campesina el 22 de noviembre de 1935, inscrita en el Registro Oficial de Comunidades Campesinas y reconocida por la Dirección de Asuntos Indígenas del Ministerio de Salud Pública, Trabajo y Promoción Social.

La ubicación geográfica del área de estudio corresponde al sistema de coordenadas UTM, datum WGS 84, Zona 18L tal y como se muestra en la figura 6.

- **Este (E)** : 586223 m
- **Norte (N)** : 8544169 m
- **Altitud** : 3124 m.s.n.m

Figura 6

Ubicación satelital del área de proyecto



Nota. Adaptado de Google Earth

b) Ubicación política

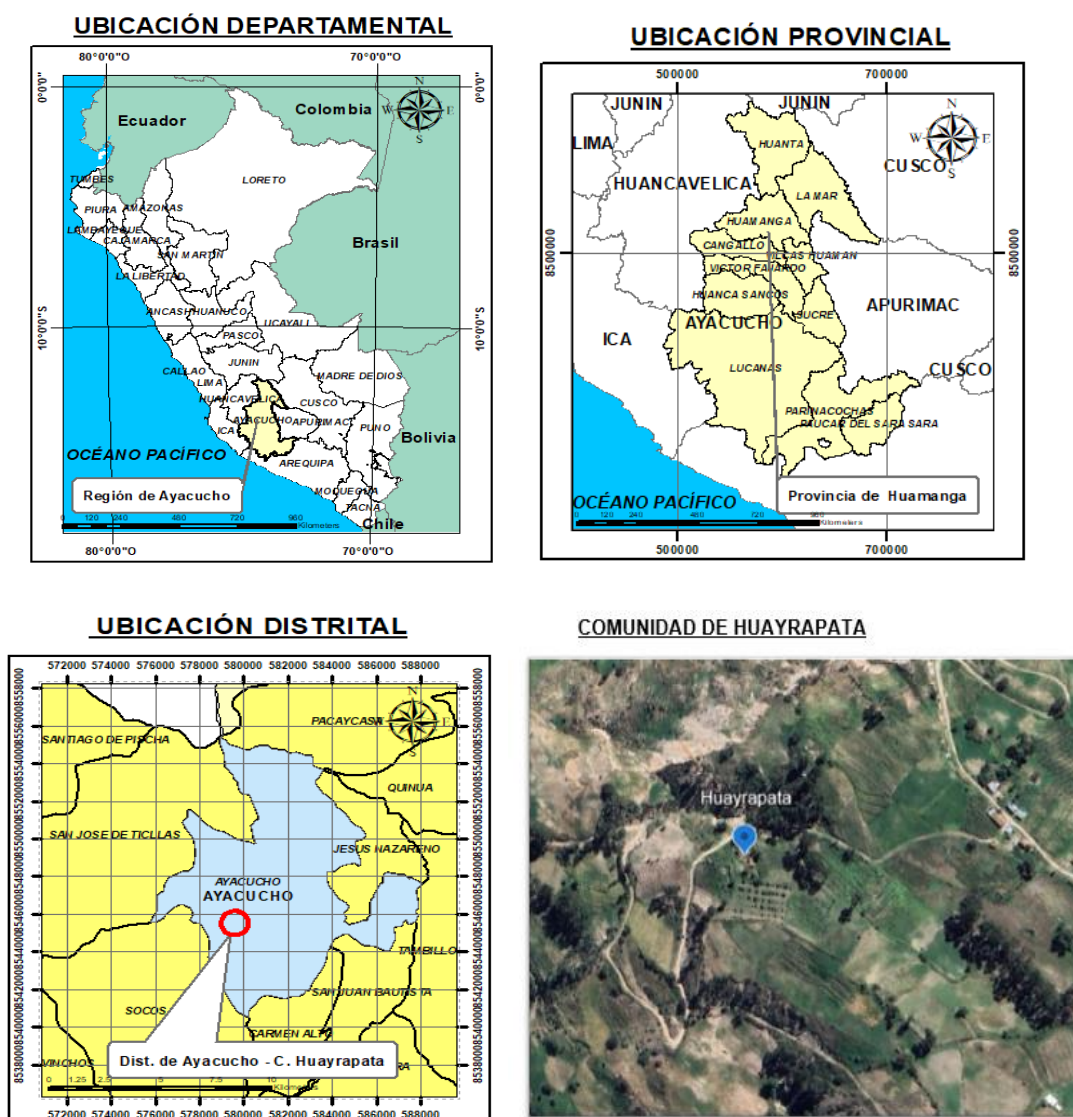
La ubicación política del área de estudio corresponde:

- **Departamento** : Ayacucho
- **Provincia** : Huamanga
- **Distrito** : Ayacucho
- **Lugar** : Centro Poblado de Huayrapata

En la figura 7 muestra la ubicación del proyecto mediante una jerarquía que va desde la Región Ayacucho y la Provincia de Huamanga hasta el Distrito Ayacucho y la comunidad de Hayrapata. Esta figura combina cartografía política con una vista satelital para señalar con precisión el área de estudio.

Figura 7

Ubicación política del área de proyecto



2.1.2. Vías de acceso

El centro poblado de Huayrapata se encuentra conectada a la ciudad de Ayacucho a través de caminos rurales y una carretera principal que permite la circulación de vehículos ligeros y medianos. Desde la ciudad de Ayacucho, el recorrido en automóvil dura aproximadamente entre 15-30 min, dependiendo del estado de las vías. En la tabla 3 se muestra los vías de acceso al Centro poblado de Huayrapata.

Tabla 5

Vías de acceso

Origen	Destino	Distancia	Tiempo	Tipo de camino
Grifo Ayacucho	Centro poblado de Huayrapata	11 km	15-30 min	Alfalta-Trocha carrosable

Nota. La tabla muestra el origen y destino, la distancia, tiempo y vía del proyecto, Fuente: Google Earth Pro

3.2.3 Condiciones climáticas

El clima del distrito de Ayacucho es templado, moderadamente lluvioso y con amplitud térmica moderada. La media anual de temperatura máxima y mínima es de 23.8 °C y 9.3 °C respectivamente, y la precipitación media acumulada anual es de 551.2 mm. De junio a septiembre, el invierno presenta bajas temperaturas con frío seco que se alterna con brisas heladas, mientras que los meses de verano concentran la mayor parte de las precipitaciones. Estas condiciones de alta variabilidad térmica y estacionalidad pluvial marcada constituyen el principal factor de deterioro de las construcciones tradicionales de adobe en Huayrapata, justificando la presente investigación.

2.2. Materiales y equipos

2.4.1. Materiales

Materiales de laboratorio y campo

- Pala
- Carretilla
- Pico
- Papel Boom.
- Planos impresos.
- Lapicero.
- Tablero.

2.4.2. Equipos

Equipos de laboratorio y campo

- Higrómetro
- Cámara térmica
- Sensores de: Humedad del Suelo, presión, temperatura del suelo, humedad relativa, temperatura de ambiente

- Inversor de Energía
- Laptop i7.
- Calculadora.
- GPS manual.
- Celular.
- Cámara fotográfica.
- Software: Simulación y Análisis, AutoCAD Civil Systems, PVsyst .
- Batería

2.3. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación será cuasi-experimental, dado que se manipulará únicamente la variable independiente, en este caso, la elaboración de adobes con diferentes porcentajes de fibras PET (1%, 3% y 7%). Este enfoque busca resolver problemas relacionados con la humedad y las fluctuaciones térmicas en las construcciones, mejorando las propiedades físico-mecánicas del adobe. Se realizarán pruebas en dos grupos de comparación: uno con adobes convencionales y otro con adobes reforzados con fibras de PET. Los porcentajes se seleccionaron de forma tentativa para encontrar el nivel óptimo, basándose en la norma E.080-2017 y en estudios previos.

2.4. Procedimientos

Paso 1. Recolección de materiales

En la figura 8 se documenta el procedimiento seguido para la extracción del suelo en la comunidad de Huayrapata, Ayacucho. De acuerdo con los pobladores del lugar, existen tres sectores diferentes donde tradicionalmente se obtiene la tierra para la fabricación de adobes; sin embargo, para mantener uniformidad en los resultados, esta investigación trabajó exclusivamente con material proveniente de un único sector, cuyas características se establecieron posteriormente mediante los correspondientes ensayos de mecánica de suelos. Asimismo, se observó que las viviendas se ubican muy próximas al punto de extracción, lo que confirma que los habitantes de la zona emplean el suelo de su propio entorno para construir sus adobes, criterio de selección que han perfeccionado con los años de experiencia en esta práctica. Por último, se registró tanto el material extraído en su estado natural como su acondicionamiento en sacos de 50 kg destinados al traslado, reuniéndose en total 10 sacos de tierra para el desarrollo experimental de la investigación.

Figura 8

Recolección de muestra de tierra para laboratorio



Paralelamente, se recolectaron botellas PET de descarte doméstico y fibras naturales de ichu disponibles en la zona. Asimismo en la figura 9 se muestra el proceso de selección de la botellas PET.

Figura 9

Recolección de PET reciclado



Asimismo, la figura 10 documenta el proceso de recolección del ichu en la zona de estudio, mostrando primero su extracción directa y, posteriormente, su corte y empaquetado en costales de 50 kg para su traslado. En total, se reunieron 3 sacos de ichu destinados al desarrollo experimental de la investigación.

Figura 10

Recolección de ichu



Paso 2. Caracterización del suelo

a) Pruebas de evaluación de arcilla, según Norma E 0.80

Materiales

Para la ejecución de las pruebas de existencia de arcilla se emplearon los siguientes materiales: tierra de la zona de estudio, agua y una regla para las mediciones correspondientes a la figura 11.

Figura 11

Materiales para la evaluación de arcilla



a) Tierra de la zona



b) Agua



c) Regla

Mezcla

Previo a la ejecución de las pruebas, se preparó una mezcla homogénea de tierra y agua, la cual sirvió de base para los ensayos posteriores como se muestra en la figura 12.

Figura 12

Preparación de mezcla



Prueba "Presencia de arcilla" o "Resistencia seca"

Con la mezcla preparada se elaboraron cuatro bolitas de tierra, las cuales se dejaron reposar durante 48 horas antes de someterlas a presión manual, con el fin de verificar la presencia de arcilla en el suelo. Al presionar las cuatro muestras, ninguna presentó rotura, lo que permite concluir que el suelo extraído de la cantera contiene arcilla y resulta apto para la elaboración de adobes.

Figura 13

Prueba de Resistencia seca



Prueba "Cinta de Barro"

Este segundo ensayo, realizado también con la mezcla inicial, buscó confirmar la presencia de arcilla mediante la elaboración de una cinta de barro. Antes de su

deformación, la cinta presentó una longitud de 10 cm y un diámetro aproximado de 10 mm. Tras ser deformada, alcanzó una longitud final de 16 cm sin romperse, con un diámetro aproximado de 4 mm, confirmando así la presencia de arcilla en el suelo evaluado.

Figura 14

Prueba de cinta de barro



b) Ensayos de mecánica de suelos según ASTM y/o NTP

Para el desarrollo de los ensayos de mecánica de suelos, se destinó un saco de tierra con un peso de 38.75 kg como se observa en la figura 15, cantidad que cumplió con el requerimiento mínimo establecido por el laboratorio, el cual solicitaba al menos 30 kg de suelo en caso de tratarse de un suelo de tipo fino.

Figura 15

Saco de tierra para su respectivo ensayo de mecánica de suelos



Posteriormente, la tierra del costal fue mezclada y dividida en cuatro partes iguales, de las cuales dos se conservaron para continuar el proceso de mezclado, mientras que las dos restantes se reincorporaron al saco. Este procedimiento de cuarteo se repitió en dos oportunidades, con el objetivo de obtener una muestra más reducida y

representativa del material extraído. La porción final obtenida fue destinada al desarrollo de los ensayos de granulometría y límites de Atterberg.

Figura 16

Procedimiento de cuarteo



b.1) Análisis Granulométrico por Tamizado (NTP 339.218)

Los materiales requeridos para este ensayo fueron: balanza, recipiente, juego de tamices para agregado fino y grueso, y horno.

El procedimiento aplicado fue el siguiente:

Agregado Grueso

Una vez separado el material según lo descrito previamente, este se tamizó utilizando la malla N°4 como se observa en la figura 17.

Figura 17

Separación de materiales utilizando la malla N°4



El material retenido, al presentar una consistencia seca y compacta similar a grava, fue sometido a golpes con un martillo de goma con el propósito de romper esa unión natural como se muestra en la figura 18.

Figura 18

Rotura de tierra seca de forma de grava



Este proceso se repitió las veces necesarias hasta lograr aislar por completo la grava contenida en el suelo estudiado, obteniéndose el retenido preliminar del agregado grueso en el tamiz N°4 como se muestra en la figura 19.

Figura 19

Agregado grueso de tamiz N°4



Para clasificar el agregado grueso se emplearon los tamices de 3", 2", 1½", 1", ¾", 3/8" y N°4 como se muestra en la figura 20.

Figura 20

Clasificación de agregado grueso



De acuerdo con el tamaño de grava presente en el suelo evaluado, únicamente se registró material retenido en los tamices de 3/8" y N°4. Posteriormente, dicho material fue pesado en balanza digital como se muestra en la figura 21.

Figura 21

Pesaje de material en la balanza digital



Agregado Fino

En cuanto al agregado fino, el material que atravesó el tamiz N°4 fue pesado inicialmente como se muestra en la figura 22.

Figura 22

Pesado del material total



Y posteriormente se extrajo y pesó una porción representativa de dicha cantidad como en la figura 23.

Figura 23

Pesado del material seleccionado



Este material fue lavado, colocando un tamiz N°200 a la salida del agua con el fin de retener cualquier partícula fina arrastrada durante el proceso como se muestra en la figura 24, obteniéndose el agregado fino saturado como resultado.

Figura 24

Lavado del material



Finalmente, el material lavado fue secado en horno a una temperatura de 110°C como se muestra en la figura 25.

Figura 25

Secado en el horno



Luego, de un mínimo de 6 horas se procede a retirar la muestra y el resultado obtenido se muestra en la figura 26.

Figura 26

Muestra retirada del horno



Se registró el peso de la muestra seca y se procedió a su tamizado. Para evitar la pérdida de material y limpiar adecuadamente las mallas, se utilizó un cepillo de bronce

(hasta el tamiz N° 20), un cepillo de plástico (para los tamices N° 40 y N° 60) y una brocha suave para los dos últimos tamices más finos como se muestra en la figura 27. Finalmente, se pesaron todas las fracciones retenidas en la balanza digital.

Figura 27

Pesado de la muestra seca y tamizado



c) Límites de Atterberg (ASTM D4318)

Determinación del límite líquido

Los materiales necesarios son los siguientes:

- Copa de Casagrande
- Tamiz N°40
- Estufa
- Tara
- Mortero y mango
- Espátula
- Ranurador
- Balanza

El proceso comienza seleccionando la fracción de suelo que logra atravesar la malla N° 40, la cual se somete a un proceso de deshidratación en el horno bajo una temperatura de 60 °C. Una vez que el material ha perdido su humedad y se ha enfriado por completo, queda listo para la siguiente etapa de la prueba.

Figura 28

Muestras que paso el tamiz N°40



A continuación, se vierte agua destilada de manera paulatina sobre la muestra seca, mezclando vigorosamente el conjunto. Esta operación de batido se realiza de forma manual hasta conseguir que el agua se distribuya de manera uniforme, logrando así una masa plástica homogénea y libre de grumos.

Figura 29

Echado de agua destilada sobre la muestra seca



Posteriormente, la pasta obtenida se esparce cuidadosamente en la taza de la copa de Casagrande, presionando firmemente para evitar la formación de vacíos u oquedades de aire en su interior. Utilizando el ranurador oficial, se realiza una hendidura central que divide el suelo en dos secciones simétricas y claramente separadas.

Figura 30

División de suelo en dos secciones simétricas en la taza de la copa de Casagrande



Con la muestra dividida, se acciona la manivela del aparato para aplicar impactos verticales de forma rítmica hasta que el surco central se cierre por flujo del suelo como la figura 31. Para que el ensayo se considere válido, se deben registrar tres lecturas exitosas distribuidas en los rangos de 15 a 25, 20 a 30 y 25 a 35 impactos; si el suelo está muy seco y no fluye, se reincorpora agua para suavizarlo y se reinicia el conteo.

Figura 31

Muestra dividida



Por último, tan pronto como se concreta el cierre de la ranura bajo las condiciones requeridas, se toma con rapidez una porción de suelo del área de contacto. Este material se pesa de inmediato en la balanza de precisión con el fin de determinar el porcentaje de agua retenida, lo que permitirá graficar y correlacionar la humedad con la resistencia al corte del suelo como la figura 32.

Figura 32

Porción de suelo del área de contacto



Determinación del límite plástico

Los materiales requeridos para este ensayo fueron: vidrio, tamiz N°40, horno, tara, mortero con mango y balanza.

El procedimiento consistió en tomar una porción de la muestra sobrante del ensayo de límite líquido y amasarla sobre una superficie de vidrio con la palma de la mano, formando pequeños bastoncitos hasta que estos alcanzaran el límite plástico o presentaran fisuración visible como la figura 33.

Figura 33

Porción de muestra sobrante del ensayo limite liquido



Este proceso se repitió hasta reunir una muestra mínima de 6 g, conforme a lo establecido en la norma ASTM D4318, la cual permitió calcular el contenido de humedad correspondiente. El ensayo se realizó por duplicado con la finalidad de promediar los resultados obtenidos.

Figura 34

Muestra de 6g



d) Clasificación SUCS (ASTM D2487)

Para determinar la denominación del suelo bajo este estándar normativo, es indispensable evaluar tres criterios fundamentales del material. En primer lugar, se analiza la cantidad de partículas finas midiendo el porcentaje en peso que logra atravesar el tamiz N° 200. En segundo lugar, se examina la configuración y el comportamiento de la curva granulométrica para entender la distribución astronómica de los tamaños de las partículas. Por último, se estudian las propiedades mecánicas

relacionadas con la plasticidad y la compresibilidad del suelo a través de sus límites de consistencia.

Paso 3 . Diseño analítico de las muestras de adobe

a) Materiales de reforzamiento

Ichu (paja)

El ichu empleado en esta investigación proviene de Huayrapata, centro poblado perteneciente a la Comunidad Campesina de Rancho, distrito de Ayacucho. Para su corte se utilizó una tijera, mientras que las mediciones correspondientes se realizaron con ayuda de una regla como se muestra en la figura 35.

Figura 35

Ichu



Botellas PET

El material plástico utilizado en el estudio se obtuvo a partir de botellas PET transparentes, recogidas de puntos de acopio instalados en diversos parques de la ciudad de Huamanga.

Con el propósito de obtener las fibras necesarias a partir de estas botellas, se construyó un instrumento de corte manual, integrado básicamente por tres elementos: un mango elaborado en madera, una cuchilla metálica y un hilo de nylon que permite sujetar firmemente la cuchilla al momento de cortar la botella como la figura 36. La decisión de emplear este instrumento se basó en su facilidad de construcción y en que requiere muy pocos materiales, tomando como referencia el modelo desarrollado por Moncada (2019). En cuanto a las dimensiones finales de las fibras, se optó por tiras de 5 cm de longitud y 5 mm de ancho, siguiendo el criterio planteado por Meza & Shaikh (2020); este espesor se consideró el más adecuado para facilitar su manipulación durante el corte manual.

Figura 36

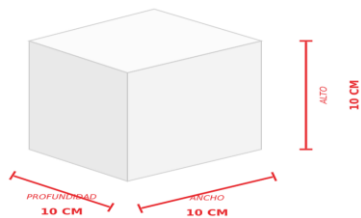
Realizando tiras PET



Paso 4. Dimensión de las muestras

Figura 37

Dimensión de los cubos de adobe

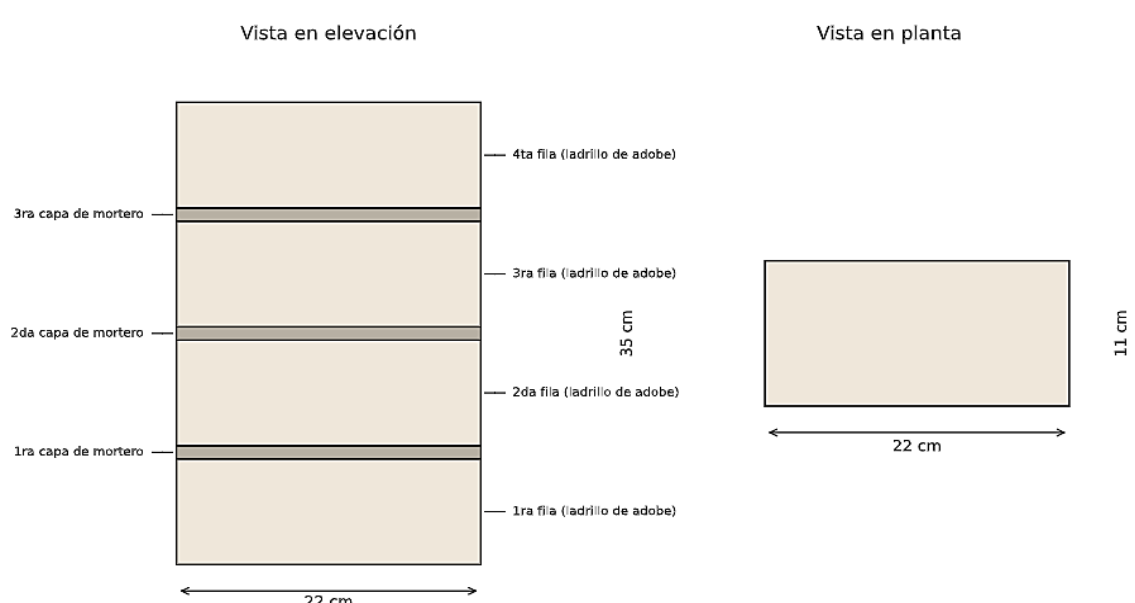


Muretes

En la figura 38 se muestra los muretes en la izquierda se encuentra la vista en elevación, con una separación de 1 cm entre hileras para la capa de mortero. A la derecha, la vista en planta.

Figura 38

Diseño e muretes en vista en elevación y en planta



Paso 5. Cálculo de materiales

Con el fin de estimar la cantidad de materiales necesarios para la investigación, se elaboró previamente una muestra piloto utilizando el molde de dimensiones 10x10x10 cm³. Para la preparación de la mezcla se emplearon 2000 g de tierra, incorporando un 20% de agua con el fin de lograr una consistencia homogénea y trabajable como se muestra en la figura 39.

Figura 39

Mezcla de tierra en el molde de 10x10x10 cm³



Una vez lograda la homogeneidad de la mezcla, esta se vertió en el molde por capas sucesivas, compactándolas progresivamente hasta completar su llenado. Previamente, se humedecieron las paredes internas del molde para evitar que la muestra de adobe se adhiriera a estas como se muestra en la figura 40.

Figura 40

Desmolde de la mezcla de tierra



a) Cubos:

Para el desarrollo de esta etapa se trabajó bajo una razón agua/suelo (W/S) equivalente a 0.20.

Peso de suelo húmedo = 2286.4 g

Peso del suelo seco + (0.20 × Peso del suelo seco) = 1850 g

Peso del suelo seco = 1850 / 1.20 g

Peso del suelo seco = 1905.3 g

Peso del agua = 381.1 g

Nota: Tanto el ichu como el PET se dosifican tomando como referencia un porcentaje del peso del suelo seco, criterio adoptado siguiendo lo planteado por Araya-Letelier et al. (2020).

Tomando en cuenta lo señalado, se procede a calcular la cantidad de ichu que demandará la fabricación de los cubos de adobe:

0.25% de ichu:

Cantidad de ichu para el cubo de adobe = $0.25\% \times 1905.3 \text{ g} = 4.76 \text{ g}$

A continuación, se obtiene la cantidad de PET que se requerirá para los cubos de adobe:

1% de PET:

Cantidad de PET para el cubo de adobe = $1\% \times 1905.3 \text{ g} = 19.1 \text{ g}$

3% de PET:

Cantidad de PET para el cubo de adobe = $3\% \times 1905.3 \text{ g} = 57.2 \text{ g}$

7% de PET:

Cantidad de PET para el cubo de adobe = $7\% \times 1905.3 \text{ g} = 133.4 \text{ g}$

Las tablas 6 y 7, presentadas a continuación, condensan los pesos de los insumos que se emplearán en la fabricación de los cubos de adobe:

Tabla 6

Pesos para el cubo de adobe con ichu

W/S	Peso del suelo seco (g)	Agua (g)	Ichu (g)	Ichu (%)
0.25	1905.3	476.3	4.76	0.25

Tabla 7

Pesos para el cubo de adobe con PET

W/S	Peso del suelo seco (g)	Agua (g)	PET (g)	PET (%)
0.20	1905.3	381.1	19.1	1
			57.2	3
			133.4	7

b) Murete:

Para obtener el peso seco que corresponde al murete se recurre a una regla de tres simple, cuyo desarrollo se muestra a continuación:

Premisas:

$$\text{Volumen del ladrillo} = 11 \times 22 \times 8 = 1936 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen del cubo} = 10 \times 10 \times 10 = 1000 \text{ cm}^3$$

Regla de tres simple:

Considerando que 1000 cm^3 corresponden a un peso seco de 1905.3 g, el volumen de 1936 cm^3 demandará:

$$\text{Peso del suelo seco} = 3688.7 \text{ g}$$

Manteniendo también aquí una relación W/S de 0.20, el peso del agua queda determinado en:

$$\text{Peso del agua} = 737.7 \text{ g}$$

Nota: De forma análoga al caso previo, las cantidades de ichu y de PET se obtienen como un porcentaje del peso del suelo seco, en línea con lo indicado por Araya-Letelier et al. (2020).

De este modo, se determina la cantidad de ichu que se necesitará para los ladrillos de adobe del murete:

0.25% de ichu:

$$\text{Cantidad de ichu para el ladrillo de adobe} = 0.25\% \times 3688.7 \text{ g} = 9.22 \text{ g}$$

Del mismo modo, se obtiene la cantidad de PET requerida para los ladrillos de adobe del murete:

1% de PET:

$$\text{Cantidad de PET para el ladrillo de adobe} = 1\% \times 3688.7 \text{ g} = 36.9 \text{ g}$$

3% de PET:

$$\text{Cantidad de PET para el ladrillo de adobe} = 3\% \times 3688.7 \text{ g} = 110.7 \text{ g}$$

7% de PET:

$$\text{Cantidad de PET para el ladrillo de adobe} = 7\% \times 3688.7 \text{ g} = 258.2 \text{ g}$$

En las tablas 8 y 9 quedan sintetizados los pesos de los insumos necesarios para elaborar los ladrillos de adobe con destino a los muretes:

Tabla 8

Pesos para el ladrillo de adobe con ichu

W/S (Agua/Suelo)	Peso del suelo seco (g)	(g)	Agua (g)	Ichu (%)	Ichu
0.25	3688.7		922.2	9.22	0.25

Tabla 9

Pesos para el ladrillo de adobe con PET

W/S (Agua/Suelo)	Peso del suelo seco (g)	Agua (g)	PET (g)	PET (%)
0.20	3688.7	737.7	36.9	1
			110.7	3
			258.2	7

Nota. Elaboración propia.

Paso 6. Preparación de los especímenes de adobe

En primer lugar, el ichu y el PET fueron cortados y agrupados en paquetes, según se ilustra en la figura 41. La cantidad de material que contiene cada paquete equivale a lo requerido para preparar las 4 mezclas contempladas (mezcla I: adobe patrón con 0.25% de ichu; mezcla II: adobes con 1% de fibras PET; mezcla III: adobes con 3% de fibras PET; y mezcla IV: adobes con 7% de fibras PET). Cada una de estas mezclas hace posible fabricar los ladrillos y cubos correspondientes al porcentaje respectivo.

Figura 41

Cantidad de materiales de PET e Ichu calculados



Como segundo paso del procedimiento, se determina el peso de la tierra y del agua correspondientes a cada una de las mezclas. La preparación de cada mezcla inicia

integrando la tierra con el ichu o el PET, según corresponda; posteriormente se agrega el agua de forma progresiva, al tiempo que se pisa la mezcla para favorecer su homogeneización como se muestra en la figura 42.

Figura 42

Mezcla de materiales con el agua



El tercer paso consiste en aplicar suficiente humedad a las paredes internas de los moldes, tanto los destinados a cubos como a ladrillos, con el propósito de impedir que la mezcla quede adherida a su superficie una vez retirado el molde. Acto seguido, se coloca la mezcla en el interior del molde y se compacta manualmente, operación mediante la cual se logra reducir o eliminar las burbujas y espacios vacíos que pudieran quedar atrapados dentro de las muestras como se muestra en la figura 43.

Figura 43

Colocación de la mezcla en los moldes de cubos y ladrillos



Como cuarto paso, las muestras de adobe fueron desmoldadas con cuidado, obteniéndose de esta manera los cubos y ladrillos de adobe. Finalmente, como quinto paso, transcurridos tres días de secado, las muestras con dimensiones de 22x11x8 cm³ (ladrillos de adobe) se emplearon para conformar los muretes de adobe, según se observa en la figura 44, empleando un mortero de 1 cm de espesor tanto para las muestras patrón como para las reforzadas con fibras PET. Una vez concluida la elaboración de todas las muestras, se dio inicio al proceso de secado, cuya duración

supera los 28 días conforme a lo establecido por la norma E.080. Durante esta etapa se adoptaron medidas de protección, tales como cubrir las muestras para resguardarlas de la exposición solar directa, dado que esta condición podría comprometer la calidad final de los especímenes.

Figura 44

Desmoldado de los cubos y ladrillos

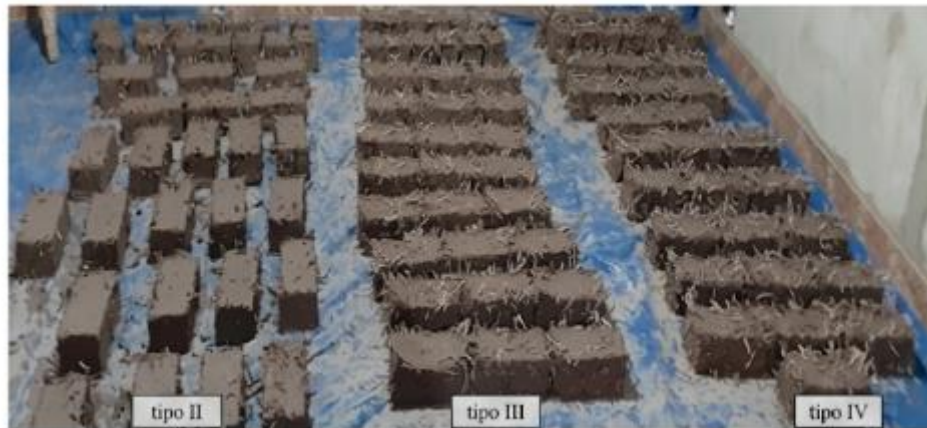


Figura 45

Unidad de adobe



Paso 7. Prueba de resistencia a compresión en unidades de adobe

Con la finalidad de cuantificar la resistencia a la compresión de las unidades de adobe, se llevó a cabo el ensayo respectivo en el laboratorio INGEOTECON, comparando el comportamiento del adobe patrón frente a los especímenes elaborados con distintas dosificaciones de fibra PET (1%, 3% y 7%). El programa experimental contempló un total de 24 unidades, agrupadas en lotes de 6 especímenes por cada

variante de adobe estudiada, siguiendo los lineamientos establecidos en la norma E.080 (SENCICO, 2017).

De manera previa a la ejecución del ensayo, cada unidad fue medida en su largo y ancho, información necesaria para estimar el área sobre la que actuaría la carga aplicada. Del mismo modo, las unidades debieron someterse a un proceso de refrentado antes de ser ensayadas, condición indispensable para asegurar resultados confiables, tal como se ilustra en la figura 45.

Figura 46

Unidades de adobe de 10x10x10 cm³



Una vez cumplida esta preparación, cada espécimen se colocó en la máquina de compresión, donde se le aplicó una carga creciente a velocidad constante hasta el momento en que se produjo la rotura de la muestra. Este procedimiento se repitió de igual forma para las unidades patrón y para los adobes reforzados con fibra PET en sus tres proporciones: 1% ,3% y 7% como se muestra en la figura.

Para determinar el valor de la resistencia se utilizó la ecuación 3:

$$C = \frac{P}{A} \dots \dots \dots Ecu (3)$$

Donde:

C: representa la resistencia a la compresión del espécimen, en kg/cm².

P: corresponde a la carga máxima registrada por el equipo de ensayo, en kg-f.

A es el promedio del área bruta de la unidad, en cm².

Figura 47

Ensayo de resistencia con el adobe patrón y fibras PET de cubos de 10x10x10 cm³



Paso 8. Prueba de resistencia a la compresión en muretes de adobe

En el laboratorio INGEOTECON se llevó a cabo el ensayo de resistencia a la compresión sobre muretes de adobe, cada uno conformado por 4 hileras unidas mediante una capa de mortero de 1 cm de espesor. El propósito de esta prueba fue comparar la resistencia compresiva del murete patrón frente a la de los muretes reforzados con fibra PET en proporciones de 1%, 3% y 7%. El programa experimental incluyó 24 especímenes en total, distribuidos en 6 muretes por cada variante de adobe elaborada, conforme a lo dispuesto por la norma E.080 (SENCICO, 2017).

Como primer paso, resultó necesario determinar el área de contacto sobre la que actuaría la fuerza de compresión, para lo cual se registraron la altura total y el ancho del murete. A partir de estas dos medidas se estableció la relación alto/ancho, indicador de la esbeltez del espécimen, la cual permite, mediante la tabla de factores de corrección de $f'm$, identificar el factor que deberá aplicarse al esfuerzo de rotura arrojado por el

equipo. Adicionalmente, antes de ser ensayados, los muretes debieron pasar por un proceso de refrentado, tal como se observa en la figura 48.

Figura 48

Unidades de adobes con 4 hileras para la compresión



En segundo lugar, cada espécimen se dispuso en la máquina de compresión, colocando tacos de madera en la zona central de su cara con el fin de distribuir la carga de manera uniforme. Seguidamente, se aplicó una carga compresiva creciente a velocidad constante hasta alcanzar la carga de rotura, punto en el que se produce la falla de la muestra. Este procedimiento se repitió tanto para los muretes de adobe patrón como para los reforzados con fibra PET al 1% ,3% y 7% como se muestra en la figura 49.

Figura 49

Resistencia de compresión los adobes





Paso 9. Prueba de densidad

Como primer paso del ensayo de densidad, se seleccionó de manera aleatoria una unidad de adobe correspondiente a cada tipo estudiado: el adobe patrón y los reforzados con fibra PET (1%, 3% y 7%). Seguidamente, cada uno de estos especímenes fue pesado, procedimiento que se ilustra a modo de ejemplo en la figura 50.

Figura 50

Prueba de densidad



En segundo lugar, una vez registrado el peso, se determinó el volumen correspondiente a cada muestra, para lo cual se emplearon dos procedimientos distintos. El primero consistió en tomar las dimensiones físicas del espécimen para calcular directamente el volumen de la unidad. El segundo, en cambio, implicó recubrir la muestra con una delgada capa de parafina, la cual se pesó posteriormente en una balanza electrónica; a continuación, el espécimen recubierto se sumergió en agua con el fin de obtener su volumen por desplazamiento, tal como se muestra en la figura 51.

Figura 51

Espécimen recubierto sumergido en agua



Figura 57. Proceso de sumergido de muestra de adobe patrón con parafina.

Con los valores de masa y volumen ya disponibles para cada muestra, se aplicó la siguiente relación para obtener la densidad:

$$d = \frac{m}{v}$$

Donde:

d es la densidad, expresada en g/cm³.

m es la masa del espécimen, en gramos (g).

v es el volumen correspondiente, en centímetros cúbicos (cm³).

Paso 10. Prueba de porcentaje de absorción de agua

Como primer paso del ensayo de absorción de agua, se seleccionó al azar una unidad de adobe por cada tipo estudiado: el adobe patrón y los reforzados con fibra PET (1%, 3% y 7%). A continuación, cada espécimen se sumergió en un recipiente hasta alcanzar la saturación total, tal como se aprecia en la figura 52.

Figura 52

Saturación total de especímenes



En segundo lugar, tras el periodo de inmersión, las muestras fueron secadas superficialmente con un paño húmedo para eliminar el agua adherida a la superficie, procediéndose luego a su pesaje en la balanza electrónica, según se muestra en la figura 53.

Figura 53

Medida del peso de la muestra totalmente saturada



Como tercer paso, los especímenes se colocaron en el horno para completar su secado. Finalmente, una vez retiradas las muestras ya secas, se determinó el peso seco de cada una empleando la balanza electrónica, tal como se ilustra en la figura 54.

Figura 54

Secado de muestras en el horno



Este procedimiento permitió obtener, para cada muestra, tanto el peso húmedo como el peso seco, valores que posteriormente se incorporaron como en la ecuación 04:

$$\text{Absorción de agua (\%)} = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \times 100 \dots \dots \dots \text{Ecu (4)}$$

Donde:

W1: peso seco del bloque (kg)

W2: peso húmedo del bloque (kg)

Paso 11. Prueba de conductividad térmica

La propiedad térmica evaluada correspondió a la conductividad térmica de los materiales, magnitud que expresa la capacidad de un cuerpo para transmitir calor. Dicha medición se efectuó de manera directa, empleando el equipo Thermtest TLS-100 un instrumento portátil capaz de registrar la conductividad y la resistividad térmica en distintos tipos de materiales, entre ellos suelo, rocas, hormigón y polímeros como se muestra en la figura 55.

Figura 55

Medidor de Conductividad térmica (Thermtest TLS-100)



El ensayo se aplicó sobre 4 especímenes de adobe patrón y 4 especímenes de cada variante reforzada con fibra PET (1%, 3% y 7%), sumando un total de 16 muestras evaluadas en la figura 56. Esta prueba estuvo a cargo de la empresa INGEOTECON.

Figura 56

Muestras de adobe patrón y adobe con fibras



El procedimiento de medición consiste en insertar completamente el sensor dentro de la muestra, tras lo cual la lectura se activa con solo presionar un botón. Transcurridos 180 segundos, el equipo despliega los valores obtenidos de conductividad y resistividad térmica, tal como se observa en la figura 57.

Figura 57

Prueba de conductividad térmica en las muestras



Paso 12. Prueba de fluctuación térmica

La fluctuación térmica evaluada corresponde a la diferencia de amplitud térmica (ΔM) que se registra entre el exterior y el interior de las muestras al ser sometidas a ciclos sucesivos de calentamiento y enfriamiento. Esta medición se realizó empleando una cámara de ciclos térmicos, encargada de generar las variaciones controladas de temperatura, en conjunto con un termómetro (o sensor de temperatura), utilizado para registrar la amplitud térmica en el exterior y en el interior de cada espécimen.

El ensayo se aplicó sobre las muestras correspondientes al adobe patrón y a los adobes reforzados con fibra PET (1%, 3% y 7%), sometiendo cada espécimen a los respectivos ciclos de calentamiento-enfriamiento dentro de la cámara durante un periodo de 24 horas.

El procedimiento consistió en registrar la amplitud de temperatura exterior ($Amplitud_{exterior}$), es decir, la variación de temperatura generada por la cámara de ciclos térmicos, y simultáneamente la amplitud de temperatura transmitida al interior de cada muestra ($Amplitud_{interior}$). Con ambos valores se calculó la fluctuación térmica empleando la ecuación 05:

$$\text{Fluctuacion termica } (\Delta M) = \text{Amplitud}_{\text{exterior}} - \text{Amplitud}_{\text{interior}} \dots \dots \dots \text{Ecu (05)}$$

Donde:

$\text{Amplitud}_{\text{exterior}}$: amplitud de temperatura registrada en el exterior de la muestra durante el ciclo de calentamiento-enfriamiento.

$\text{Amplitud}_{\text{interior}}$: amplitud de temperatura registrada en el interior de la muestra durante el mismo ciclo.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Resultados

3.1.1 Determinar las características físicas del suelo y la dosificación de las fibras PET recicladas para la elaboración del adobe tradicional

a) Análisis granulométrico por tamizado

A continuación, en la tabla 10 muestra el resultado del tamizado del suelo: qué porcentaje de partículas quedó retenido en cada malla (de la más grande a la más fina) y qué porcentaje logró pasar. El dato clave es que el 50.14% de la muestra pasó el tamiz N°200, lo que indica que el suelo tiene alto contenido de partículas finas (arcilla), consistente con su clasificación posterior como CL (arcilla de baja plasticidad).

Tabla 10

Análisis granulométrico

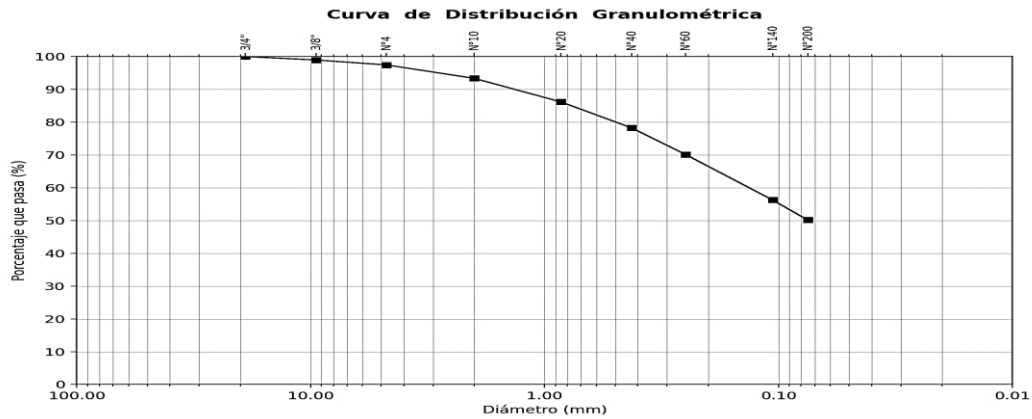
Tamiz ASTM E 11	Abertura (mm)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Paso
3/4"	19.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	1.05	1.05	98.95
N°4	4.750	1.50	2.55	97.45
N°10	2.000	4.10	6.65	93.35
N°20	0.850	7.20	13.85	86.15
N°40	0.425	7.90	21.75	78.25
N°60	0.250	8.10	29.85	70.15
N°140	0.106	13.90	43.75	56.25
N°200	0.075	6.11	49.86	50.14
Fondo		50.14	100.00	0.00

Nota: Extraído del Informe de ensayo N.° OE20-563-01-EN, por INGEOCON, 2026

En la figura 58 se puede observar la distribución del suelo respecto a los tamices, donde se observa que hay un gran porcentaje de suelos que ha pasado el tamiz N°200.

Figura 58

Curva de distribución Granulométrica



Nota: Extraído del Informe de ensayo N.º OE20-563-01-EN, por INGEOCON, 2026

b) Límites de Atterberg

• Limite Líquido

En la Tabla 15, se aprecia el contenido de humedad con sus respectivos números de golpes de las tres pruebas realizadas para determinar el límite líquido.

Tabla 15

Determinación de Limite Líquido

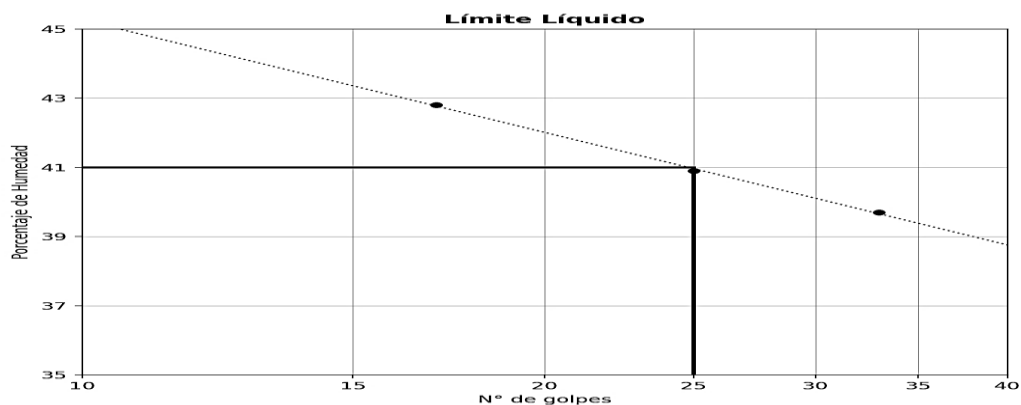
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO			
Nº golpes	32	25	18
Contenido de Humedad (%)	39.8	40.9	42.9

Nota: Extraído del Informe de ensayo N.º OE20-563-01-EN, por INGEOCON, 2026

Esta información, se presenta en la figura 59, donde se puede observar que del ensayo realizado en el laboratorio se determinó el límite líquido con un valor de 41%

Figura 59

Limite Liquido



Nota: Extraído del Informe de ensayo N.º OE20-563-01-EN, por INGEOCON, 2026

- **Límite plástico**

En la tabla 11, se puede observar el contenido de humedad calculado de los bastoncitos ensayados en laboratorio, para este ensayo se realizaron dos pruebas.

Tabla 11

Determinación del Limite Plástico

DETERMINACIÓN DE LIMITE PLÁSTICO	Contenido de Humedad (%)
Prueba 1	19.7
Prueba 2	21

Nota: Extraído del Informe de ensayo N.º OE20-563-01-EN, por INGEOCON, 2026

Por lo tanto, del ensayo realizado en el laboratorio se determinó el límite plástico con un valor de 21%

Por otro lado, en la tabla 12 se observa el resumen de los datos obtenidos en los ensayos de límite de Atterberg.

Tabla 12

Resultados del ensayo de Limites de Atterberg

RESULTADOS DEL ENSAYO	
LÍMITE LIQUIDO	40
LÍMITE PLÁSTICO	21
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	22

Nota: Extraído del Informe de ensayo N.º OE20-563-01-EN, por INGEOCON, 2026

d) Clasificación de suelos (SUCS)

A continuación, en la tabla 13 se observa la composición de suelo extraído de la comunidad de Rancho para la elaboración de las muestras de adobe.

Tabla 13

Composición del suelo extraído

COMPOSICIÓN DEL SUELO EXTRAÍDO			
FRACCION GRUESA			49.86%
Grava	Nº4 < a < 3"		5.11%
Arena	Nº200 < a < Nº4		94.89%
	Arena Gruesa	Nº10 < a < Nº4	8.67%
	Arena Media	Nº40 < a < Nº10	31.92%
	Arena fina	Nº200 < a < Nº40	59.42%
FRACCION FINA			50.14%

Nota: Extraído del Informe de ensayo N.º OE20-563-01-EN, por INGEOCON, 2026

Según la información obtenida en los ensayos se pudo realizar la clasificación del suelo según ASTM D2487 (2017), en donde se obtuvo que más del 50% de la muestra pasaba por el tamiz N° 200. Asimismo, se obtuvo un índice de plasticidad de 22%,

Toda esta información permite clasificar al suelo como tipo CL (arcilla de baja plasticidad), tal como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14

Clasificación SUCS

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	CL
DESCRIPCIÓN DE SUELOS	Arcilla de baja plasticidad arenosa

Nota: Extraído del Informe de ensayo N.° OE20-563-01-EN, por INGEOCON, 2026

En función, al tipo de suelo CL de la clasificación de suelos SUCS, se puede concluir que la tierra de la zona de estudio escogida que emplean los pobladores para la construcción de sus adobes tiene alta facilidad de tratamiento en obra, baja permeabilidad y moderada compresibilidad.

e) Incorporación de fibras PET

A partir de la clasificación del suelo de Huayrapata como tipo CL (arcilla de baja plasticidad), se confirmó su aptitud para elaborar adobe tradicional gracias a su adecuada cohesión y trabajabilidad. Con base en esto, se definieron las dosificaciones de fibras PET (1 %, 3 % y 7 %) y de ichu (0.25 %) respecto al peso del suelo seco. Usando una relación agua/suelo seco de 0.2, se calculó el peso de cada componente (suelo seco, agua e ichu/PET) para las mezclas de cubos ($10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$) y muretes de adobe ($11 \times 22 \times 8 \text{ cm}^3$), como se detalla en las tablas 15 y 16 y en el Paso 5 de la metodología

Tabla 15

Resultados de los cálculos de materiales para las unidades de adobe de forma cúbica ($10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$)

Material	Adobe Patrón (0.25% ichu)	Mezcla 1 (1% PET)	Mezcla 2 (3% PET)	Mezcla 3 (7% PET)
Suelo seco (g)	2,267.8	2,267.8	2,267.8	2,267.8
Agua (g)	453.6	453.6	453.6	453.6
Ichu / PET (g)	5.7	22.7	68.0	158.7
TOTAL (g)	2,727.1	2,744.1	2,789.4	2,880.1

Tabla 16

Resultados de los cálculos de materiales para las unidades de adobe de forma rectangular (22x11x8 cm³) empleadas en la formación de un murete

Material	Adobe Patrón (0.25% ichu)	Mezcla 1 (1% PET)	Mezcla 2 (3% PET)	Mezcla 3 (7% PET)
Suelo seco (g)	4,390.5	4,390.5	4,390.5	4,390.5
Agua (g)	878.1	878.1	878.1	878.1
Ichu / PET (g)	11.0	43.9	131.7	307.3
TOTAL (g)	5,279.6	5,312.5	5,400.3	5,576.0

3.1.2. Evaluar la resistencia a la compresión, densidad, absorción de agua, conductividad térmica y fluctuación térmica del adobe patrón y de los adobes reforzados con 1%, 3% y 7% de PET.

a) Ensayo de Resistencia a la Compresión en unidades de adobe de forma cúbica

En la tabla 17 se observa los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión en unidades de adobe patrón (10x10x10 cm³).

Tabla 17

Resistencia a la compresión en unidades de adobe patrón

MUESTA N°	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm ²)
1	9.50	10.00	95.0	1489.8	15.7
2	9.50	10.00	95.0	1373.0	14.5
3	9.40	10.00	94.0	1406.0	15.0
4	10.00	9.30	93.0	1358.9	14.6
5	10.00	9.20	92.0	1469.1	16.0
6	10.00	9.20	92.0	1387.1	15.1
Promedio					15.15

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La resistencia a la compresión en unidades de adobe patrón es en promedio 15.2 kg/cm². En la tabla 18 se observa los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 1% de fibras PET.

Tabla 18

Resistencia a la compresión en unidades de adobe con 1% de fibras PET

MUESTA N°	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm ²)
1	10.00	9.80	98.0	1605.3	16.4

2	9.90	10.00	99.0	1541.2	15.6
3	10.00	9.90	99.0	1389.0	14.0
4	10.00	10.00	100.0	1322.1	13.2
5	10.00	9.80	98.0	1370.4	14.0
6	9.90	10.00	99.0	1326.1	13.4
Promedio					14.43

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La resistencia a la compresión en unidades de adobe con 1% de fibras PET es en promedio 14.4 kg/cm².

En la tabla 19 se observa los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 3% de fibras PET.

Tabla 19

Resistencia a la compresión en unidades de adobe con 3% de fibras PET

MUESTA N°	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm ²)
1	9.90	9.90	98.0	1190.7	12.2
2	9.90	9.90	98.0	1326.6	13.5
3	9.90	10.00	99.0	1608.5	16.2
4	9.90	9.90	98.0	1571.0	16.0
5	10.00	9.90	99.0	1535.2	15.5
6	10.00	9.90	99.0	1608.9	16.3
Promedio					15.0

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La resistencia a la compresión en unidades de adobe con 3% de fibras PET es en promedio 15.0 kg/cm². En la tabla 20 se observa los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 7% de fibras PET.

Tabla 20

Resistencia a la compresión en unidades de adobe con 7% de fibras PET

MUESTA N°	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm ²)
1	9.90	9.90	98.0	1880.3	19.2
2	9.90	9.90	98.0	1603.9	16.4
3	9.90	10.00	99.0	2007.4	20.3
4	9.90	9.90	98.0	1725.6	17.6
5	10.00	9.90	99.0	1728.9	17.5
6	10.00	9.90	99.0	1545.6	15.6
Promedio					17.8

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La resistencia a la compresión en unidades de adobe con 7% de fibras PET es en promedio 17.8 kg/cm².

Por otro lado, a continuación, en la tabla 21, se presenta un resumen del promedio de las resistencias a la compresión de las muestras ensayadas y en la tabla 22 el resumen del promedio de las 4 mejores muestras.

Tabla 21

Resumen del promedio de la resistencia a la compresión en unidades de adobe patrón y con fibras PET

UNIDADES SEGÚN % DE FIBRAS PET	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO EN UNIDADES (kg/cm ²)
Unidades de adobe patrón	15.2
Unidades de adobe con 1% de fibras PET	14.4
Unidades de adobe con 3% de fibras PET	15.0
Unidades de adobe con 7% de fibras PET	17.8

Tabla 22

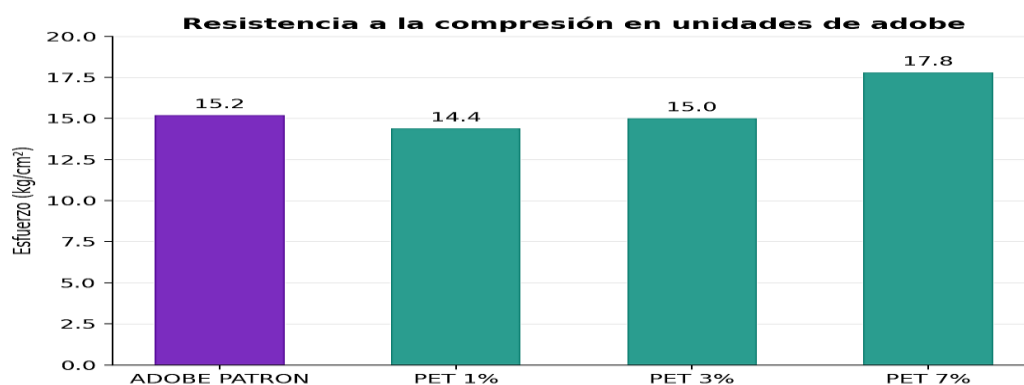
Resumen del promedio de la resistencia a la compresión de las 4 mejores unidades de adobe patrón y con fibras PET

UNIDADES SEGÚN % DE FIBRAS PET	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO EN UNIDADES (kg/cm ²)
Unidades de adobe patrón	15.45
Unidades de adobe con 1% de fibras PET	15.00
Unidades de adobe con 3% de fibras PET	16.00
Unidades de adobe con 7% de fibras PET	18.65

En la figura 60, se observa el promedio de la resistencia a la compresión para unidades de adobe patrón y con fibras PET (1%,3% y 7%).

Figura 60

Promedio de la resistencia a la compresión de las unidades de adobe



b) Ensayo de resistencia a la compresión en muretes de adobe, de ladrillos de forma rectangular (22×11×8 cm³).

En la tabla 23 se observa los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión en muretes de adobe, de ladrillos con dimensiones de 22x11x8 cm³ de adobe patrón.

Tabla 23

Resistencia a la compresión en muretes de adobe patrón, de ladrillos con dimensiones de 22×11×8 cm³

MUESTRA N°	H (cm)	E (cm)	(H/E)	ÁREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CORREGIDO (kg/cm ²)
1	36.50	11.00	3.32	242	1993.0	8.2	7.5
2	37.00	11.00	3.36	242	1735.1	7.2	6.6
3	35.50	10.00	3.55	205	1836.7	9.0	8.4
4	35.80	10.50	3.41	215	1688.7	7.9	7.3
5	35.80	11.00	3.25	231	1912.2	8.3	7.7
6	35.50	11.00	3.23	242	1827.1	7.5	6.9
Promedio							7.38

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La resistencia a la compresión en muretes de adobe patrón es en promedio 7.4 kg/cm².

En la tabla 24 se observa los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión en muretes de adobe, de ladrillos con dimensiones de 22x11x8 cm³ con 1% de fibras PET.

Tabla 24

Resistencia a la compresión en muretes de adobe, de ladrillos con dimensiones de 22×11×8 cm³, con 1 % de fibras PET

MUESTRA N°	H (cm)	E (cm)	(H/E)	ÁREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CORREGIDO (kg/cm ²)
1	37.00	11.00	3.36	242	1716.8	7.1	6.5
2	37.00	11.00	3.36	242	1986.8	8.2	7.5
3	37.00	11.00	3.36	242	2139.3	8.8	8.1
4	37.00	11.00	3.36	242	2326.3	9.6	8.8

5	37.00	11.00	3.36	242	2245.8	9.3	8.5
6	37.00	11.00	3.36	242	2267.9	9.4	8.6
Promedio							8.0

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La resistencia a la compresión en muretes de adobe con 1% de fibras PET es en promedio 8.0 kg/cm².

En la tabla 25 se observa los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión en muretes de adobe, de ladrillos con dimensiones de 22x11x8 cm³ con 3% de fibras PET.

Tabla 25

Resistencia a la compresión en muretes de adobe, de ladrillos con dimensiones de 22x11x8 cm³, con 3 % de fibras PET

MUESTRA N°	H (cm)	E (cm)	(H/E)	ÁREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CORREGIDO (kg/cm ²)
1	37.00	11.00	3.36	242	3333.5	13.8	12.7
2	37.00	11.00	3.36	242	3333.8	13.8	12.7
3	37.00	11.00	3.36	242	2993.5	12.4	11.4
4	37.00	11.00	3.36	242	3022.2	12.5	11.5
5	37.00	11.00	3.36	242	3301.7	13.6	12.6
6	37.00	11.00	3.36	242	3255.0	13.5	12.3
Promedio							12.2

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La resistencia a la compresión en muretes de adobe con 3% de fibras PET es en promedio 12.2 kg/cm².

En la tabla 26 se observa los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión en muretes de adobe, de ladrillos con dimensiones de 22x11x8 cm³ con 7% de fibras PET.

Tabla 26

Resistencia a la compresión en muretes de adobe, de ladrillos con dimensiones de 22x11x8 cm³, con 7 % de fibras PET

MUESTRA N°	H (cm)	E (cm)	(H/E)	ÁREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CORREGIDO (kg/cm ²)
1	37.00	11.00	3.36	242	3051.0	12.6	11.6

2	37.00	11.00	3.36	242	3027.0	12.5	11.5
3	37.00	11.00	3.36	242	3504.5	14.5	13.3
4	37.00	11.00	3.36	242	3078.8	12.7	11.7
5	37.00	11.00	3.36	242	3568.2	14.7	13.6
6	37.00	11.00	3.36	242	3206.0	13.2	12.1
Promedio							12.3

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La resistencia a la compresión en muretes de adobe con 7% de fibras PET es en promedio 12.3 kg/cm².

Por otro lado, a continuación, en la tabla 27, se presenta un resumen del promedio de las resistencias a la compresión de las muestras ensayadas y en la tabla 28 el resumen del promedio de los 4 mejores muretes.

Tabla 27

Resumen del promedio de la resistencia a la compresión en muretes de adobe patrón y con fibras PET, de ladrillos con dimensiones de 22×11×8 cm³

MURETES DE ADOBE SEGÚN % DE FIBRAS PET	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO EN MURETES (kg/cm²)
Muretes de adobe patrón	7.4
Muretes de adobe con 1% de fibras PET	8.0
Muretes de adobe con 3% de fibras PET	12.2
Muretes de adobe con 7% de fibras PET	12.3

Tabla 28

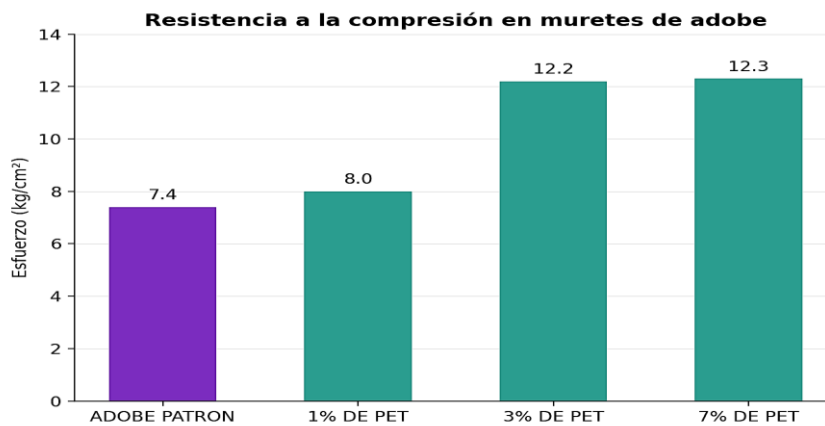
Resumen del promedio de la resistencia a la compresión de los 4 mejores muretes de adobe patrón y con fibras PET, de ladrillos con dimensiones de 22×11×8 cm³

MURETES DE ADOBE SEGÚN % DE FIBRAS PET	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO EN MURETES (kg/cm²)
Muretes de adobe patrón	7.72
Muretes de adobe con 1% de fibras PET	8.50
Muretes de adobe con 3% de fibras PET	12.57
Muretes de adobe con 7% de fibras PET	12.68

En la figura 61, se observa el promedio de la resistencia a la compresión para los muretes de adobe patrón y con fibras PET (1%,3% y 7%).

Figura 61

Promedio de la resistencia a la compresión de los muretes de adobe



c) Ensayo de densidad

En la tabla 29 se observa los resultados obtenidos del ensayo de densidad en unidades de adobe patrón (10x10x10 cm³)

Tabla 29

Densidad en unidades de adobe patrón

MUESTRA N°	PESO SECO (g)	VOLUMEN (cm³)	DENSIDAD (g/cm³)
1	1443	950	1.519
2	1459	950	1.536

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La densidad en unidades de adobe patrón es en promedio 1.53 g/cm³.

En la tabla 30 se observa los resultados obtenidos del ensayo de densidad en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 1% de fibras PET.

Tabla 30

Densidad en unidades de adobe con 1% de fibras PET

MUESTRA N°	PESO SECO (g)	VOLUMEN (cm³)	DENSIDAD (g/cm³)
1	1390	985	1.41
2	1385	982	1.41

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La densidad en unidades de adobe con 1% de fibras PET es en promedio 1.41 g/cm³.

En la tabla 31 se observa los resultados obtenidos del ensayo de densidad en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 3% de fibras PET.

Tabla 31*Densidad en unidades de adobe con 3% de fibras PET*

MUESTRA N°	PESO SECO (g)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)
1	1300	988	1.32
2	1345	990	1.36

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La densidad en unidades de adobe con 3% de fibras PET es en promedio 1.34 g/cm³.

En la tabla 32 se observa los resultados obtenidos del ensayo de densidad en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 7% de fibras PET.

Tabla 32*Densidad en unidades de adobe con 7% de fibras PET*

MUESTRA N°	PESO SECO (g)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)
1	1270	995	1.28
2	1275	998	1.28

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La densidad en unidades de adobe con 7% de fibras PET es en promedio 1.28 g/cm³.

Por otro lado, a continuación, en la tabla 33, se presenta un resumen del promedio de densidad de las muestras ensayadas.

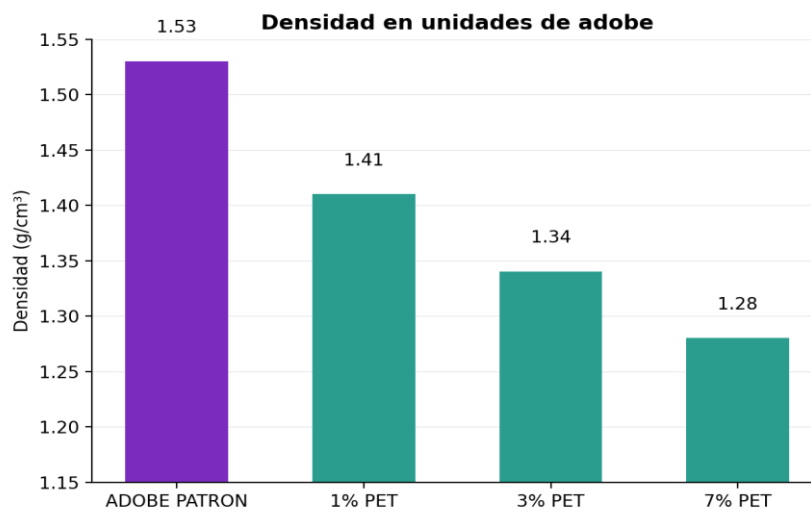
Tabla 33*Resumen del promedio de densidad en unidades de adobe patrón y con fibras PET*

UNIDADES DE ADOBE SEGÚN % DE FIBRAS PET	DENSIDAD PROMEDIO (g/cm ³)
Unidades de adobe patrón	1.53
Unidades de adobe con 1% de fibras PET	1.41
Unidades de adobe con 3% de fibras PET	1.34
Unidades de adobe con 7% de fibras PET	1.28

En la figura 62, se observa la densidad promedio de las muestras de adobe patrón y con fibras PET (1%,3% y 7%).

Figura 62

Densidad promedio de las muestras de adobe



c) Ensayo del Porcentaje de Absorción de Agua

En la tabla 34 se observa los resultados obtenidos del ensayo del porcentaje de absorción de agua en unidades de adobe patrón (10x10x10 cm³).

Tabla 34

Porcentaje de absorción de agua en unidades de adobe patrón

MUESTRA N°	PESO SECO (g)	PESO SATURADO (g) 24 hrs	ABSORCIÓN (%)
1	1442.90	1746.10	21.0
2	1548.90	1877.50	21.2

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

El porcentaje de absorción de agua en unidades de adobe patrón es en promedio 21.1 %

En la tabla 35 se observa los resultados obtenidos del ensayo del porcentaje de absorción de agua en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 1% de fibras PET.

Tabla 35

Porcentaje de absorción de agua en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 1% de fibras PET

MUESTRA N°	PESO SECO (g)	PESO SATURADO (g) 24 hrs	ABSORCIÓN (%)
1	1222.33	1467.27	20.0
2	1239.14	1500.5	21.0

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

El porcentaje de absorción de agua en unidades de adobe con 1% de fibras PET es en promedio 20.6 %

En la tabla 36 se observa los resultados obtenidos del ensayo del porcentaje de absorción de agua en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 3% de fibras PET.

Tabla 36

Porcentaje de absorción de agua en unidades de adobe con 3% de fibras PET

MUESTRA N°	PESO SECO (g)	PESO SATURADO (g) 24 hrs	ABSORCIÓN (%)
1	1292.73	1527.42	18.2
2	1259.99	1525.50	21.1

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

El porcentaje de absorción de agua en unidades de adobe con 3% de fibras PET es en promedio 19.6 %

En la tabla 37 se observa los resultados obtenidos del ensayo del porcentaje de absorción de agua en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 7% de fibras PET.

Tabla 37

Porcentaje de absorción de agua en unidades de adobe con 7% de fibras PET

MUESTRA N°	PESO SECO (g)	PESO SATURADO (g) 24 hrs	ABSORCIÓN (%)
1	1189.20	1414.95	19.0
2	1195.24	1413.9	18.3

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

El porcentaje de absorción de agua en unidades de adobe con 7% de fibras PET es en promedio 18.6 %

Por otro lado, a continuación, en la tabla 38, se presenta un resumen del promedio del porcentaje de absorción de agua de las muestras ensayadas.

Tabla 38

Resumen del promedio del porcentaje de absorción de agua en unidades de adobe (10x10x10 cm³) patrón y con fibras PET

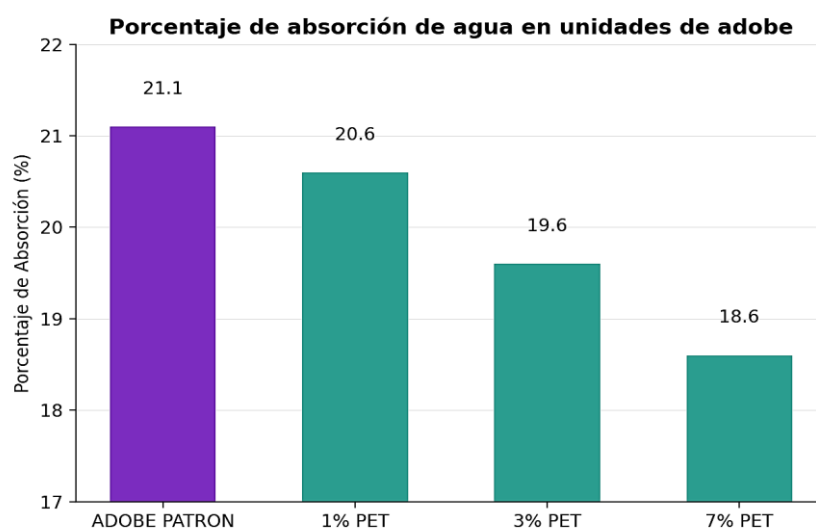
UNIDADES SEGÚN % DE FIBRAS PET	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN PROMEDIO (%)	DE AGUA
Unidades de adobe patrón	21.1	

Unidades de adobe con 1% de fibras PET	20.6
Unidades de adobe con 3% de fibras PET	19.6
Unidades de adobe con 7% de fibras PET	18.6

En la figura 63, se observa el porcentaje de absorción de agua promedio de las muestras de adobe patrón y con fibras PET (1%,3% y 7%).

Figura 63

Porcentaje de absorción promedio de las unidades de adobe (10x10x10 cm³)



d) Ensayo de conductividad térmica

En la tabla 39 se observa los resultados obtenidos de conductividad térmica en unidades de adobe patrón (10x10x10 cm³).

Tabla 39

Conductividad térmica en unidades del adobe (10x10x10 cm³) patrón

MUESTRA N°	MUESTREO 1 (W/m·K)	MUESTREO 2 (W/m·K)
1	0.5584	0.5501
2	0.5328	0.5257
3	0.7247	0.6648

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La conductividad térmica en unidades del adobe patrón es en promedio 0.59 W/m.K

En la tabla 40 se observa los resultados obtenidos de conductividad térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 1% de fibras PET.

Tabla 40

Conductividad térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 1% de fibras PET

MUESTRA N°	MUESTREO 1 (W/m·K)	MUESTREO 2 (W/m·K)
1	0.3636	0.3517
2	0.5707	0.5631
3	0.5290	0.5290

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La conductividad térmica en unidades de adobe con 1% de fibras PET es en promedio 0.48 W/m.K

En la tabla 41 se observa los resultados obtenidos de conductividad térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 3% de fibras PET.

Tabla 41

Conductividad térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 3% de fibras PET

MUESTRA N°	MUESTREO 1 (W/m·K)	MUESTREO 2 (W/m·K)
1	0.4461	0.4321
2	0.4096	0.4097
3	0.5444	0.5366

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La conductividad térmica en unidades de adobe con 3% de fibras PET es en promedio 0.46 W/m.K

En la tabla 42 se observa los resultados obtenidos de conductividad térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 7% de fibras PET.

Tabla 42

Conductividad térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 7% de fibras PET

MUESTRA N°	MUESTREO 1 (W/m·K)	MUESTREO 2 (W/m·K)
1	0.3373	0.3233
2	0.5615	0.5615
3	0.2727	0.2684

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La conductividad térmica en unidades de adobe con 7% de fibras PET es en promedio 0.39 W/m.K

Por otro lado, a continuación, en la Tabla 46, se presenta un resumen del promedio de conductividad térmica de las muestras ensayadas.

Tabla 43

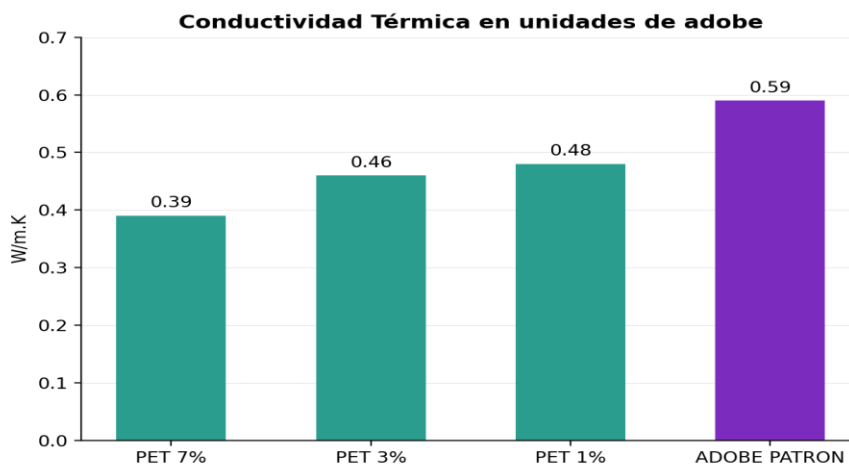
Resumen de la conductividad térmica de las unidades de adobe patrón (10x10x10 cm³) y con fibras PET

UNIDADES SEGÚN % DE FIBRAS PET	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/m.K)
Unidades de adobe patrón	0.59
Unidades de adobe con 1% de fibras PET	0.48
Unidades de adobe con 3% de fibras PET	0.46
Unidades de adobe con 7% de fibras PET	0.39

En la figura 64, se observa la conductividad térmica promedio de las muestras de adobe patrón y con fibras PET (1%,3% y 7%).

Figura 64

Conductividad térmica promedio de las unidades de adobe (10x10x10 cm³)



e) Ensayo de fluctuación térmica

La fluctuación térmica (ΔM) mide la diferencia entre la amplitud de temperatura registrada en el exterior y la transmitida al interior de la unidad de adobe durante un ciclo de 24 horas; un valor de ΔM menor indica una mayor capacidad de amortiguamiento térmico del material. Los datos que se presentan a continuación fueron obtenidos mediante el ensayo de choque térmico, en el cual se registró la amplitud de temperatura en el exterior y en el interior de las unidades de adobe durante un ciclo de 24 horas, determinándose la diferencia entre ambas (ΔM) como indicador de la capacidad de amortiguamiento térmico del material.

En la tabla 44 se observa los resultados obtenidos del ensayo de fluctuación térmica en unidades de adobe patrón (10x10x10 cm³).

Tabla 44*Fluctuación térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm³) patrón*

MUESTRA N°	AMPLITUD EXTERIOR (°C)	AMPLITUD INTERIOR (°C)	ΔM (°C)
1	17.9	4.8	13.1
2	17.6	4.7	12.9

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La fluctuación térmica en unidades de adobe patrón es en promedio 13.0 °C.

En la tabla 45 se observa los resultados obtenidos del ensayo de fluctuación térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 1% de fibras PET.

Tabla 45*Fluctuación térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 1% de fibras PET*

MUESTRA N°	AMPLITUD EXTERIOR (°C)	AMPLITUD INTERIOR (°C)	ΔM (°C)
1	17.8	6.6	11.2
2	17.5	6.5	11.0

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La fluctuación térmica en unidades de adobe con 1% de fibras PET es en promedio 11.1 °C.

En la tabla 46 se observa los resultados obtenidos del ensayo de fluctuación térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 3% de fibras PET.

Tabla 46*Fluctuación térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 3% de fibras PET*

MUESTRA N°	AMPLITUD EXTERIOR (°C)	AMPLITUD INTERIOR (°C)	ΔM (°C)
1	17.9	8.1	9.8
2	17.6	8.0	9.6

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La fluctuación térmica en unidades de adobe con 3% de fibras PET es en promedio 9.7 °C.

En la tabla 47 se observa los resultados obtenidos del ensayo de fluctuación térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 7% de fibras PET.

Tabla 47

Fluctuación térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm³) con 7% de fibras PET

MUESTRA N°	AMPLITUD EXTERIOR (°C)	AMPLITUD INTERIOR (°C)	ΔM (°C)
1	17.7	9.6	8.1
2	17.9	9.6	8.3

A partir de los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

La fluctuación térmica en unidades de adobe con 7% de fibras PET es en promedio 8.2 °C.

Por otro lado, a continuación, en la tabla 48, se presenta un resumen del promedio de la fluctuación térmica de las muestras ensayadas.

Tabla 48

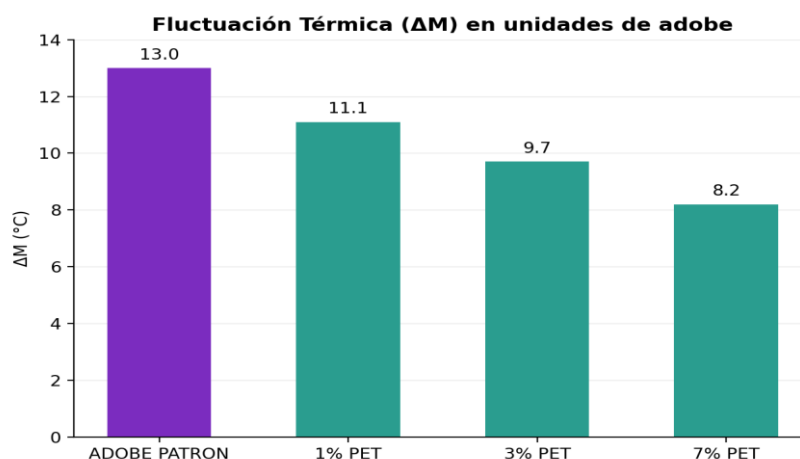
Resumen de la fluctuación térmica de las unidades de adobe (10x10x10 cm³) patrón y con fibras PET

UNIDADES SEGÚN % DE FIBRAS PET	FLUCTUACIÓN TÉRMICA ΔM PROMEDIO (°C)
Unidades de adobe patrón	13.0
Unidades de adobe con 1% de fibras PET	11.1
Unidades de adobe con 3% de fibras PET	9.7
Unidades de adobe con 7% de fibras PET	8.2

En la figura 65, se observa la fluctuación térmica promedio de las muestras de adobe patrón y con fibras PET (1%,3% y 7%). Se aprecia que, de manera consistente con la reducción de la conductividad térmica, un mayor porcentaje de fibras PET reduce la fluctuación térmica transmitida al interior de la unidad, mejorando así el desempeño térmico del adobe.

Figura 65

Fluctuación térmica promedio de las unidades de adobe (10x10x10 cm³)



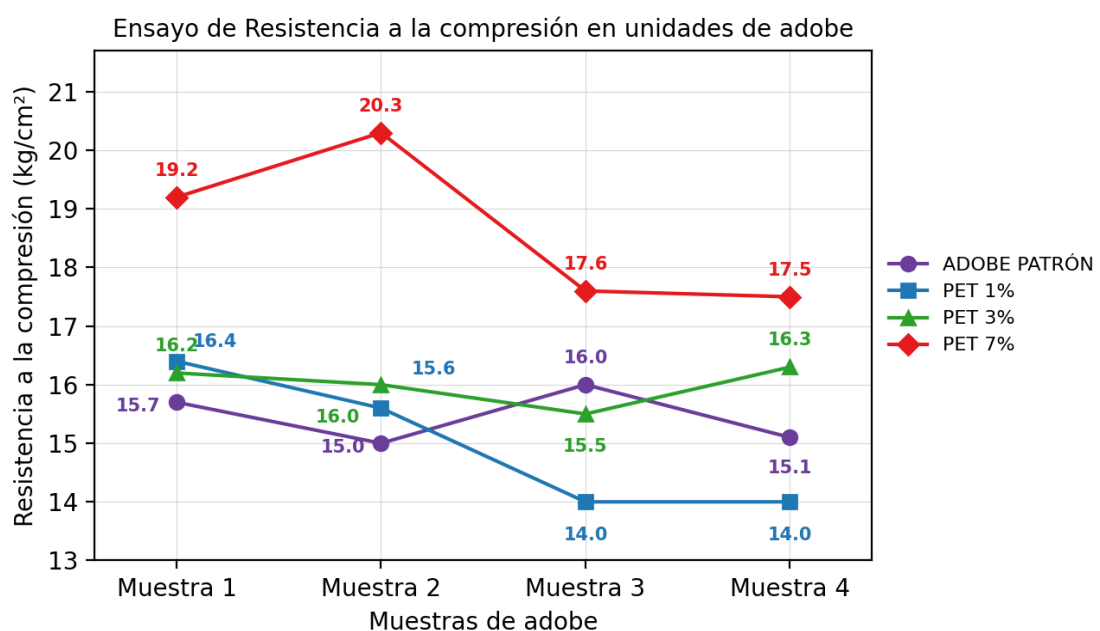
Los resultados confirman que la dosificación de 7 % de fibras PET presentó el mejor desempeño en las cinco propiedades evaluadas: incremento de 21 % en resistencia a la compresión en unidades y 64 % en muretes, y reducciones de 16 % en densidad, 12 % en absorción de agua, 36 % en conductividad térmica y 37 % en fluctuación térmica, respecto al adobe patrón. Con ello se da cumplimiento al segundo objetivo específico de la investigación.

3.1.3. Comparar los resultados del adobe patrón versus los adobes reforzados al 1%, 3% y 7% determinando el porcentaje óptimo de incorporación de fibras PET

En la figura 66 se observa la tendencia de los resultados obtenidos en el ensayo de compresión en unidades de adobe patrón y adobe con fibras PET (1 %, 3 % y 7 %). Se aprecia que el adobe reforzado con 7 % de fibras PET presenta, en las cuatro muestras evaluadas, una resistencia a la compresión mayor que la del adobe patrón. Se sabe que el promedio de los resultados de compresión de las 4 mejores muestras del adobe patrón es 15.45 kg/cm², mientras que el de 1 %, 3 % y 7 % de fibras PET es 15.00 kg/cm², 16.00 kg/cm² y 18.65 kg/cm² respectivamente. Por consiguiente, la resistencia a la compresión en unidades de adobe aumenta en un 21 % y 4 % con 3 % y 7 % de fibras PET respectivamente, mientras que con 1 % de fibras PET presentó una menor resistencia a la compresión (3 % menos) con respecto al adobe patrón.

Figura 66

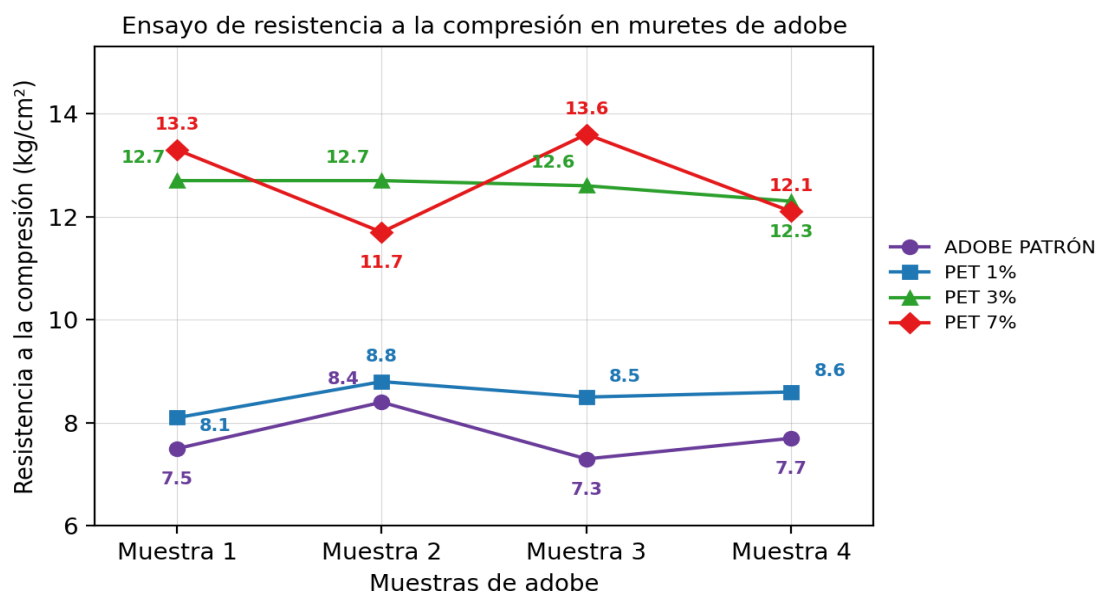
Variación de las resistencias a la compresión de las unidades de adobe de forma cubica (10x10x10 cm³) patrón y adobe con fibras PET



En la figura 67 se puede observar la tendencia de los resultados obtenidos en el ensayo de compresión en los muretes de adobe patrón y adobe con fibras PET (1 %, 3 % y 7 %). A partir de los datos se aprecia el rango de resultados de resistencia a la compresión obtenidos en cada tipo de muretes, donde se observa que la variación entre los resultados obtenidos en cada tipo de muestras ensayadas es pequeña. Asimismo, se puede apreciar la variación que existe entre los adobes con fibras PET (1 %, 3 % y 7 %) respecto al adobe patrón, lo cual evidencia un efecto de la incorporación de fibras PET en la mejora de la resistencia a la compresión del adobe. Se sabe que el promedio de la resistencia a la compresión de los muretes de adobe patrón y adobe con fibras PET (1 %, 3 % y 7 %) es de 7.72 kg/cm², 8.50 kg/cm², 12.57 kg/cm² y 12.68 kg/cm² respectivamente. Por consiguiente, la resistencia a la compresión en muretes de adobe aumenta en un 65 % y 64 % con 3 % y 7 % de fibras.

Figura 67

Variación de las resistencias a la compresión de los muretes de adobe patrón y adobe con fibras PET



A partir de la tabla 22, se puede apreciar el rango de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión en unidades de adobe, donde se observa que la variación de los resultados obtenidos en el adobe con 3% de fibras PET y el adobe patrón es menor en contraste con el adobe con 1% y 7% de fibras PET. Asimismo, se puede apreciar visualmente que el adobe con 7% y 3% de fibras PET presenta una resistencia a la compresión mayor que la del adobe patrón. Se sabe que el promedio de los resultados de las 4 mejores muestras del adobe patrón es 15.45 kg/cm², el de 1%, 3% y 7% de fibras PET es 15.00 kg/cm², 16.00 kg/cm² y 18.65 kg/cm² respectivamente.

Por consiguiente, la resistencia a la compresión en unidades aumenta en un 21% y 4% para el adobe con 7% y 3% de fibras PET respectivamente. Sin embargo, solo el adobe con 1% de fibras PET presentó una menor resistencia a la compresión (3% menos) que el adobe patrón.

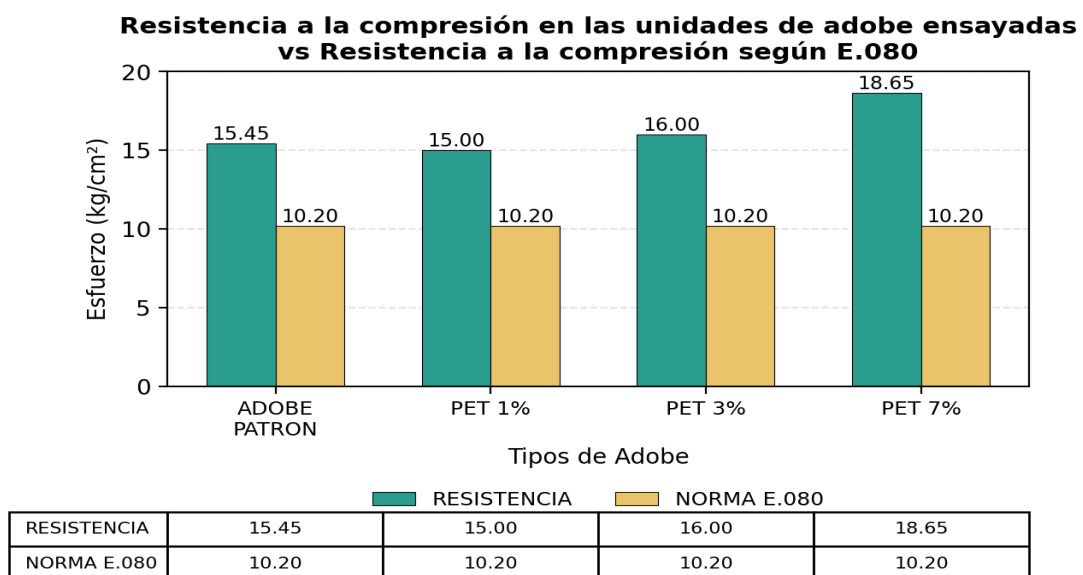
PET respectivamente, mientras que con 1 % de fibras PET presentó un incremento menor (10 % más) con respecto al adobe patrón.

A partir de la tabla 28, se puede apreciar el rango de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión en muretes, donde se observa que la variación de los resultados obtenidos en cada tipo de muestras ensayadas es pequeña. Asimismo, se puede apreciar la variación que existe entre los adobes con fibras PET (1%, 3% y 7%) respecto al adobe patrón, lo cual evidencia un efecto de mejora en la resistencia a la compresión del adobe. Se sabe que el promedio de las 4 mejores muestras del adobe patrón es 7.72 kg/cm², el de 1%, 3% y 7% de fibras PET es 8.50 kg/cm², 12.57 kg/cm² y 12.68 kg/cm² respectivamente. Por consiguiente, a partir del ensayo en muretes se concluye que se mejora la resistencia a la compresión del adobe patrón en un 64%, 63% y 10% empleando adobes con 7%, 3% y 1% de fibras PET respectivamente.

En la figura 68 se puede observar la comparación de la resistencia a la compresión promedio, obtenida en las unidades de adobe con fibras PET y la resistencia a la compresión mínima, según la norma E.080.

Figura 68

Resistencia a la compresión en unidades de adobe ensayadas vs resistencia a la compresión en unidades de adobe de forma cubica (10x10x10 cm³) según norma E.080

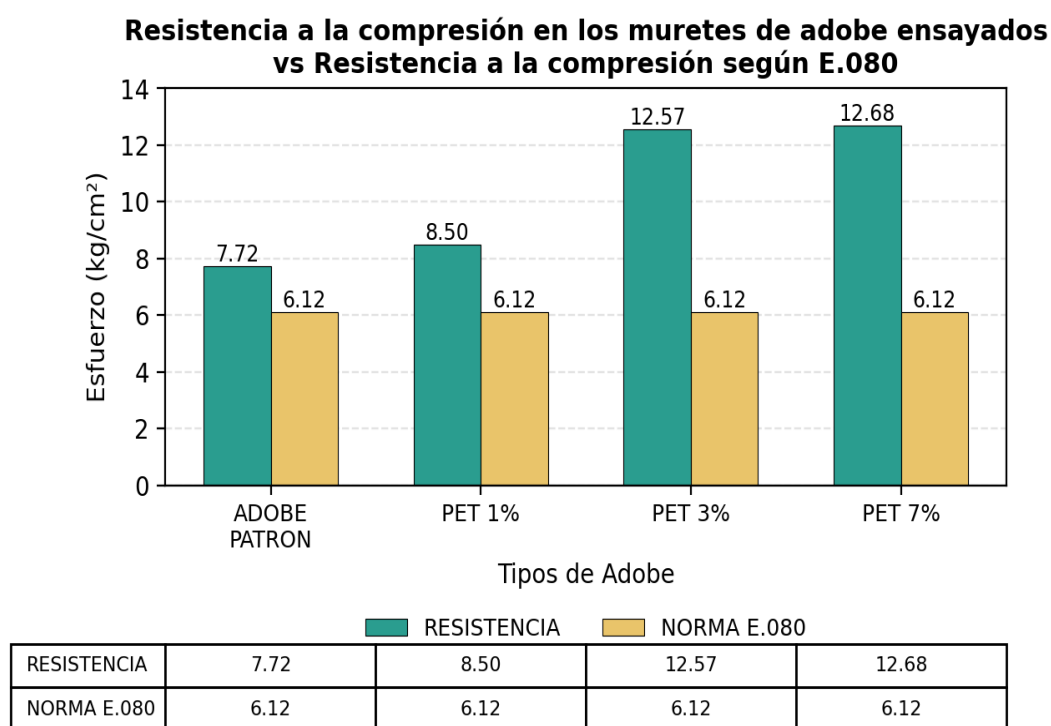


A partir de la tabla 22, se puede observar que la resistencia a la compresión de las unidades de adobe con fibras PET de 7%, 3% y 1% sobrepasa la resistencia mínima indicada en la norma E.080 en 83%, 57% y 47% respectivamente. Asimismo, el adobe patrón (adobe de la zona) también cumple con la norma, ya que su resistencia a la compresión es mayor en 51% respecto a la resistencia mínima indicada en la norma E.080. Estos resultados demuestran que la adición de fibras PET aumenta la resistencia del adobe y que las unidades cumplen exitosamente con lo indicado en la norma E.080.

En la figura 76 se puede observar la comparación de la resistencia a la compresión promedio, obtenida de los muretes de adobe con fibras PET y la resistencia a la compresión mínima, según la norma E.080.

Figura 69

Resistencia a la compresión en muretes de adobe ensayados vs resistencia a la compresión en muretes de adobe según norma E.080



A partir de la tabla 28, se puede observar que la resistencia a la compresión de los muretes de adobe con fibras PET de 7%, 3% y 1% sobrepasa la resistencia mínima indicada en la norma E.080 en 107%, 105% y 39% respectivamente. Asimismo, el adobe patrón (adobe de la zona) también cumple con la norma, ya que su resistencia a la compresión es mayor en 26% respecto a la resistencia mínima indicada en la norma E.080. Por tal motivo, tanto el adobe patrón como los adobes con fibras PET se pueden utilizar para la construcción de las paredes de las viviendas. Sin embargo, el adobe con

fibras PET brinda un beneficio mayor, ya que, frente a eventos externos, tales como sismos leves, por ejemplo, este adobe aportará una resistencia mayor.

En la tabla 49 se observa el porcentaje de reducción de la densidad de las unidades de adobe con fibras PET respecto al adobe patrón. La finalidad de esta tabla es conocer cuánto se reduce la densidad en porcentaje.

Tabla 49

Porcentaje de reducción de la densidad en las unidades de adobe (10x10x10 cm³)

Adobe	Densidad (g/cm³)	Reducción
Patrón	1.53	--
1% PET	1.42	7%
3% PET	1.35	12%
7% PET	1.29	16%

Respecto al adobe patrón, se puede observar que al añadir más PET la densidad del material disminuye. El mejor resultado se obtiene al elaborar un adobe con 7% de fibras PET, ya que reduce la densidad en 16% respecto al adobe de la zona. La ventaja de que el adobe con fibras PET presente menor densidad es que, por un lado, se necesita utilizar menor cantidad de tierra en la elaboración de los adobes, logrando así tener más áreas de tierra para poder sembrar/cosechar. Por otro lado, se utiliza más plástico debido a que el peso de este es pequeño y el volumen que ocupa es mayor, por tal motivo para elaborar adobe con PET se necesita emplear una mayor cantidad de plástico, lo cual es ventajoso ya que fomenta y contribuye al reciclaje de las botellas PET. La validación de esta prueba es mediante la comparación de la densidad entre el adobe reforzado con fibras PET y el adobe patrón, ya que en la norma E.080 no se menciona en ningún capítulo los parámetros mínimos para la densidad del adobe.

En la tabla 50 se observa el porcentaje de reducción de la absorción de agua en las unidades de adobe con fibras PET respecto al adobe patrón. El fin de esta tabla es conocer cuánto se logró reducir el porcentaje de absorción de agua.

Tabla 50

Porcentaje de reducción de la absorción en las unidades de adobe (10x10x10 cm³) con fibras PET

Adobe	% Absorción	Reducción
Patrón	21.1	-
1% PET	20.5	3%
3% PET	19.5	8%
7% PET	18.5	12%

Respecto al adobe patrón, se puede observar que al añadir más PET el porcentaje de absorción disminuye. El mejor resultado se obtiene al elaborar un adobe

con 7% de fibras PET, ya que reduce el porcentaje de absorción en 12% respecto al adobe de la zona. La ventaja de que el adobe con fibras PET absorba menos agua es que, frente a las intensas lluvias que presenta el departamento de Ayacucho (enero: la precipitación llega a 117.1 mm/mes), las viviendas hechas con este material lograrán que las paredes de estas absorban menos agua, lo cual trae como consecuencia que la humedad al interior de la vivienda disminuya. Esto debido a que la humedad reduce la durabilidad del adobe, reduciendo su resistencia mecánica y provoca grietas y fisuras en los muros, haciendo que estos lleguen a deformarse. Por último, reducir el porcentaje de absorción ayuda a resistir la disgregación de los bloques de adobe cuando estos se encuentren totalmente saturados debido a las intensas lluvias.

En la tabla 51 se observa el porcentaje de reducción de la conductividad térmica en las unidades de adobe con fibras PET respecto al adobe patrón. El fin de esta tabla es conocer cuánto se logró reducir la conductividad térmica.

Tabla 51

Porcentaje de reducción de la conductividad térmica en las unidades de adobe

Adobe	Conductividad térmica (W/m.K)	Reducción
Patrón	0.59	-
1% PET	0.47	20%
3% PET	0.45	24%
7% PET	0.38	36%

Respecto al adobe patrón, se puede observar que al añadir más PET la conductividad térmica se reduce. El mejor resultado se obtiene al elaborar un adobe con 7% de fibras PET, ya que reduce la conductividad térmica en 36% respecto al adobe de la zona. Esta reducción de la conductividad es muy ventajosa, ya que a menor conductividad el adobe será un material más aislante. Por consiguiente, se sabe que por naturaleza el adobe es un aislante térmico, sin embargo, gracias a los resultados obtenidos podemos afirmar que se puede mejorar el aislamiento térmico de este. Por lo tanto, durante el invierno las familias se calientan encendiendo pequeñas estufas artesanales, por consiguiente, si las paredes de sus viviendas son construidas de adobe con fibras PET, el calor que se produce al interior de la vivienda no será transmitido tan rápido, puesto que este material no es un buen conductor de calor y es más aislante que el adobe de la zona.

En la tabla 52 se observa el porcentaje de reducción de la fluctuación térmica (ΔM) en las unidades de adobe con fibras PET respecto al adobe patrón. El fin de esta

tabla es conocer cuánto se logró reducir la amplitud térmica transmitida al interior de la unidad, tomando como referencia los resultados presentados en la tabla 48.

Tabla 52

Porcentaje de reducción de la fluctuación térmica (ΔM) en las unidades de adobe con fibras PET

Adobe	Fluctuación Térmica ΔM (°C)	Reducción
Patrón	13.0	-
1% PET	11.1	15%
3% PET	9.7	25%
7% PET	8.2	37%

Respecto al adobe patrón, se puede observar que al añadir más PET la fluctuación térmica (ΔM) disminuye. El mejor resultado se obtiene al elaborar un adobe con 7% de fibras PET, ya que reduce la amplitud térmica transmitida al interior de la unidad en 37% respecto al adobe de la zona. Esta tendencia es coherente con la reducción observada en la conductividad térmica (tabla 43), ya que un material menos conductor amortigua de mejor manera los cambios bruscos de temperatura entre el exterior y el interior de la vivienda. La ventaja de que el adobe con fibras PET presente una menor fluctuación térmica es que, durante el día, las viviendas construidas con este material tardarán más en calentarse con la radiación solar directa y, durante la noche, conservarán mejor el calor acumulado, reduciendo así los cambios bruscos de temperatura al interior de la vivienda y mejorando el confort térmico de sus ocupantes. La validación de esta prueba es mediante la comparación de la fluctuación térmica entre el adobe reforzado con fibras PET y el adobe patrón, ya que en la norma E.080 no se especifica en ningún capítulo los parámetros mínimos para la fluctuación térmica del adobe.

Comparación integrada de resultados del adobe patrón y los adobes reforzados con 1 %, 3 % y 7 % de fibras PET.

En la tabla 53 se observa que, en cuanto a la resistencia a la compresión, la dosificación de 7 % de PET presenta el mayor incremento tanto en unidades (+21 %) como en muretes (+64 %) respecto al adobe patrón, seguida por el 3 % (+4 % y +63 %, respectivamente). El 1 % de PET muestra una ligera reducción en unidades (-3 %), aunque una mejora en muretes (+10 %). Respecto a la densidad, se observa una reducción progresiva y consistente conforme aumenta el porcentaje de PET, alcanzando el 7 % la mayor reducción (-16 %) frente al adobe patrón.

Tabla 53

Resistencia a la compresión de unidades de adobe (10x10x10 cm³) , muretes y densidad

Dosif.	Resist. Compres. unidades (kg/cm ²)	Variación (%)	Resist. Compres. muretes (kg/cm ²)	Variación (%)	Dens. (g/cm ³)	Variación (%)
Adobe patrón	15.45	-	7.72	-	1.53	-
1 % PET	15.00	-3 %	8.50	+10 %	1.42	-7 %
3 % PET	16.00	+4 %	12.57	+63 %	1.35	-12 %
7 % PET	18.65	+21 %	12.68	+64 %	1.29	-16 %

Nota. La variación (%) se calculó respecto al adobe patrón: incremento para resistencia a la compresión, reducción para densidad.

En la tabla 54 se observa que las tres propiedades muestran una tendencia decreciente conforme aumenta el porcentaje de fibras PET, siendo el 7 % el que logra la mayor reducción en absorción (-12 %), conductividad térmica (-36 %) y fluctuación térmica (-37 %) respecto al adobe patrón.

Tabla 54

Absorción, conductividad térmica y fluctuación térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm³)

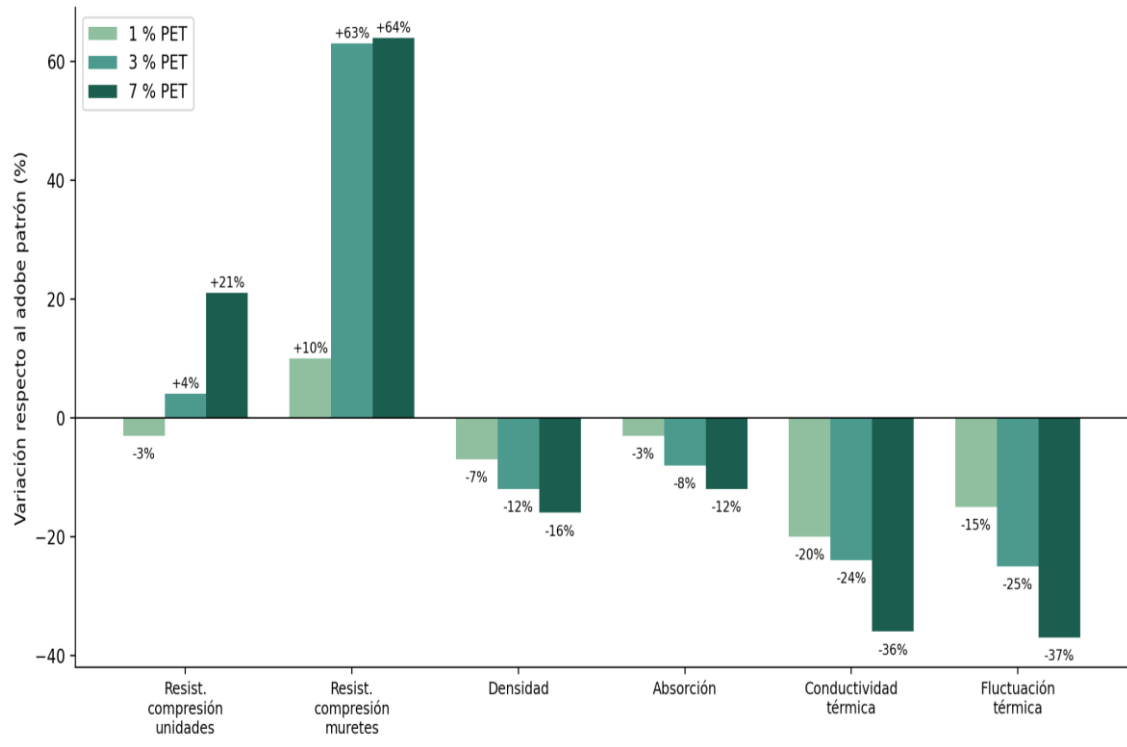
Dosif.	Absorción (%)	Variación (%)	Conduct. térmica (W/m·K)	Variación (%)	Fluctuación térmica ΔM (°C)	Variación (%)
Adobe patrón	21.1	-	0.59	-	13.0	-
1 % PET	20.5	-3 %	0.48	-20 %	11.1	-15 %
3 % PET	19.5	-8 %	0.46	-24 %	9.7	-25 %
7 % PET	18.5	-12 %	0.39	-36 %	8.2	-37 %

Nota. La variación (%) se calcula respecto al adobe patrón; en las tres propiedades de esta tabla, la variación corresponde a una reducción.

La figura 70 confirma visualmente lo que muestran las tablas 53 y 54: a mayor porcentaje de PET, mejor comportamiento en las seis propiedades, sin excepciones. El salto más grande se da en resistencia a la compresión en muretes (+63% con solo 3% de PET, prácticamente igual que con 7%), mientras que en conductividad y fluctuación térmica la mejora es más progresiva y constante en cada nivel. El 7% de PET es, en las seis barras, la dosificación con mayor variación respecto al patrón

Figura 70

Variación porcentual de las propiedades evaluadas respecto al adobe patrón, según dosificación de fibras PET



Para verificar si las diferencias observadas entre el adobe patrón y las dosificaciones de 1 %, 3 % y 7 % de PET eran estadísticamente significativas, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor sobre los datos individuales de cada ensayo del laboratorio INGEOTECN, complementado con la prueba de Tukey para identificar entre qué grupos específicos existían diferencias

En la tabla 55 se observa que cuatro de las seis propiedades evaluadas (densidad, fluctuación térmica, y resistencia a la compresión *en unidades de adobe* ($10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$) y en muretes) presentan diferencias estadísticamente significativas entre dosificaciones ($p < 0.05$). La absorción de agua y la conductividad térmica, en cambio, no muestran diferencias significativas, por lo que sus mejoras deben interpretarse como una tendencia y no como un resultado confirmado.

Tabla 55

Análisis de varianza (ANOVA) para las propiedades evaluadas

Propiedad	F	p-valor	¿Diferencia significativa?
Densidad	95.73	0.00035	Sí

Absorción de agua	1.83	0.283	No
Fluctuación térmica (ΔM)	418.00	<0.0001	Sí
Conductividad térmica	1.77	0.230	No
Resistencia a la compresión - unidades de adobe (10x10x10 cm ³)	6.75	0.0025	Sí
Resistencia a la compresión - muretes	76.58	<0.0001	Sí

Nota. Se considera diferencia significativa entre dosificaciones cuando $p < 0.05$.

En la tabla 56 se observa que la densidad disminuye de forma estadísticamente comprobada en cada nivel de PET respecto al adobe patrón ($p < 0.05$ en todos los pares). La única excepción es la comparación entre 3 % y 7 % ($p = 0.057$): no hay evidencia suficiente de que subir de 3 % a 7 % reduzca aún más la densidad, aunque el promedio sea ligeramente menor. Es la propiedad con la segunda evidencia estadística más sólida del estudio.

Tabla 56

Comparaciones de Tukey e Densidad en unidades de adobe (10x10x10 cm³)

Comparación	p-valor	¿Significativo?
Patrón vs 1% PET	0.0055	Sí
Patrón vs 3% PET	0.0009	Sí
Patrón vs 7% PET	0.0003	Sí
1% vs 3% PET	0.0338	Sí
1% vs 7% PET	0.0037	Sí
3% vs 7% PET	0.0571	No

En la tabla 57 se observa que todas las comparaciones son estadísticamente significativas ($p < 0.05$ en los seis pares). Esto significa que cada nivel de PET (1 %, 3 % y 7 %) reduce la fluctuación térmica de manera distinguible, tanto respecto al adobe patrón como entre sí. Es la propiedad con el respaldo estadístico más fuerte de toda la investigación.

Tabla 57

Comparaciones de Tukey - Fluctuación térmica en unidades de adobe (10x10x10 cm³)

Comparación	p-valor	¿Significativo?
Patrón vs 1% PET	0.0006	Sí
Patrón vs 3% PET	0.0001	Sí
Patrón vs 7% PET	<0.0001	Sí
1% vs 3% PET	0.0020	Sí
1% vs 7% PET	0.0001	Sí
3% vs 7% PET	0.0016	Sí

En la tabla 58 se observa que solo el 7 % de PET se diferencia significativamente del adobe patrón, del 1 % y del 3 % ($p < 0.03$ en los tres casos). El adobe patrón, el 1 % y el 3 % no se distinguen entre sí ($p > 0.8$). Es decir, en unidades, únicamente el 7 % mejora la resistencia a la compresión de forma comprobada.

Tabla 58

Resistencia a la compresión – unidades en unidades de adobe ($10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$)

Comparación	p-valor	¿Significativo?
Patrón vs 1% PET	0.8138	No
Patrón vs 3% PET	0.9946	No
Patrón vs 7% PET	0.0205	Sí
1% vs 3% PET	0.9190	No
1% vs 7% PET	0.0029	Sí
3% vs 7% PET	0.0119	Sí

En la tabla 59 se observa que tanto el 3 % como el 7 % de PET son significativamente superiores al adobe patrón y al 1 % ($p < 0.0001$ en los cuatro casos), pero no se diferencian entre sí ($p = 0.984$). Esto indica que, en muretes, la mejora estadística ya se alcanza desde el 3 % de PET, y subir al 7 % no aporta una mejora adicional demostrable.

Tabla 59

Resistencia a la compresión – muretes

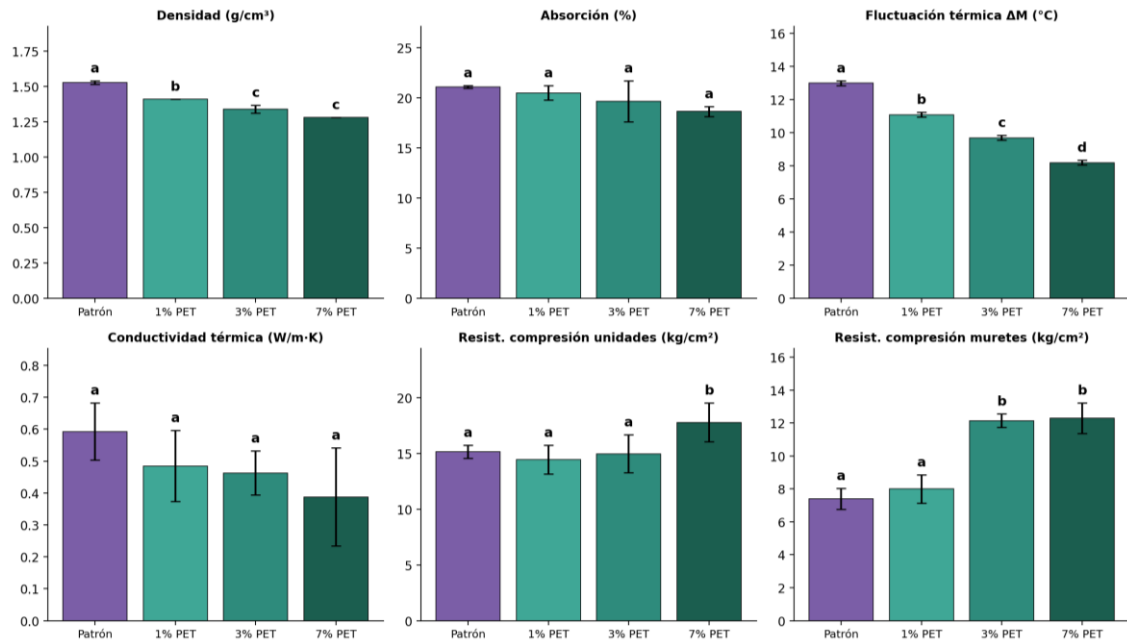
Comparación	p-valor	¿Significativo?
Patrón vs 1% PET	0.5053	No
Patrón vs 3% PET	< 0.0001	Sí
Patrón vs 7% PET	< 0.0001	Sí
1% vs 3% PET	< 0.0001	Sí
1% vs 7% PET	< 0.0001	Sí
3% vs 7% PET	0.9844	No

Absorción de agua y conductividad térmica: estas dos propiedades no cuentan con tabla de Tukey porque su ANOVA no fue significativo (ver tabla 54: $p = 0.283$ y $p = 0.230$, respectivamente). La tendencia a la baja con el PET no puede confirmarse estadísticamente con las réplicas disponibles, por lo que debe presentarse como una tendencia favorable y no como una mejora comprobada.

En la figura 70, las barras de error representan la desviación estándar. Letras distintas sobre las barras indican diferencia estadísticamente significativa entre dosificaciones (Tukey, $p < 0.05$); letras iguales indican que no hay diferencia significativa.

Figura 71

Comparación de las propiedades del adobe patrón y con fibras PET (1 %, 3 % y 7 %), con significancia estadística (Tukey)



Con este análisis, la elección del 7 % como dosificación óptima se sostiene principalmente en que es el único nivel que mejora de forma comprobada la resistencia a la compresión en unidades, y en que mantiene el mejor desempeño en densidad y fluctuación térmica, ambas con la evidencia estadística más fuerte del estudio. La mejora en absorción y conductividad térmica debe presentarse como una tendencia favorable y no como una diferencia demostrada.

3.2. Discusiones

3.2.1 Determinación de las características físicas del suelo y la dosificación de las fibras PET recicladas para la elaboración del adobe tradicional

La incorporación de fibras PET se realizó en proporciones de 1 %, 3 % y 7 % respecto del volumen de suelo, un rango más amplio en sus extremos que el empleado en los antecedentes revisados. Núñez Aldás et al. (2021) trabajaron con 0 %, 5 %, 10 % y 15 % de plástico triturado, mientras que Cáceres y Quispe (2024) y Quispe y Huanca (2022) se concentraron entre 2 % y 6 %. El rango más amplio empleado en esta investigación permitió observar con mayor claridad la tendencia de mejora del adobe conforme aumenta el contenido de PET, coincidiendo con dichos estudios en que la

incorporación de este material reciclado es viable técnicamente sin afectar la trabajabilidad de la mezcla.

En cuanto al suelo empleado, los ensayos de laboratorio determinaron un límite líquido de 41 %, un límite plástico de 21 % y un índice de plasticidad de 22 %, con más del 50 % de la muestra pasante por el tamiz N° 200, lo que permitió clasificarlo como tipo CL (arcilla de baja plasticidad) según el sistema SUCS. Si bien los antecedentes no reportan esta clasificación de forma explícita, sí coinciden en emplear suelos arcillosos de baja a moderada plasticidad, condición favorable para la adherencia de las fibras PET dentro de la matriz. Esa baja plasticidad y adecuada capacidad de cohesión, junto con la presencia suficiente de partículas finas, favorecieron la interacción entre la matriz arcillosa y las fibras PET, permitiendo que estas actuaran como elementos de refuerzo y control de fisuración. Sobre esta base se definió el rango de dosificación evaluado, que permitió observar el efecto del PET desde una cantidad mínima de refuerzo hasta una proporción capaz de modificar de forma notoria las propiedades físicas y mecánicas del adobe.

3.2.2. Evaluación de la resistencia a la compresión, densidad, absorción de agua, conductividad y fluctuación térmica del adobe patrón y de los adobes reforzados con 1%, 3% y 7% de PET.

Los incrementos obtenidos en resistencia a la compresión, de 21 % en unidades y 64 % en muretes con el 7 % de PET, son consistentes con los reportados por Quispe y Huanca (2022), quienes hallaron incrementos de 19 % y 62 % con 6 % de fibras PET en la misma región de Ayacucho, lo que confirma la coherencia de la tendencia en condiciones climáticas y de suelo similares. De igual manera, Cáceres y Quispe (2024) reportaron que el adobe con PET se mantuvo dentro de los parámetros mínimos de la norma E.080, tal como ocurrió en la presente investigación.

La reducción de 16 % en la densidad con el 7 % de PET resulta prácticamente idéntica a la de 16.4 % reportada por Quispe y Huanca (2022) con 6 % de PET, lo que evidencia que el efecto aligerante de las fibras plásticas es un comportamiento reproducible en distintos estudios de la región. La absorción de agua, con una reducción de 12 %, y la conductividad térmica, con una reducción de 36 %, también coinciden con lo reportado por estos antecedentes y por Núñez Aldás et al. (2021). Sin embargo, a diferencia de la resistencia y la densidad, el análisis estadístico no encontró diferencias significativas entre dosificaciones para ninguna de las dos propiedades, con un ANOVA de $p=0.283$ para absorción y $p=0.230$ para conductividad, por lo que la coincidencia con

la literatura debe tomarse como una tendencia y no como un efecto comprobado en el presente estudio.

La fluctuación térmica, con una reducción de 37 %, no cuenta con un antecedente numérico directo de comparación, aunque resulta coherente con la reducción de la conductividad observada, ya que un material menos conductor amortigua mejor los cambios bruscos de temperatura. A diferencia de las dos propiedades anteriores, esta sí fue estadísticamente significativa entre todas las dosificaciones, con un ANOVA de $p < 0.0001$ y Tukey de $p < 0.05$ en los seis pares de comparación, siendo el hallazgo con mayor respaldo estadístico de todo el estudio.

3.2.3. Comparación de los resultados del adobe patrón versus los adobes reforzados al 1%, 3% y 7% determinando el porcentaje óptimo de incorporación de fibras PET

El porcentaje óptimo determinado en la presente investigación fue 7 %, valor superior al 6 % identificado como óptimo por Quispe y Huanca (2022) y por Cáceres y Quispe (2024). Esta diferencia puede explicarse por variaciones en las características granulométricas y plásticas del suelo de Huayrapata frente a las localidades de Rancho y Anta Huancavelica, así como por diferencias en el tamaño, forma y proceso de obtención de las fibras PET de cada estudio. No obstante, la tendencia general, donde un mayor contenido de PET se asocia a mayor resistencia, menor densidad, menor absorción y menor conductividad, se mantiene consistente entre los tres estudios, lo que fortalece la validez de los resultados obtenidos.

Para verificar si estas diferencias eran estadísticamente significativas y no producto del azar, se aplicó un análisis de varianza de un factor sobre los datos individuales de cada ensayo de laboratorio realizado por INGEOTECON en 2026, complementado con la prueba de Tukey. Este análisis mostró que el 7 % es el único nivel que mejora de forma comprobada la resistencia a la compresión en unidades, con un valor de $p = 0.021$ frente al adobe patrón, y que mantiene además el mejor desempeño en densidad y fluctuación térmica, ambas significativas en todos los niveles de dosificación con $p < 0.05$. Las reducciones en absorción y conductividad térmica, aunque consistentes con los antecedentes citados, no alcanzaron significancia estadística con las réplicas disponibles.

Esto resulta coherente con los mecanismos físicos involucrados. Las fibras PET actúan como refuerzo discontinuo que puentea las microfisuras generadas durante el secado, elevando la resistencia. Al ser menos densas que las partículas del suelo,

reducen la densidad de la mezcla. Su carácter hidrofóbico limita la absorción de agua, y al conducir peor el calor que la matriz mineral, disminuyen tanto la conductividad como la fluctuación térmica.

Cabe reconocer, sin embargo, que el número reducido de réplicas por dosificación, de 2 para densidad, absorción y fluctuación térmica, 3 para conductividad y 6 para compresión, limita la robustez estadística de estas comparaciones, en particular para absorción y conductividad. Además, la fluctuación térmica, si bien obtenida mediante el ensayo real de choque térmico, se realizó en condiciones controladas de laboratorio que podrían diferir de las condiciones reales de campo en Huayrapata. Aun así, la elección del 7 % como dosificación óptima se sostiene tanto en su mejor comportamiento integral entre todas las propiedades evaluadas como en el respaldo estadístico de esa mejora en resistencia, densidad y fluctuación térmica.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

1.- Se determinaron las características físicas del suelo empleado en Huayrapata, Ayacucho, obteniéndose un límite líquido de 41 %, un límite plástico de 21 % y un índice de plasticidad de 22 %, lo que permitió clasificarlo como un suelo tipo CL (arcilla de baja plasticidad) según el sistema SUCS; en función de ello, se estableció la dosificación de fibras PET recicladas en 1 %, 3 % y 7 % respecto del volumen de suelo para la elaboración del adobe tradicional.

2.- Se evaluó la resistencia a la compresión, densidad, absorción de agua, conductividad térmica y fluctuación térmica del adobe patrón y de los adobes reforzados con 1 %, 3 % y 7 % de PET. El adobe con 7 % de PET presentó un incremento de 21 % en unidades y 64 % en muretes en resistencia a la compresión, además de reducciones de 16 % en densidad, 12 % en absorción de agua, 36 % en conductividad térmica y 37 % en fluctuación térmica respecto al adobe patrón. El análisis estadístico (ANOVA y prueba de Tukey) confirmó que estas diferencias son significativas para la densidad y la fluctuación térmica en todos los niveles de dosificación, y para la resistencia a la compresión en unidades únicamente en el nivel de 7 % de PET; las reducciones en absorción de agua y conductividad térmica, aunque consistentes en los promedios, no alcanzaron significancia estadística con las réplicas disponibles.

3.- Al comparar los resultados del adobe patrón frente a los adobes reforzados con 1 %, 3 % y 7 % de PET, se determinó que el 7 % constituye el porcentaje óptimo de incorporación de fibras PET recicladas, al presentar el mejor comportamiento integral entre todas las propiedades evaluadas y ser el único nivel con mejora estadísticamente comprobada en resistencia a la compresión, densidad y fluctuación térmica, cumpliendo satisfactoriamente con lo establecido en la norma E.080 para fines estructurales.

4.- Se determinó que la incorporación de fibras PET recicladas mejora el comportamiento físico-mecánico y térmico del adobe tradicional elaborado con suelo tipo CL de Huayrapata, Ayacucho, siendo el 7 % la dosificación óptima al incrementar la resistencia a la compresión en 21 % en unidades y 64 % en muretes, y reducir la densidad en 16 %, la absorción de agua en 12 %, la conductividad térmica en 36 % y la fluctuación térmica en 37 % respecto al adobe patrón. Esta mejora cuenta con respaldo estadístico en resistencia a la compresión, densidad y fluctuación térmica, mientras que en absorción y conductividad térmica se observa como una tendencia favorable pendiente de confirmación con un mayor número de réplicas, confirmándose en conjunto como una alternativa técnica y sostenible para la construcción con tierra, conforme a lo establecido en la norma E.080.

5.- La incorporación de fibras de PET reciclado en la elaboración de adobe genera un aporte positivo al medio ambiente, al reutilizar residuos plásticos no biodegradables que de otro modo contaminarían el entorno de Huayrapata, contribuyendo a la reducción de residuos sólidos, a la promoción de la economía circular y a la construcción de viviendas rurales más sostenibles, sin comprometer las propiedades físico-mecánicas ni térmicas del adobe tradicional.

4.2. Recomendaciones

1.- Realizar investigaciones futuras que evalúen porcentajes de incorporación de fibras PET superiores al 7 %, con la finalidad de identificar un posible límite máximo a partir del cual las propiedades del adobe dejen de mejorar o se vean afectadas negativamente.

2.- Complementar los ensayos de laboratorio con pruebas de exposición a la intemperie a mediano y largo plazo (ciclos de humedecimiento-secado y variaciones térmicas reales), a fin de validar el comportamiento del adobe con fibras PET en condiciones de campo en Huayrapata.

3.- Estandarizar el proceso de obtención y tamaño de las fibras PET recicladas (triturado, corte y limpieza), de modo que futuras investigaciones puedan comparar resultados bajo criterios homogéneos.

4.- Evaluar el comportamiento sísmico o ante cargas dinámicas de los adobes reforzados con fibras PET, dado que la norma E.080 y los antecedentes revisados se centran principalmente en cargas estáticas de compresión.

- 5.- Realizar un análisis de costo-beneficio y de ciclo de vida de la incorporación de fibras PET en el adobe, considerando el ahorro en materia prima, el aporte ambiental por reciclaje de plástico y la inversión adicional en mano de obra.
- 6.- Replicar el estudio en otras localidades rurales de Ayacucho y regiones con características de suelo distintas, para verificar si el porcentaje óptimo de 7 % se mantiene o varía según las condiciones locales.
- 7.- Aumentar el número de réplicas por dosificación en futuras investigaciones, en particular para los ensayos de absorción de agua y conductividad térmica, donde el reducido tamaño de muestra del presente estudio no permitió confirmar estadísticamente las tendencias observadas en los promedios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arce, R., y Rodríguez, V. (2021). Evaluación de la resistencia del adobe reforzado con geomalla en Yanama. [Informe técnico]. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Bolaños, Z. J. (2019). Reciclado de plástico PET [Tesis de pregrado, Universidad Católica San Pablo]. Repositorio UCSP.
http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/16146/1/BOLAÑOS_ZEA_JUA_PET.pdf
- Brito, J., Santa María, N., Macas, C., y Tasán, D. (2021). Elaboración de adobe sostenible. *Diseño, Arte y Arquitectura*, 5(11), 45–58.
https://revistas.uazuay.edu.ec/flip/daya/11/daya_11_04.pdf
- Chonlon, A., y Mejía, N. (2023). Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del adobe agregando viruta de madera y tusa de maíz [Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio USS.
<https://hdl.handle.net/20.500.12802/11432>
- García, D., y Astochado, K. (2024). Resistencia a la compresión del adobe artesanal con la incorporación de fibra de coco, Jaén – Cajamarca, 2022 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio UNJ.
https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/671/1/T_Torres%20Garc%C3%ADa%20y%20Astochado%20Perez.pdf
- González, J. (2019). Construcción con botellas de plástico: Análisis y mejora de elementos y sistemas constructivos estructurales [Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio UPM.
https://oa.upm.es/54207/1/TFG_Gonzalez_Sanchez_Jonatan.pdf
- Guerrero, L. (2014). Potencial ecológico de la edificación con adobe. *Revista Gremium*, 1(1), 23–34.
- Hernández, R., y Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill.
- Herrera, L., y León, F. (2021). Adaptación de materiales reciclados en climas extremos: Una aplicación en la construcción de adobe. *Revista Internacional de Arquitectura y Materiales Sostenibles*, 10(3), 112–128.
- Huillca, C., y Arphi, W. (2024). Influencia de las tiras de PET en las propiedades físicas y mecánicas del adobe tradicional en la comunidad de Huaccoto, distrito de San Jerónimo, Cusco, 2023 [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio UPLA.
- López, J., y Bernilla, P. (2012). Evaluación funcional y constructiva de viviendas con adobe estabilizado en Cayaltí – Programa COBE-1976 [Tesis de pregrado,

Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio UNI.
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/1130>

- Martins, C., Borges, O., Rotondaro, R., Cevallos, P., y Hoffmann, M. (2010). Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra: Prácticas de campo. PROTERRA. https://redproterra.org/wp-content/uploads/2020/05/2a_PP-Selecci%C3%B3n-de-suelos_2009.pdf
- Martínez, G., Bosco, J., López, T., y Menchaca, C. (2015). Materiales reciclados y sustentables para la construcción. OmniaScience.
- Martínez, P., y López, C. (2019). La incorporación de PET reciclado en la construcción rural de ladrillos y adobe. *Boletín de Innovación Rural*, 7(1), 45–57.
- Mateos de Vicente, M. (2014). Estabilización de tierras para pavimentos, cimientos, laderas, zanjas y casas de adobe. Bellisco.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). Norma Técnica E.080: Diseño y construcción con tierra reforzada. SENCICO.
<https://drive.google.com/file/d/1EgYXMNijXNQOjbSMotmDzXeupEgfnScb/view>
- Morales, V., y Salazar, D. (2020). Impacto ambiental y sostenibilidad en el uso de materiales reciclados en la construcción de adobe. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 14(20), 78–95.
- Moscoso, M. (2016). El adobe, sus características y el confort térmico. Universidad de Cuenca. <https://www.eumed.net/libros-gratis/actas/2016/filosofia/El-adobe-Moscoso.pdf>
- Noah, M., y Ordóñez, D. (2024). Adición de fibras PET en el adobe para aumentar la capacidad resistente a la compresión, reducir la densidad, el porcentaje de absorción de agua y la conductividad térmica en las viviendas de la zona rural de Ayacucho-Perú [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio UPeU. <http://hdl.handle.net/10757/659101>
- Núñez Aldás, G. W., López Arboleda, A. G., Chérrez Gavilanes, D. S., y Guevara Robalino, J. J. (2021). Adición de botellas plásticas PET 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, provincia de Tungurahua. *Ciencia Digital*, 5(1), 197–228.
<https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v5i1.1536>
- Paraguay Curo, J. L., y Escobar Quispe, M. Á. (2024). Comparación de las propiedades del adobe elaborado con fibras PET frente a otro con paja para viviendas rurales en Anta – Huancavelica [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio UNH.
<https://repositorio.unh.edu.pe/items/9b234611-fcfe-4a58-83cb-5f54ea9dd70a>
- Prieto, B. (2008). Construir con adobe. Trillas.
- Quintana, D., y Vera, O. (2017). Evaluación de la erosión y la resistencia a compresión de adobes con sustitución parcial y total del agua en peso por mucílago de tuna

- en porcentajes del 0%, 25%, 50%, 75% y 100% [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio UNSAAC. <https://hdl.handle.net/20.500.12557/1212>
- Ramírez, J., y Contreras, S. (2021). Reducción de residuos plásticos a través de la construcción sostenible: Una revisión de técnicas y materiales. *Ciencias Ambientales y Sostenibilidad*, 19(5), 210–228.
- Robalino Sánchez, E. F. (2019). La adición de botellas plásticas PET 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, provincia de Tungurahua [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/e3cea0e6-0707-4201-8078-680f94fcb539>
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción [SENCICO]. (2020). Norma E.080 – Diseño y construcción con tierra reforzada. <https://drive.google.com/file/d/1EgYXMNijXNQOjbSMotmDzXeupEgfnScb/view>
- Suasnavas, D. (2017). Degradación de materiales plásticos 'PET' (polietileno tereftalato) como alternativa para su gestión [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio PUCE. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13224/>
- Sánchez, C., Peña, J., y Rico, L. (2018). Identificación de los usos actuales del tereftalato de polietileno (PET) reciclado. Universidad Cooperativa de Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/1f478396-d08a-4408-b078-6849b76b67d7/content>
- Vega, S. (2020). Evaluando el confort térmico con adobe y bloques [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio UNAM. <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000810761/3/0810761.pdf>

Anexos

Anexos A

PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 1

Fotografía 1: Recolección de muestra de tierra para laboratorio



Fotografía 2: Recolección de PET reciclado



Fotografía 3: Realizando tiras PET



Fotografía 4: Saco de tierra para su respectivo ensayo de mecánica de suelos



Fotografía 4: Separación de materiales para su ensayo respectivo



Fotografía 5: Separación de materiales utilizando la malla N°4



Fotografía 6: Porción de muestra sobrante del ensayo limite liquido



Fotografía 7: Colocación de la mezcla en los moldes de cubos y ladrillos



Fotografía 7: Fibras PET de 5x5mm y Ichu con una longitud de 5cm



Fotografía 8: Unidades de adobe conformado por 4 hileras de muretes



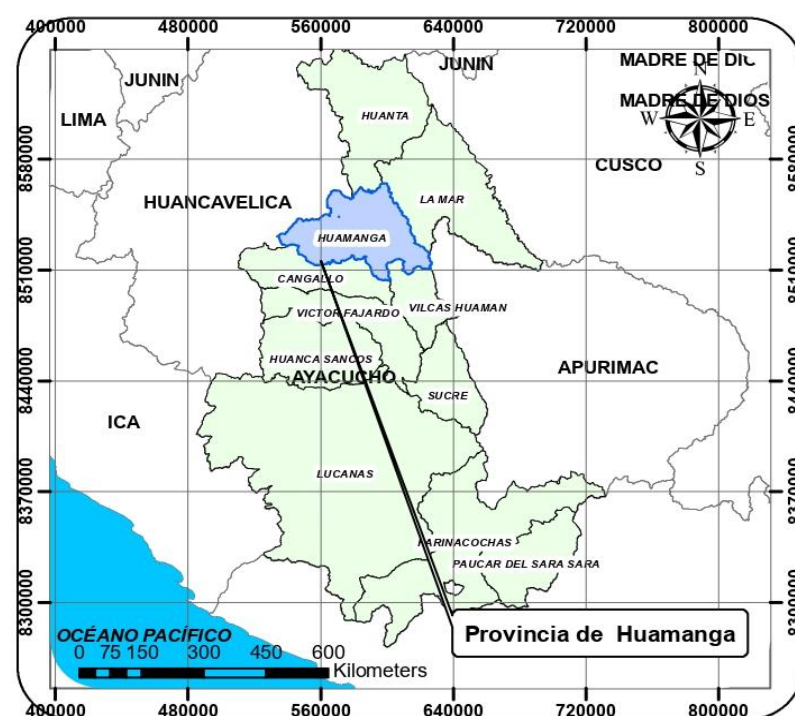
Anexos B

PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN

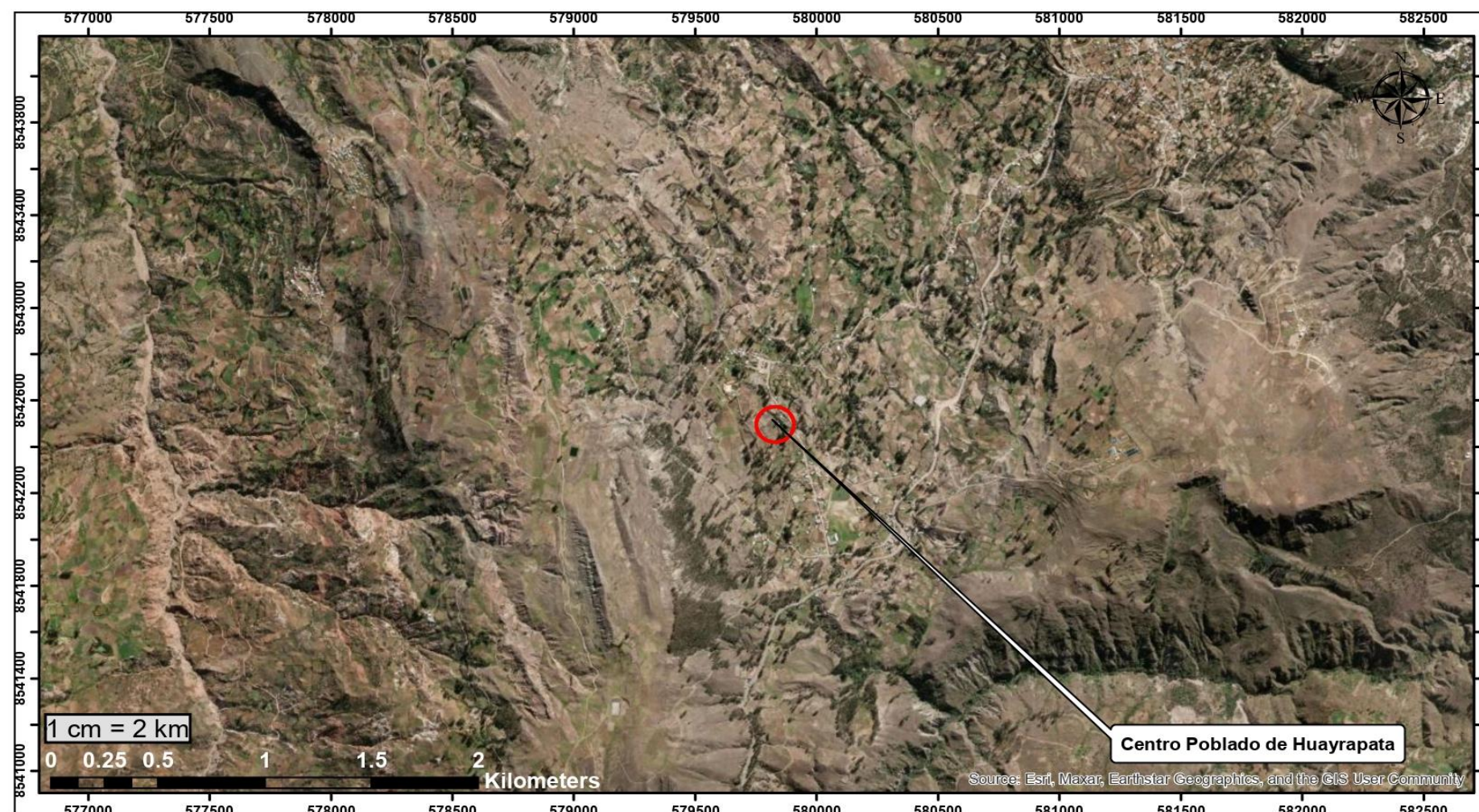
MAPA DEPARTAMENTAL



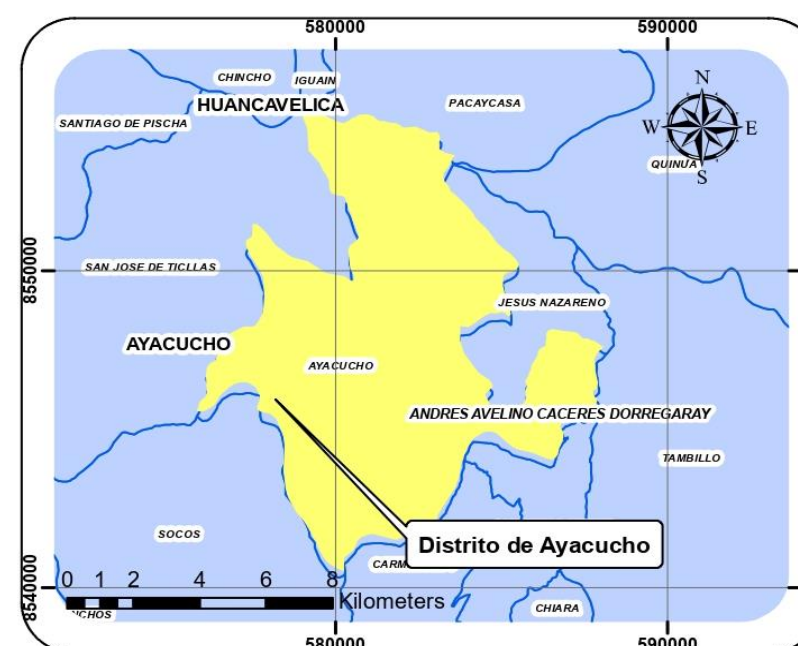
MAPA PROVINCIAL



MAPA DEL PROYECTO



MAPA DISTRITAL



LEYENDA	
	DISTRITOS
	DISTRITO A.A.C.D
	OCEANO
	PROVINCIAS
	DEPARTAMENTOS

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA 	
PLANO	UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN
PROYECTO	Elaboración de adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la humedad y fluctuaciones térmicas en Huayrapata, Ayacucho 2024
ESTUDIANTE	RAMIREZ ESPINOZA, Yeven Julio
UBICACIÓN	SISTEMA DE COORDENADAS : UTM : 18 SUR : UTM 84 : 1:250,000
DEPARTAMENTO :	
PROVINCIA :	
DISTRITO :	
AYACUCHO	
LAMINA P-01	

Anexos C

EVALUACIÓN

ECONÓMICA DE LA

ELABORACIÓN DE

ADOBE CON ICHU Y

CON FIBRAS DE PET

RECICLADO

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA ELABORACIÓN DE ADOBE CON ICHU Y CON FIBRAS DE PET RECICLADO

se presenta a continuación una evaluación económica que compara el costo de elaboración del adobe patrón (reforzado con ichu al 0.25%) frente al adobe reforzado con fibras de PET reciclado en sus tres dosificaciones (1%, 3% y 7%). Los pesos de insumo por espécimen se obtuvieron de las tablas 6 y 7 del presente estudio (base de 1905.3 g de suelo seco por cubo). Los precios unitarios son valores referenciales de mercado para la región de Ayacucho y el ámbito nacional a la fecha de elaboración de este anexo; se recomienda actualizarlos con cotizaciones locales antes de emplearlos en un presupuesto definitivo.

Cuadro D1

Precios unitarios referenciales de los insumos

Insumo	Precio referencial	Fuente / sustento
Suelo (tierra)	S/ 0.00 / kg	Extraído de cantera comunal de Huayrapata cercana, sin costo de adquisición (práctica tradicional de la zona)
Agua	S/ 0.00 – S/ 5.50 / m³	Fuente comunal de Huayrapata; se asume costo marginal despreciable por la pequeña cantidad usada por unidad
Ichu (paja)	S/ 0.00 / kg	Recolectado de pastizales comunales (puna) sin costo de compra; solo insume mano de obra de recolección
PET reciclado (fibra)	S/ 1.00 / kg (rango referencial S/ 0.70 - S/ 1.50/kg)	Precio informal de compra a recicladores en el mercado peruano de plástico PET (Polisantafe, 2024); no incluye el ahorro por no comprar material virgen
Jornal (mano de obra, peón)	S/ 61.65 / jornal (8 h)	FTCCP - Tabla salarial de construcción civil vigente jun.–dic. 2025 (R.M. N° 139-2024-TR)

Cuadro D2

Cantidad de material de refuerzo y costo por espécimen (cubo de 1905.3 g de suelo seco)

Dosificación	Material de refuerzo	Cantidad (g)	% respecto al suelo	Costo del refuerzo (\$/)
Patrón	Ichu	4.76	0.25%	0.00
1% PET	PET reciclado	19.10	1%	0.02
3% PET	PET reciclado	57.20	3%	0.06
7% PET	PET reciclado	133.40	7%	0.13

Dado que el suelo, el agua y el ichu se obtienen sin costo de adquisición en Huayrapata, el costo directo de materia prima del adobe patrón y del adobe reforzado con PET resulta muy bajo y similar entre sí en términos monetarios (menos de S/ 0.15 por espécimen en el caso más alto, 7% de PET). La diferencia económica relevante entre ambas alternativas no radica, entonces, en el costo de adquisición del material de refuerzo, sino en:

a) La mano de obra de preparación: el ichu requiere ser cosechado, secado y cortado, mientras que el PET reciclado requiere ser recolectado, lavado y cortado en tiras (como se describe en el Anexo A). Ambas labores pueden estimarse en fracciones de jornal (S/ 61.65/jornal); no se cuenta con datos de tiempo de preparación medidos en campo durante el presente estudio, por lo que se recomienda cuantificar esta variable en investigaciones futuras.

b) El beneficio ambiental y social: el uso de fibras de PET reciclado retira residuo plástico no biodegradable del entorno de Huayrapata, un beneficio que no tiene un precio de mercado directo, pero que es coherente con los objetivos de economía circular planteados en la investigación.

c) El desempeño técnico obtenido: según los resultados del capítulo III, el adobe con 7% de fibras PET fue el que presentó el mejor comportamiento integral (mayor resistencia a la compresión, menor absorción y menor fluctuación térmica). En consecuencia, a un costo directo de materia prima prácticamente equivalente al del adobe tradicional con ichu, la incorporación de fibras PET representa una alternativa técnicamente superior.

Cuadro D3

Costo referencial de mano de obra por lote de producción (24 unidades)

Actividad	Rendimiento referencial	Costo estimado (S/)
Extracción y preparación de tierra	1 peón / 1 jornal por lote de 24 unidades	61.65
Recolección y preparación de ichu (patrón)	1 peón / 0.5 jornal por lote	30.83
Recolección, lavado y corte de PET (reforzado)	1 peón / 0.5 – 1 jornal por lote, según dosificación	30.83 - 61.65
Moldeado, desmoldado y secado	1 peón / 1 jornal por lote de 24 unidades	61.65

Nota: Los rendimientos de mano de obra son valores a partir de prácticas usuales de autoconstrucción rural, y la preparación durante la fase experimental. Los precios de jornal corresponden a la tabla salarial oficial FTCCP vigente para el periodo Junio -diciembre 2025.

En conclusión, la evaluación económica referencial indica que el costo directo de materia prima de los adobes reforzados con fibras PET es marginal y compatible con el del adobe patrón reforzado con ichu, mientras que la posible diferencia en mano de obra de preparación no compromete la viabilidad de la alternativa, dado el beneficio adicional en resistencia mecánica, durabilidad y reducción de residuos plásticos que ofrece el 7% de fibras PET.

Anexos D

RESULTADOS DE

ENSAYOS DE

LABORATORIO



INFORME Nº:	OE20-563-01-EN
Fecha de Emisión:	20/05/2026

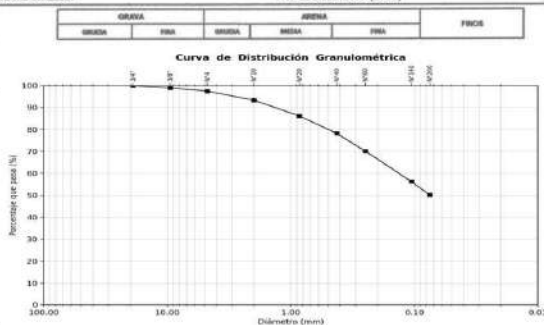
DATOS DEL SOLICITANTE	DATOS DE LA MUESTRA	DATOS DEL MUESTREO
Cliente: Yessen Julio Ramirez Espinoza	Tipo: MAS	Identificación: Muestra 5
Solicitante: Sr. Yessen Julio Ramirez Espinoza	Material: Suelo	Profundidad: -
Proyecto: Elaboración de adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en HUAYRAPATA AYACUCHO 2024	Procedencia: Terreno Natural	Progresiva: -
Ubicación: Ayacucho	Fecha de recepción: 17/05/2026	Coordenadas: -
	Presentación: Saco	Elevación: -
	Muestra recibida: 38.75kg	Ubicación de Muestreo: Campo
		Muestreado por: El Cliente
		Fecha de Muestreo: 14/05/2026

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Fecha de Ensayo:	17/05/2026	Norma utilizada:	NTP 339.128:1999 (2019)
------------------	------------	------------------	-------------------------

RESULTADO DEL ENSAYO

Tamiz ASTM E 11	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Paso
3/4"	19.000		100.00
3/8"	9.500	1.05	98.95
Nº4	4.750	1.50	97.45
Nº10	2.000	4.10	93.35
Nº20	0.850	7.20	86.15
Nº40	0.425	7.90	78.25
Nº60	0.250	8.10	70.15
Nº140	0.106	13.90	56.25
Nº200	0.075	6.11	50.14
Fondo		50.14	0.00



Descripción de las partículas: Color Marrón, Subangulares, Duras

LÍMITES DE ATTERBERG

Fecha de Ensayo:	18/05/2026	Norma utilizada:	ASTM D4318-17e1	Método de ensayo:	A
------------------	------------	------------------	-----------------	-------------------	---

Preparación del espécimen: Secado al aire / Tamizado seco en tamiz Nº40 / Agua de mezclado Destilada

Equipo empleado: Equipo Casagrande Manual / Ranurador Plástico / Enrolado manual

LÍMITE LÍQUIDO	40	LÍMITE PLÁSTICO	21	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	20
----------------	----	-----------------	----	-----------------------	----

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

COMPOSICIÓN DEL SUELO EXTRAÍDO		
FRACCIÓN GRUESA		
Grava	Nº4 < a < 3"	49.86%
Arena	Nº200 < a < Nº4	5.11%
	Arena Gruesa Nº10 < a < Nº4	94.89%
	Arena Media Nº40 < a < Nº10	8.67%
	Arena fina Nº200 < a < Nº40	31.92%
FRACCIÓN FINA		
		59.42%
		50.14%

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487-17e1)	CL
CLASIFICACIÓN AASHTO (AASHTO M145-91 (2017))	-
DESCRIPCIÓN DE SUELOS	
Arcilla de baja plasticidad arenosa	

OBSERVACIONES

Se observó restos de raíces en la muestra.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por: INGEOTECON
 Ing. Sergio Martínez Director del Laboratorio Píezua Lida Sucursal del Perú	 INGEOTECON E.I.R.L. MARÍA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL C.I.P. Nº 334134	 Felix Jaramillo Castillo Metólogo-Píezua Lida Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad



INFORME Nº:	OE20-563-01-EN
Fecha de Emisión:	20/05/2026

DATOS DEL SOLICITANTE	DATOS DE LA MUESTRA	DATOS DEL MUESTREO
Cliente: Yesven Julio Ramirez Espinoza	Tipo: MAS	Identificación: Muestra 5
Solicitante: Sr. Yesven Julio Ramirez Espinoza	Material: Suelo	Profundidad: -
Proyecto: Elaboración de adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en HUAYRAPATA AYACUCHO 2024	Procedencia: Terreno Natural	Progresiva: -
Ubicación: Ayacucho	Fecha de recepción: 19/05/2026	Coordenadas: -
	Presentación: Saco	Elevación: -
	Muestra recibida: 38.75kg	Ubicación de Muestreo: Campo
		Muestreado por: El Cliente
		Fecha de Muestreo: 16/05/2026

LÍMITES DE ATTERBERG

Fecha de Ensayo:	19/05/2026	Resp. del ensayo:	J. Escaladillo	Norma utilizada:	ASTM D4318-17e1
------------------	------------	-------------------	----------------	------------------	-----------------

DATOS DE LA MUESTRA RECEPCIONADA

Humedad de muestra recibida (%):	-	Tamaño máximo de partícula de la muestra:	3/4"	Retenido en Tamiz N° 40:	20.23 %
----------------------------------	---	---	------	--------------------------	---------

PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN

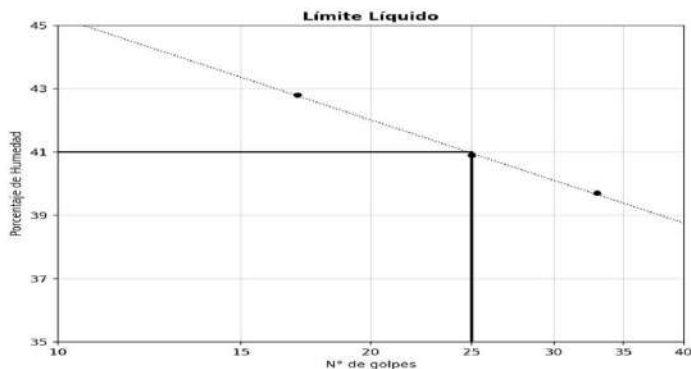
Húmeda	☐	Lavado en tamiz N°40	☐	AGUA DE MEZCLADO	☐
Secado al aire	☒	Tamizado seco en tamiz N°40	☒	Destilada	☒
Secado en horno	☐	Empujado mecánicamente a través del tamiz N°40	☐	Desmineralizada	☐
		Mezclado en cápsula y partículas de arena removidas	☐	Otra	☐

EQUIPO EMPLEADO

Límite plástico	☐	Equipo Casagrande	☐	Ranurador ASTM	☐
Enrolado manual	☒	Manual	☒	Metálico	☐
Aparato para enrolado mecánico	☐	Motorizado	☐	Plástico	☒

DATOS DEL ENSAYO

Ensayo de Límite Líquido	Método A				Método B		Límite Plástico	
Número de golpes	32	25	18	-	-	-	H1 (%)	19.7
Contenido de Humedad (%)	39.8	40.9	42.9	-	-	-	H2 (%)	21.0



RESULTADO DEL ENSAYO

LÍMITE LÍQUIDO, LL	40
LÍMITE PLÁSTICO, LP	21
ÍNDICE PLÁSTICO, IP	22

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por: INGEOTECON
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio Píezuar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECON E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 634144	 Felix Jaramillo Castillo Metólogo-Píezuar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Cuyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
NTP 399.613/ E.080

REFERENCIA	: Datos de laboratorio
SOLICITANTE	: Yezven Julio Ramírez Espinoza
TESIS	: Elaboración de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga – Departamento de Ayacucho.
FECHA DE ENSAYO:	05/07/2026

TIPO: ADOBE

EDAD: 30 días

IDENTIFICACIÓN	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	A (cm ²)	W (kg)	C (kg/cm ²)
PATRÓN-1	9.50	10.00	95.0	1489.8	15.7
PATRÓN-2	9.50	10.00	95.0	1373.0	14.5
PATRÓN-3	9.40	10.00	94.0	1406.0	15.0
Promedio:					15.0

CÁLCULO:

$$C = \frac{W}{A}$$

DONDE:

C = Resistencia a la compresión del espécimen, kg/cm².

W = Máxima carga en kg-f, indicada por la máquina de ensayo.

A = Promedio del área bruta en cm².

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Ing. Sergio Martínez Director del Laboratorio-Piñuar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECON E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 334134	 Felix Jaramillo Castillo Metrólogo-Piñuar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad INGEOTECON



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Cuyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
NTP 399.613/ E.080

REFERENCIA	: Datos de laboratorio
SOLICITANTE	: Yesven Julio Ramírez Espinoza
TESIS	: Elaboración de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga – Departamento de Ayacucho.
FECHA DE ENSAYO:	02/07/2026

TIPO: ADOBE

EDAD: 28 días

IDENTIFICACIÓN	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	A (cm ²)	W (kg)	C (kg/cm ²)
PATRÓN-1	10.00	9.30	93.0	1358.9	14.6
PATRÓN-2	10.00	9.20	92.0	1469.1	16.0
PATRÓN-3	10.00	9.20	9.20	1387.1	15.1
Promedio:					15.2

CÁLCULO:

$$C = \frac{W}{A}$$

DONDE:

C = Resistencia a la compresión del espécimen, kg/cm².

W = Máxima carga en kg-f, indicada por la máquina de ensayo.

A = Promedio del área bruta en cm².

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Pinzar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECON E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 334134	 Felix Jaramillo Castillo Metrologo-Pinzar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad INGEOTECON



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Cuyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
NTP 399.613/ E.080

REFERENCIA	: Datos de laboratorio
SOLICITANTE	: Yesven Julio Ramirez Espinoza
TESIS	: Elaboracion de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga – Departamento de Ayacucho.
FECHA DE ENSAYO:	02/07/2026

IDENTIFICACIÓN	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	A (cm ²)	W (kg)	C (kg/cm ²)
P-1 /1% PET	10.00	9.80	9.80	1605.3	16.4
P-2 /1% PET	9.90	10.00	99.0	1621.6	15.6
P-3 /1% PET	10.00	9.90	99.0	1389.0	14.0
P-4 /1% PET	10.00	10.00	100.0	1322.1	13.2
P-5 /1% PET	10.00	9.80	98.0	1370.4	14.0
P-6 /1% PET	9.90	10.00	99.0	1326.1	13.4
Promedio:					16.7

CÁLCULO:

$$C = \frac{W}{A}$$

DONDE:

C = Resistencia a la compresion del espécimen, kg/cm².

W = Máxima carga en kg-f, indicada por la máquina de ensayo.

A = Promedio del área bruta en cm².

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Piñuar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECON E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 634134	 Felix Jaramillo Castillo Metrólogo-Piñuar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad INGEOTECON



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Cuyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
NTP 399.613/ E.080

REFERENCIA	: Datos de laboratorio
SOLICITANTE	: Yesven Julio Ramirez Espinoza
TESIS	: Elaboracion de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga - Departamento de Ayacucho.
FECHA DE ENSAYO:	02/07/2026

IDENTIFICACIÓN	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	A (cm ²)	W (kg)	C (kg/cm ²)
P-1 / 3% PET	9.90	9.90	98.0	1190.7	12.2
P-2 / 3% PET	9.90	9.90	98.0	1326.6	13.5
P-3 / 3% PET	9.90	10.00	99.0	1608.5	16.2
P-4 / 3% PET	9.90	9.90	98.0	1571.0	16.0
P-5 / 3% PET	10.00	9.90	99.0	1535.2	15.5
P-6 / 3% PET	10.00	9.90	99.0	1608.9	16.3
Promedio:					14.9

CÁLCULO:

$$C = \frac{W}{A}$$

DONDE:

C = Resistencia a la compresion del espécimen, kg/cm².

W = Máxima carga en kg-f, indicada por la máquina de ensayo.

A = Promedio del área bruta en cm².

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Pinzar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECON E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 341,44	 Felix Jaramillo Castillo Metrólogo-Pinzar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad INGEOTECON



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Cuyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
NTP 399.613/ E.080

REFERENCIA	: Datos de laboratorio
SOLICITANTE	: Yesven Julio Ramirez Espinoza
TESIS	: Elaboracion de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga – Departamento de Ayacucho.
FECHA DE ENSAYO:	02/07/2026

IDENTIFICACIÓN	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	A (cm ²)	W (kg)	C (kg/cm ²)
P-1 /7% PET	9.90	9.90	98.0	1880.3	19.2
P-2 /7% PET	9.90	9.90	98.0	1603.9	16.4
P-3 /7% PET	9.90	10.00	99.0	2007.4	20.3
P-4 /7% PET	9.90	9.90	98.0	1725.6	17.6
P-5 /7% PET	10.00	9.90	99.0	1728.9	17.5
P-6 /7% PET	10.00	9.90	99.0	1545.6	15.6
Promedio:					17.7

CÁLCULO:

$$C = \frac{W}{A}$$

DONDE:

C = Resistencia a la compresion del espécimen, kg/cm².

W = Máxima carga en kg-f, indicada por la máquina de ensayo.

A = Promedio del área bruta en cm².

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Pinzar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECON E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 334134	 Felix Jaramillo Castillo Metrólogo-Pinzar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad INGEOTECON



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Cuyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
NTP 399.613/ E.080

REFERENCIA	: Datos de laboratorio
SOLICITANTE	: Yesven Julio Ramirez Espinoza
TESIS	: Elaboracion de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga - Departamento de Ayacucho.
FECHA DE ENSAYO:	05/07/2026

TIPO:	ADOBE
EDAD:	30 días

IDENTIFICACIÓN	h (cm)	l (cm)	e (cm)	ESBELTEZ h/e	A Pa (cm ²)	P (kg)	f _m (kg/cm ²)	Factor de corrección	f _m corregido (kg/cm ²)
PATRÓN - 1	36.5	11.0	11.0	3.32	242	1993.0	8.2	0.92	7.5
PATRÓN - 2	37.0	22.0	11.0	3.36	242	1735.0	7.2	0.92	6.6
PROMEDIO									7.0

CÁLCULO:

$$f^*_{m} = \frac{P}{A} (Kg / cm^2)$$

DONDE:

f_m = Resistencia a la compresión de cada prisma (kg/cm²)

P = Carga aplicada en kg

A = Área del prisma

h = Altura del prisma

l = Longitud de la unidad de albañilería

e = Ancho de la unidad de albañilería

NOTA ILUSTRATIVA: 1/3 = 4/12

1 Pa = 1 N/m²

1 Kg/cm² = 0.098 MPa

TABLA 10
FACTORES DE CORRECCIÓN DE f_m POR ESBELTEZ

Esbeltez	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5,0
Factor	0,73	0,80	0,91	0,95	0,98	1,00

OBSERVACIONES:

- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de J.J GEOTECNIA.
- * Prueba realizada a los 28 días
- * Número de unidades que conforman cada prisma : 03 unidades.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Pintuar Ltda Sucursal del Perú	 INGENIERA CIVIL CIP N° 334134	 Felix Jaramillo Castillo Métrologo-Pintuar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad INGEOTECON



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Cuyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
NTP 399.613/ E.080

REFERENCIA	Datos de laboratorio
SOLICITANTE	Yesven Julio Ramirez Espinoza
TESIS	Elaboración de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024
UBICACIÓN	Provincia de Huamanga - Departamento de Ayacucho.
FECHA DE ENSAYO:	02/07/2026

TIPO:	ADOBE
EDAD:	28 días

IDENTIFICACIÓN	h (mm)	l (mm)	e (mm)	ESBELTEZ h/e	A F _e (mm ²)	P (kg)	f _m (kg/cm ²)	Factor de corrección	f _m corregido (kg/cm ²)
PATRÓN - 1	35.5	20.5	10.0	3.55	205	1836.7	8.8	9.0	8.4
PATRÓN - 2	35.8	20.5	10.5	3.41	215	1688.7	8.3	7.9	7.3
PATRÓN - 3	35.8	21.0	11.0	3.25	231	1912.2	8.2	8.3	7.7
PATRÓN - 4	35.5	22.0	11.0	3.23	242	1827.1	7.7	7.5	6.9
PROMEDIO									7.5

CÁLCULO:

$$f^*m = \frac{P}{A} (Kg / cm^2)$$

f_m = Resistencia a la compresión de cada prisma (kg/cm²)

P = Carga aplicada en kg

A = Área del prisma

h = Altura del prisma

l = Longitud de la unidad de albañilería

e = Ancho de la unidad de albañilería

NOTA ILUSTRATIVA: 1/3 = 4/12

1 Pa = 1 N/m²

1 Kg/cm² = 98.066 kPa

TABLA 10
FACTORES DE CORRECCIÓN DE f_m POR ESBELTEZ

Esbeltez	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5,0
Factor	0,73	0,80	0,91	0,95	0,98	1,00

OBSERVACIONES:

- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de INGEOTECNIA.
- * Prueba realizada a los 28 días.
- * Número de unidades que conforman cada prisma : 03 unidades.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por: INGEOTECNIA
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Pinzar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECNIA E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP Nº 634134	 Felix Jaramillo Castillo Métrologo-Pinzar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad INGEOTECNIA



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Cuyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PRISMAS DE ALBAÑILERÍA	Código	FOR-LTC-AL-054
		Revisión	2
		Aprobado	CC-JJ
		Fecha	02/07/2026

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
NTP 399.613/ E.080

REFERENCIA	: DATOS DE LABORATORIO
SOLICITANTE	: Yesven Julio Ramírez Espinoza
TESIS	: Elaboración de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga – Departamento de Ayacucho
Fecha de ensayo: 02/07/2026	

ADOBE

FECHA DE ELABORACIÓN DEL ADOBE: 05-05-2025

IDENTIFICACIÓN	h (cm)	e (cm)	RELACIÓN h/e	A _b (cm ²)	P (kg)	F _m	F _m corregido (kg/cm ²)
PILAS 1% PET	37.0	11.0	3.36	242	1716.8	7.1	6.5
PILAS 1% PET	37.0	11.0	3.36	242	1986.8	8.2	7.5
PILAS 1% PET	37.0	11.0	3.36	242	2139.3	8.8	8.1
PILAS 1% PET	37.0	11.0	3.36	242	2326.3	9.6	8.8
PILAS 1% PET	37.0	11.0	3.36	242	2245.8	9.3	8.5
PILAS 1% PET	37.0	11.0	3.36	242	2267.9	9.4	8.6
PROMEDIO							8.0

DONDE:

f_m = Resistencia a la compresión de cada prisma (kg/cm²)

NOTA ILUSTRATIVA: 1 B = 4

1 Pa = 1 N/m²

1 Kg/cm² = 98.066 kPa

TABLA 10 FACTORES DE CORRECCIÓN DE f _m POR ESBELTEZ						
Esbeltez	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5,0
Factor	0,73	0,80	0,91	0,95	0,98	1,00

Fuente: Norma E.070

OBSERVACIONES:

* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de INGEOTECON.

* Número de unidades que conforman cada prisma : 04 unidades.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Ing. Sergio Martínez Director del Laboratorio-Pinzar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECON E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 334134	 Felix Jaramillo Castillo Metrologo-Pinzar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad INGEOTECON



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Cuyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PRISMAS DE ALBAÑILERÍA	Código	FOR-LTC-AL-054
		Revisión	2
		Aprobado	CC-JJ
		Fecha	02/07/2026

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
NTP 399.613/ E.080

REFERENCIA	: DATOS DE LABORATORIO
SOLICITANTE	: Yesven Julio Ramirez Espinoza
TESIS	: Elaboración de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga - Departamento de Ayacucho
Fecha de ensayo: 02/07/2026	

ADOBE

FECHA DE ELABORACIÓN DEL ADOBE: 05-06-2025

IDENTIFICACIÓN	h (cm)	s (cm)	RELACIÓN h/s	A _b (cm ²)	P (kg)	F _m	F _m corregido (kg/cm ²)
PILAS 3% PET	37.0	11.0	3.36	242	3333.5	13.8	12.8
PILAS 3% PET	37.0	11.0	3.36	242	3333.8	13.8	12.2
PILAS 3% PET	37.0	11.0	3.36	242	2993.5	12.4	11.9
PILAS 3% PET	37.0	11.0	3.36	242	3022.2	12.5	11.9
PILAS 3% PET	37.0	11.0	3.36	242	3301.7	13.6	12.4
PILAS 3% PET	37.0	11.0	3.36	242	3255.0	13.5	11.7
PROMEDIO							12.2

DONDE:

f_m = Resistencia a la compresión de cada prisma (kg/cm²)

NOTA ILUSTRATIVA: 1 B = 1/2

1 Pa = 1 N/m²

1 Kg/cm² = 98.066 kPa

TABLA 10 FACTORES DE CORRECCIÓN DE f_m POR ESBELTEZ						
Esbeltez	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5,0
Factor	0,73	0,80	0,91	0,95	0,98	1,00

Fuente: Norma E.070

OBSERVACIONES:

- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de INGEOTECNIA.
- * Número de unidades que conforman cada prisma : 04 unidades.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Pinzuar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECNIA E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 334134	 Felix Jaramillo Castillo Metrólogo-Pinzuar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad INGEOTECNIA



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Coyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PRISMAS DE ALBAÑILERÍA	Código	FOR-LTC-AL-054
		Revisión	2
		Aprobado	CC-JJ
		Fecha	02/07/2026

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
NTP 399.613/ E.080

REFERENCIA	: DATOS DE LABORATORIO
SOLICITANTE	: Yesven Julio Ramirez Espinoza
TESIS	: Elaboracion de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga - Departamento de Ayacucho
Fecha de ensayo: 02/07/2026	

ADOBE

IDENTIFICACIÓN	h (cm)	a (cm)	RELACIÓN h/a	A ₀ (cm ²)	P (kg)	f _m	f _m corregido (kg/cm ²)
PILAS 7% PET	37.0	11.0	3.36	242	3051.0	12.6	11.6
PILAS 7% PET	37.0	11.0	3.36	242	3027.0	12.5	11.5
PILAS 7% PET	37.0	11.0	3.36	242	3504.5	14.5	13.3
PILAS 7% PET	37.0	11.0	3.36	242	3078.8	12.7	11.7
PILAS 7% PET	37.0	11.0	3.36	242	3568.2	14.7	13.6
PILAS 7% PET	37.0	11.0	3.36	242	3206.0	13.2	12.1
PROMEDIO							12.3

DONDE:

f_m = Resistencia a la compresión de cada prisma (kg/cm²)

NOTA ILUSTRATIVA: 1 lb = 4.448 N

1 Pa = 1 N/m²

1 Kg/cm² = 98.066 kPa

TABLA 10 FACTORES DE CORRECCIÓN DE f _m POR ESBELTEZ						
Esbeltez	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5,0
Factor	0,73	0,80	0,91	0,95	0,98	1,00

Fuente: Norma E.070

OBSERVACIONES:

- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de INGEOTECON.
- * Número de unidades que conforman cada prisma : 04 unidades.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Pinzar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECON E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 334134	 Felix Jaramillo Castillo Metrologo-Pinzar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad INGEOTECON



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Cuyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingeotecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ABSORCIÓN	Código	FOR-LAB-CO-009
		Revisión	3
		Aprobado	CC-JJG
		Fecha	05/07/2026

LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS

NTP 339.613 / NTP 339.604

REFERENCIA	: DATOS DE LABORATORIO		
SOLICITANTE	: Yésven Julio Ramírez Espinoza		
TESIS	: Elaboración de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024		
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga - Departamento de Ayacucho		Fecha de ensayo: 05/07/2026
TIPO	: ADOBE		EDAD : 30 días

ESPECÍMEN	PESO SECO (g)	PESO SATURADO (g) 24 hrs	ABSORCIÓN (%)
PATRÓN-1	1442.9	1746.1	21.0
PATRÓN-2	1548.9	1877.5	21.2
PROMEDIO			21.1

OBSERVACIONES:

- * Muestras identificadas por el solicitante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JJ INGEOTECON.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por: INGEOTECON
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Piñuar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECON E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 334134	 Felix Jaramillo Castillo Metrológico-Piñuar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Coyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ABSORCIÓN	Código	FOR-LAB-CO-009
		Revisión	2
		Aprobado	CC-JJG
		Fecha	02/07/2026

LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS

NTP 339.613 / NTP 339.604

REFERENCIA	: DATOS DE LABORATORIO	
SOLICITANTE	: Yesven Julio Ramirez Espinoza	
TESIS	: Elaboracion de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024	
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga - Departamento de Ayacucho	Fecha de ensayo: 02/07/2026
TIPO	: ADOBE	

ESPÉCIMEN	PESO SECO (g)	PESO SATURADO (g) 24 hrs	ABSORCIÓN (%)
1% PET	1222.33	1467.27	20.0
1% PET	1239.14	1500.5	21.0
PROMEDIO			20.5

OBSERVACIONES:

- * Muestras identificadas por el solicitante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JJ INGEOTECON.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por: INGEOTECON
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Pinzar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECON E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 8341.54	 Felix Jaramillo Castillo Metrólogo-Pinzar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Cuyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ABSORCIÓN	Código	FOR-LAB-CO-009
		Revisión	2
		Aprobado	CC-JJG
		Fecha	02/07/2026

LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS

NTP 339.613 / NTP 339.604

REFERENCIA	: DATOS DE LABORATORIO
SOLICITANTE	: Yesven Julio Ramirez Espinoza
TESIS	: Elaboracion de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga - Departamento de Ayacucho
TIPO	: ADOBE
Fecha de ensayo: 02/07/2026	

ESPÉCIMEN	PESO SECO (g)	PESO SATURADO (g) 24 hrs	ABSORCIÓN (%)
3% PET	1292.73	1527.42	18.2
3% PET	1259.99	1525.5	21.1
PROMEDIO			19.6

OBSERVACIONES:

- * Muestras identificadas por el solicitante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de INGEOTECNIA.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por: INGEOTECNIA
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Piñuar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECNIA E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 334134	 Felix Jaramillo Castillo Médico-Piñuar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Cuyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ABSORCIÓN	Código	FOR-LAB-CO-009
		Revisión	2
		Aprobado	CC-JJG
		Fecha	02/07/2026

LABORATORIO DE CONCRETO Y AGREGADOS

NTP 339.613 / NTP 339.604

REFERENCIA	: DATOS DE LABORATORIO
SOLICITANTE	: Yesven Julio Ramirez Espinoza
TESIS	: Elaboracion de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga - Departamento de Ayacucho
TIPO	: ADOBE
Fecha de ensayo: 02/07/2026	

ESPÉCIMEN	PESO SECO (g)	PESO SATURADO (g) 24 hrs	ABSORCIÓN (%)
7% PET	1189.2	1414.95	19.0
7% PET	1195.24	1413.9	18.3
PROMEDIO			18.6

OBSERVACIONES:

- * Muestras identificadas por el solicitante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de INGEOTECNIA.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por: INGEOTECNIA
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Pintuar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECNIA E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 334134	 Felix Jaramillo Castillo Metrólogo-Pintuar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Coyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO DENSIDAD	Código	FOR-LAB-CO-011
		Revisión	2
		Aprobado	CC-JJG
		Fecha	05/07/2026

LABORATORIO DE CONCRETO Y ALBAÑILERIA

NTP 399.513 / NTP 399.604

REFERENCIA	: DATOS DE LABORATORIO	
SOLICITANTE	: Yesven Julio Ramirez Espinoza	
TESIS	: Elaboracion de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024	
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga - Departamento de Ayacucho	Fecha de ensayo: 05/07/2026
TIPO	: ADOBE	
EDAD	: 30 días	

IDENTIFICACIÓN (DISEÑO)	PESO SECO (g)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD g/cm ³
PATRÓN-1	1443	950	1.519
PATRÓN-2	1459	950	1.536
PROMEDIO			1.527

OBSERVACIONES:

- * Muestras identificadas por el solicitante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de INGEOTECNIA.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por: INGEOTECNIA
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Pintuar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECNIA E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 334134	 Felix Jaramillo Castillo Métrologo-Pintuar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Cuyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO DENSIDAD	Código	FOR-LAB-CO-011
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	02/07/2026

LABORATORIO DE CONCRETO Y ALBAÑILERIA

NTP 399.613 / NTP 399.604

REFERENCIA	: DATOS DE LABORATORIO
SOLICITANTE	: Yesven Julio Ramírez Espinoza
TESIS	: Elaboracion de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga - Departamento de Ayacucho
Fecha de ensayo: 02/07/2026	

IDENTIFICACIÓN (DISEÑO)	PESO SECO (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD g/cm3
1% PET	1390	985	1.411
1% PET	1385	982	1.410
PROMEDIO			1.411

OBSERVACIONES:

- * Muestras identificadas por el solicitante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de INGEOTECON.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por: INGEOTECON
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Piñuar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECON E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 334134	 Felix Jaramillo Castillo Metrología-Piñuar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Cuyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO DENSIDAD	Código	FOR-LAB-CO-011
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	02/07/2026

LABORATORIO DE CONCRETO Y ALBAÑILERIA

NTP 399.613 / NTP 399.604

REFERENCIA	: DATOS DE LABORATORIO
SOLICITANTE	: Yesven Julio Ramirez Espinoza
TESIS	: Elaboracion de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga - Departamento de Ayacucho
Fecha de ensayo: 02/07/2026	

IDENTIFICACIÓN (DISEÑO)	PESO SECO (g)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD g/cm ³
3% PET	1300	988	1.32
3% PET	1345	990	1.36
PROMEDIO			1.34

OBSERVACIONES:

- * Muestras identificadas por el solicitante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de INGEOTECNIA.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por: INGEOTECNIA
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Pintuar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECNIA E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 334134	 Felix Jaramillo Castillo Métrologo-Pintuar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Cuyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO DENSIDAD	Código	FOR-LAB-CO-011
		Revisión	1
		Aprobado	CC-MTL
		Fecha	02/07/2026

LABORATORIO DE CONCRETO Y ALBAÑILERIA

NTP 399.613 / NTP 399.604

REFERENCIA	: DATOS DE LABORATORIO
SOLICITANTE	: Yesven Julio Ramírez Espinoza
TESIS	: Elaboracion de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga – Departamento de Ayacucho
Fecha de ensayo: 02/07/2026	

TIPO : ADOBE

IDENTIFICACIÓN (DISEÑO)	PESO SECO (g)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD g/cm ³
7% PET	1270	995	1.28
7% PET	1275	998	1.28
PROMEDIO			1.28

OBSERVACIONES:

- * Muestras identificadas por el solicitante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de INGEOTECNIA.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por: INGEOTECNIA
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Pinzuar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECNIA E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 834134	 Felix Jaramillo Castillo Metrólogo-Pinzuar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad

		ÁREA DE CALIDAD PRESENTACIÓN DE DATOS MEDIDOR DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA			
PROYECTO	"Efecto en las propiedades mecánicas, térmicas y físicas de la adición de Fibras PET en la composición del adobe empleado en viviendas de la zona rural de la Provincia de Huamanga – Departamento de Ayacucho"			UBICACIÓN	Ayacucho
CLIENTE	Yesven Julio Ramirez Espinoza			FECHA	05/07/2026
RUC / DNI	70102454			CÓDIGO	2026-GT-EYL-PR-001
EQUIPO	MEDIDOR DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA			MODELO	TLS100
MARCA	THERMTEST			NÚMERO DE SERIE	27001-494
MUESTRA		EQUIPO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA			
		S/N: 200666164 Marca: Thermtest, Modelo: TLS100, S/N: 27001-494			
		T° Ambiente (°C)	T° Adobe (°C)	Cond. Térmica (K)	Res. Térmica (R)
PET 7%	Muestreo 1	24.8	25.4	0.5221	1.9153
	Muestreo 2	24.9	25.5	0.5130	1.9491
PET 7%	Muestreo 1	24.9	25.8	0.2918	3.4259
	Muestreo 2	24.9	25.6	0.2822	3.5427
PET 7%	Muestreo 1	24.7	25.3	0.4278	2.3372
	Muestreo 2	24.7	25.4	0.4276	2.3383
PET 7%	Muestreo 1	24.5	25.2	0.5124	1.9515
	Muestreo 2	24.6	25.3	0.5060	1.976
PET 3%	Muestreo 1	24.8	25.6	0.5234	1.9102
	Muestreo 2	24.9	25.5	0.5174	1.9324
PET 3%	Muestreo 1	24.9	25.3	0.4461	2.2414
	Muestreo 2	24.9	25.4	0.4321	2.3142
PET 3%	Muestreo 1	24.9	25.1	0.4096	2.4408
	Muestreo 2	24.8	25.3	0.4097	2.4405
PET 3%	Muestreo 1	24.9	25.6	0.5444	1.8365
	Muestreo 2	24.9	25.7	0.5366	1.8634
PET 1%	Muestreo 1	25	25.5	0.3636	2.7499
	Muestreo 2	24.9	25.7	0.3517	2.8432
PET 1%	Muestreo 1	24.9	25.4	0.5707	1.752
	Muestreo 2	24.9	25.5	0.5631	1.7757
PET 1%	Muestreo 1	25	26	0.529	1.8903
	Muestreo 2	25.1	25.8	0.5290	1.8903
PET 1%	Muestreo 1	25.3	27.1	0.2878	3.474
	Muestreo 2	25.3	27.2	0.2304	3.5655

OBSERVACIONES	
ENTREGA	
Compañía	INGEOTECON
Personal	Director: Sergio Martinez
Firma	 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Finca Lda Sucursal del Perú
Fecha	08/08/2026



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Coyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE FLUCTUACIÓN TÉRMICA	Código	FOR-LAB-CO-011
		Revisión	2
		Aprobado	CC-JJG
		Fecha	06/07/2026

LABORATORIO DE CONCRETO Y ALBAÑILERIA

NTP 399.613 / NTP 399.604

REFERENCIA	: DATOS DE LABORATORIO
SOLICITANTE	: Yesven Julio Ramirez Espinoza
TESIS	: Elaboracion de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga – Departamento de Ayacucho
Fecha de ensayo: 06/07/2026	

TIPO	: ADOBE
EDAD	: 30 días

IDENTIFICACIÓN (DISEÑO)	AMPLITUD EXTERIOR (°C)	AMPLITUD INTERIOR (°C)	ΔM (°C)
PATRÓN-1	17.9	4.8	13.1
PATRÓN-2	17.6	4.7	12.9
PROMEDIO			13.0

OBSERVACIONES:

- * Muestras identificadas por el solicitante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de INGEOTECON.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por: INGEOTECON
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Pinzar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECON E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 334134	 Felix Jaramillo Castillo Métrologo-Pinzar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Coyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE FLUCTUACIÓN TÉRMICA	Código	FOR-LAB-CO-011
		Revisión	2
		Aprobado	CC-JJG
		Fecha	05/07/2026

LABORATORIO DE CONCRETO Y ALBAÑILERIA

NTP 399.513 / NTP 399.604

REFERENCIA	: DATOS DE LABORATORIO
SOLICITANTE	: Yesven Julio Ramirez Espinoza
TESIS	: Elaboracion de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga – Departamento de Ayacucho
Fecha de ensayo: 05/07/2026	

TIPO	: ADOBE
EDAD	: 30 días

IDENTIFICACIÓN (DISEÑO)	AMPLITUD EXTERIOR (°C)	AMPLITUD INTERIOR (°C)	ΔM (°C)
PET 1%	17.8	6.6	11.2
PET 1%	17.6	4.7	11.0
PROMEDIO			11.1

OBSERVACIONES:

- * Muestras identificadas por el solicitante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de INGEOTECON.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por: INGEOTECON
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Piñuar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECON E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 334134	 Felix Jaramillo Castillo Metrólogo-Piñuar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Coyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingetecon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE FLUCTUACIÓN TÉRMICA	Código	FOR-LAB-CO-011
		Revisión	2
		Aprobado	CC-JJG
		Fecha	05/07/2026

LABORATORIO DE CONCRETO Y ALBAÑILERIA

NTP 399.613 / NTP 399.604

REFERENCIA	: DATOS DE LABORATORIO
SOLICITANTE	: Yesven Julio Ramirez Espinoza
TESIS	: Elaboracion de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga – Departamento de Ayacucho
Fecha de ensayo: 05/07/2026	

TIPO	: ADOBE
EDAD	: 30 días

IDENTIFICACIÓN (DISEÑO)	AMPLITUD EXTERIOR (°C)	AMPLITUD INTERIOR (°C)	ΔM (°C)
PET 3%	17.9	8.1	9.8
PET 3%	17.6	8.0	9.6
PROMEDIO			9.7

OBSERVACIONES:

- * Muestras identificadas por el solicitante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de INGEOTECNIA.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por: INGEOTECNIA
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Piñuar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECNIA E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 334134	 Felix Jaramillo Castillo Metrológico-Piñuar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad



Cel: 989900609 / 961372637
A.A.H.H. Coyadonga Mz. P2 Lote 8
Ayacucho - Huamanga
www.ingeocon.com



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE FLUCTUACIÓN TÉRMICA	Código	FOR-LAB-CO-011
		Revisión	2
		Aprobado	CC-JJG
		Fecha	05/07/2026

LABORATORIO DE CONCRETO Y ALBAÑILERIA

NTP 399.613 / NTP 399.604

REFERENCIA	: DATOS DE LABORATORIO
SOLICITANTE	: Yesven Julio Ramírez Espinoza
TESIS	: Elaboracion de Adobe con fibras de PET reciclado para mejorar resistencia a la Humedad y Fluctuaciones Térmicas en Huayrapata Ayacucho 2024
UBICACIÓN	: Provincia de Huamanga – Departamento de Ayacucho
	Fecha de ensayo: 05/07/2026
TIPO	: ADOBE
EDAD	: 30 días

IDENTIFICACIÓN (DISEÑO)	AMPLITUD EXTERIOR (°C)	AMPLITUD INTERIOR (°C)	ΔM (°C)
PET 7%	17.7	9.6	8.1
PET 7%	17.9	9.6	8.3
		PROMEDIO	8.2

OBSERVACIONES:

- * Muestras identificadas por el solicitante
- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de INGEOTECNIA.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por: INGEOTECNIA
 Ing. Sergio Martinez Director del Laboratorio-Pinzar Ltda Sucursal del Perú	 INGEOTECNIA E.I.R.L. MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA INGENIERA CIVIL CIP N° 334134	 Felix Jaramillo Castillo Metrologo-Pinzar Ltda Sucursal del Perú
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad

**UNSCH****FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. YESVEN JULIO RAMIREZ ESPINOZA

R.D. N° 377-2026-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho, a los once días del mes de agosto del año dos mil veintiséis, siendo las once horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por el M.Sc. Federico Quicaño Suárez, Mtro. Carlos Augusto Castañeda Esquén como asesor, Ing. Vance Giorgio Fernández Huamán y el Ing. John Samuel Cazorla Orihuela; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Elaboración de adobe con fibras de PET reciclado para mejorar la resistencia a la humedad y fluctuaciones térmicas en Huayrapata, Ayacucho 2024**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, presentado por el Bachiller **YESVEN JULIO RAMIREZ ESPINOZA**.

El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invitó a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
M.Sc. Federico Quicaño Suárez	13	14	15	14
Mtro. Carlos Augusto Castañeda Esquén	17	17	17	17
Ing. Vance Giorgio Fernández Huamán	11	12	14	12
Ing. John Samuel Cazorla Orihuela	15	16	16	16
PROMEDIO GENERAL				15

OBSERVACIONES: Por acuerdo unánime de los miembros del jurado, el título del trabajo de investigación debe ser: **Elaboración de adobe con fibras de PET reciclado para mejorar la resistencia a la humedad y fluctuaciones térmicas en Huayrapata, Ayacucho 2024**

Acto seguido se invita a la sustentante y público en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.


.....
M.Sc. Federico Quicaño Suárez
Presidente


.....
Ing. Vance Giorgio Fernández Huamán
Jurado


.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente


.....
Mtro. Carlos Augusto Castañeda Esquén
Asesor


.....
Ing. John Samuel Cazorla Orihuela
Jurado

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por **R.D N° 213-2025-UNSCH-FCA-CF**; hace constar que el trabajo titulado:

Elaboración de adobe con fibras de PET reciclado para mejorar la resistencia a la humedad y fluctuaciones térmicas en Huayrapata, Ayacucho 2024

Autor : Yesven Julio Ramirez Espinoza
Asesor : Carlos Augusto Castañeda Esquen

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de tesis, aprobado mediante RCU 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de **veinte seis (26%)** de índice de similitud, con exclusión de citas y bibliografía, y de coincidencias menores de 30 palabras.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con identificador de la entrega: 3015670095

Ayacucho, 21 de Agosto de 2026

Atentamente,



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias
Prof. Dr. Eleazar Chuchón Angulo
DNI 42682714

Elaboración de adobe con fibras de PET reciclado para mejorar la resistencia a la humedad y fluctuaciones térmicas en Huayrapata, Ayacucho 2024

por Yesven Julio RAMIREZ ESPINOZA

Elaboración de adobe con fibras de PET reciclado para mejorar la resistencia a la humedad y fluctuaciones térmicas en Huayrapata, Ayacucho 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

26%	26%	5%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	upc.aws.openrepository.com	20%
	Fuente de Internet	
2	repositorio.continental.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
3	repositorio.ucv.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
4	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	
5	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
6	apirepositorio.unh.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
7	www.cienciadigital.org	<1%
	Fuente de Internet	
8	repositorio.unprg.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
9	cybertesis.uni.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
10	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	<1%
	Trabajo del estudiante	
11	repositorio.uct.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
12	repositorio.upsc.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
13	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	<1%
	Trabajo del estudiante	
14	repositorio.unj.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	

Submitted to D.A. de Ingeniería Civil

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 30 words
Excluir bibliografía	Activo		

Elaboración de adobe con fibras de PET reciclado para mejorar la resistencia a la humedad y las fluctuaciones térmicas en Huayrapata, Ayacucho, 2024

Production of adobe with recycled PET fibers to improve moisture resistance and thermal fluctuations in Huayrapata, Ayacucho, 2024

Yesven Julio Ramirez Espinoza¹ yesven.ramirez.21@unsch.edu.pe

Carlos Augusto Castañeda Esquén¹ carlos.castaneda@unsch.edu.pe

1 Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de la incorporación de fibras de tereftalato de polietileno (PET) reciclado en la resistencia a la humedad y las fluctuaciones térmicas del adobe tradicional en Huayrapata, Ayacucho, 2024, mediante un diseño experimental de enfoque cuantitativo. Se determinaron las características físicas del suelo, clasificado como tipo CL (arcilla de baja plasticidad) según el sistema SUCS, en función del cual se estableció la dosificación de fibras PET en 1 %, 3 % y 7 % respecto al adobe patrón (reforzado tradicionalmente con 0.25 % de ichu). Mediante ensayos de laboratorio se evaluó la resistencia a la compresión en unidades y muretes, la densidad, la absorción de agua, la conductividad térmica y la fluctuación térmica (ΔM), conforme a la norma E.080. Se determinó que el 7 % constituye el porcentaje óptimo, al presentar el mejor desempeño integral: la resistencia a la compresión aumentó en 21 % en unidades y 64 % en muretes; la densidad se redujo en 16 %; la absorción de agua disminuyó en 12 %; la conductividad térmica se redujo en 36 %; y la fluctuación térmica disminuyó en 37 %, respecto al adobe patrón. El análisis estadístico (ANOVA y prueba de Tukey, $\alpha = 0.05$) confirmó que estas diferencias son significativas para la resistencia a la compresión en unidades (únicamente al 7 %), la densidad y la fluctuación térmica, mientras que en la absorción de agua y la conductividad térmica se observó una tendencia favorable sin significancia estadística. Tanto el adobe patrón como los reforzados con PET cumplieron con la resistencia mínima establecida en la norma E.080. En conclusión, la incorporación de fibras PET al 7 % tiene un efecto positivo e integral sobre las propiedades físicas, mecánicas y térmicas del adobe tradicional, favoreciendo la durabilidad de las viviendas rurales frente a la humedad y las variaciones térmicas, además de contribuir a la reducción de residuos plásticos en Ayacucho.

Palabras clave: adobe, fibras PET recicladas, resistencia a la compresión, absorción de agua, conductividad térmica, fluctuación térmica.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effect of incorporating recycled polyethylene terephthalate (PET) fibers on the resistance to moisture and thermal fluctuations of traditional adobe in Huayrapata, Ayacucho, 2024, through a quantitative experimental design. The physical characteristics of the soil were determined, classified as CL-type (low-plasticity clay) according to the USCS system, based on which the dosage of PET fibers was established at 1%, 3%, and 7% relative to the control adobe (traditionally reinforced with 0.25% ichu straw). Through laboratory tests, the compressive strength in units and wallettes, density, water absorption, thermal conductivity, and thermal fluctuation (ΔM) were evaluated, in accordance with the E.080 standard. It was determined that 7% constitutes the optimal percentage, presenting the best overall performance: compressive strength increased by 21% in units and 64% in wallettes; density decreased by 16%; water absorption decreased by 12%; thermal conductivity decreased by 36%; and thermal fluctuation decreased by 37%, compared to the control adobe. Statistical analysis (ANOVA and Tukey test, $\alpha = 0.05$) confirmed that these differences were significant for compressive strength in units (only at 7%), density, and thermal fluctuation, while water absorption and thermal conductivity showed a favorable trend without statistical significance. Both the control adobe and the PET-reinforced adobes met the minimum compressive strength required by the E.080 standard. In conclusion, the incorporation of 7% recycled PET fibers has a positive and comprehensive effect on the physical, mechanical, and thermal properties of traditional adobe, enhancing the durability of rural housing against moisture and thermal variation, while also contributing to the reduction of plastic waste in Ayacucho.

Keywords: adobe, recycled PET fibers, compressive strength, water absorption, thermal conductivity, thermal fluctuation.

INTRODUCCIÓN

La construcción con adobe, una técnica con raíces ancestrales, sigue siendo popular en las áreas rurales del Perú debido a su bajo costo y a la facilidad para obtener materiales locales como la tierra y el agua, además de ofrecer un aislamiento térmico ideal en climas templados (García et al., 2017). No obstante, en localidades como Huayrapata, Ayacucho, el aumento de la humedad y las variaciones bruscas de temperatura provocan un desgaste acelerado del material, exigiendo reparaciones frecuentes para conservar la estabilidad de las construcciones (Urbano, 2019).

Los efectos del clima se explican por la tendencia del adobe a absorber agua, lo que compromete su estabilidad estructural: las lluvias y los cambios extremos de temperatura causan fisuras y debilitan las paredes, afectando tanto la funcionalidad de las viviendas como la seguridad de sus ocupantes (Guevara y Silva, 2018). Ante esta problemática, surge la necesidad de explorar alternativas que refuercen las propiedades físicas del adobe sin perder sus ventajas de costo y accesibilidad.

Una opción es incorporar materiales reciclados, como las fibras de tereftalato de polietileno (PET), ampliamente utilizado en botellas y envases plásticos. Su integración en la mezcla de adobe no solo disminuye la acumulación de residuos plásticos, sino que además brinda mayor resistencia al agua y estabilidad frente a los cambios de temperatura (Zeña, 2022; Campos, 2018). Estudios previos desarrollados en la propia región de Ayacucho, como los de Núñez Aldás et al. (2021), Quispe y Huanca (2022) y Cáceres y Quispe (2024), evidenciaron que la incorporación de fibras PET en porcentajes de entre 2 % y 15 % mejora la resistencia a la compresión y reduce la densidad, la absorción de agua y la conductividad térmica del adobe, sin comprometer su trabajabilidad.

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de la incorporación de fibras PET recicladas, en dosificaciones de 1 %, 3 % y 7 % respecto al adobe patrón reforzado tradicionalmente con ichu, sobre la resistencia a la compresión, la densidad, la absorción de agua, la conductividad térmica y la fluctuación térmica del adobe tradicional elaborado con suelo de Huayrapata, Ayacucho. Con ello se busca establecer un modelo de construcción que ofrezca soluciones prácticas y accesibles para las familias rurales, contribuyendo al desarrollo de viviendas más resistentes y sostenibles, así como a la reducción de residuos plásticos en la región (Acuña y Navarro, 2024).

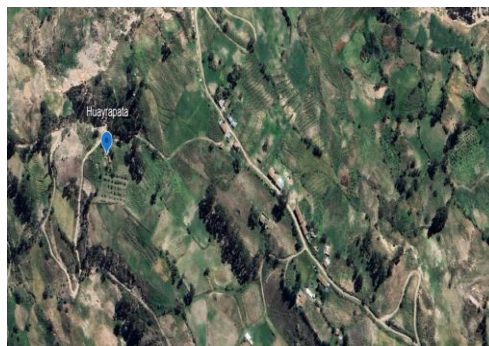
MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El estudio se desarrolló en el centro poblado de Huayrapata, perteneciente a la Comunidad Campesina de Rancho, distrito y provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, ubicado entre los 3,000 y 3,200 m s. n. m. (coordenadas UTM, datum WGS 84, zona 18L: 586223 E, 8544169 N, 3124 m s. n. m.). Los ensayos de laboratorio se realizaron en el laboratorio INGEOTECON.

Figura 1

Ubicación satelital del área de estudio, Huayrapata, Ayacucho (adaptado de Google Earth)



2.2 Diseño experimental

Se empleó un diseño experimental de enfoque cuantitativo, en el que se manipuló como variable independiente el porcentaje de fibras

PET recicladas incorporadas a la mezcla de adobe (1 %, 3 % y 7 %), comparándose frente a un adobe patrón reforzado tradicionalmente con 0.25 % de ichu. La muestra se seleccionó mediante muestreo no probabilístico por conveniencia, según lo establecido en la Norma E.080 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017), y estuvo conformada por 68 especímenes (44 cubos de $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ y 24 muretes de 4 hiladas elaborados con ladrillos de $22 \times 11 \times 8 \text{ cm}^3$).

2.3 Materiales

El suelo empleado se extrajo de una cantera cercana a Huayrapata (figura 2), siguiendo el mismo criterio de selección utilizado tradicionalmente por los pobladores de la zona. Las fibras de PET se obtuvieron a partir de botellas plásticas de descarte doméstico (figura 3), las cuales fueron lavadas y cortadas manualmente en tiras de aproximadamente $5 \times 5 \text{ mm}$; el ichu, empleado en el adobe patrón, se recolectó de los pastizales naturales de la zona y se cortó a una longitud aproximada de 5 cm.

Figura 2

Recolección de la muestra de suelo en Huayrapata



Figura 3

Recolección de botellas de PET reciclado



2.4 Caracterización del suelo

La caracterización del suelo se realizó mediante pruebas de campo (resistencia seca y cinta de barro, según la Norma E.080) y ensayos de laboratorio de análisis granulométrico por tamizado (NTP 339.218) y límites de Atterberg (NTP 339.129), con el fin de clasificar el suelo según el sistema SUCS y establecer la dosificación de fibras PET a evaluar.

2.5 Elaboración y curado de los especímenes

La mezcla se preparó manteniendo una razón agua/suelo (W/S) de 0.20 a 0.25, incorporando las fibras PET o el ichu según la dosificación correspondiente. Los especímenes se moldearon, desmoldaron y secaron durante un mínimo de 28 días, protegidos de la exposición solar directa, conforme a la Norma E.080. Los muretes (figura 4) se conformaron uniendo cuatro hiladas de ladrillos de adobe con una capa de mortero de 1 cm de espesor.

Figura 4

Muretes de adobe conformados por cuatro hiladas



2.6 Ensayos de laboratorio

Se evaluaron las siguientes propiedades del adobe patrón y de los adobes reforzados con fibras PET, conforme a la Norma E.080 (SENCICO, 2017):

a) Densidad. Se determinó a partir de la masa y el volumen del espécimen, según lo indicado en la Norma E.080:

$$d = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Donde:

d = densidad del espécimen (g/cm³)

m = masa del espécimen (g)

v = volumen del espécimen (cm³)

b) Absorción de agua. Se calculó a partir del peso húmedo y el peso seco del espécimen:

$$A = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

A = porcentaje de absorción de agua (%)

W_1 = peso seco del espécimen (kg)

W_2 = peso húmedo (saturado) del espécimen (kg)

c) Resistencia a la compresión. Se calculó dividiendo la carga máxima de rotura entre el área bruta de la sección transversal del espécimen:

$$C = \frac{P}{A} \quad (3)$$

Donde:

C = resistencia a la compresión del espécimen (kg/cm²)

P = carga máxima registrada por el equipo de ensayo (kg-f)

A = promedio del área bruta de la unidad (cm²)

d) Conductividad térmica. Se obtuvo de forma directa (W/m·K) mediante lectura de un medidor de conductividad térmica, sin mediar fórmula de cálculo.

e) Fluctuación térmica. Se determinó mediante ensayo de choque térmico en una cámara de ciclos de calentamiento-enfriamiento durante 24 horas, calculando la diferencia entre la amplitud térmica exterior e interior del espécimen:

$$\Delta M = AE - AI \quad (4)$$

Donde:

ΔM = fluctuación térmica (°C)

AE = amplitud térmica registrada en el exterior del espécimen (°C)

AI = amplitud térmica registrada en el interior del espécimen (°C)

2.7 Análisis estadístico

Los resultados se procesaron mediante análisis de varianza (ANOVA) de un factor, complementado con la prueba de comparación múltiple de Tukey (HSD, $\alpha = 0.05$), con el fin de determinar si las diferencias observadas entre el adobe patrón y los adobes reforzados con PET eran estadísticamente significativas. El número de réplicas por dosificación fue de 6 para resistencia a la compresión, 2 para densidad, absorción de agua y fluctuación térmica, y 3 para conductividad térmica.

2.8 Evaluación económica referencial

De manera complementaria, se realizó una evaluación económica referencial que comparó el costo de los materiales de refuerzo (ichu frente a fibras PET) y de la mano de obra asociada a su preparación, empleando precios de referencia de la tabla salarial oficial de construcción civil (FTCCP, 2025) y del mercado informal de reciclaje de plástico PET en el Perú.

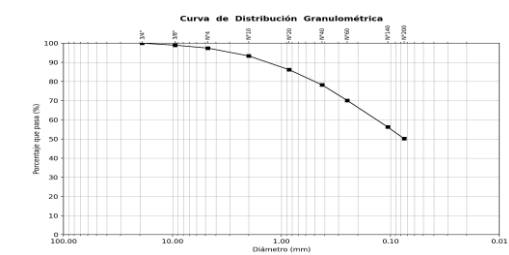
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

3.1.1. Características físicas del suelo y dosificación de fibras PET (objetivo específico 1)

Los ensayos de laboratorio determinaron un límite líquido de 41 %, un límite plástico de 21 % y un índice de plasticidad de 22 %, con 50.14 % de partículas pasantes por el tamiz N.º 200 (figura 5), lo que permitió clasificar el suelo de Huayrapata como tipo CL (arcilla de baja plasticidad) según el sistema SUCS. Sobre la base de esta clasificación, y considerando que el adobe patrón de la zona se refuerza tradicionalmente con 0.25 % de ichu, se estableció la dosificación de fibras PET recicladas a evaluar en 1 %, 3 % y 7 % respecto al volumen de suelo, manteniendo constante la razón agua/suelo (W/S) entre 0.20 y 0.25 en todas las mezclas.

Figura 5
Curva de distribución granulométrica del suelo de Huayrapata



3.1.2. Resistencia a la compresión, densidad, absorción, conductividad y fluctuación térmica (objetivo específico 2)

En la tabla 1 se presenta el resumen de las propiedades físicas, mecánicas y térmicas evaluadas para el adobe patrón y los adobes reforzados con 1 %, 3 % y 7 % de fibras PET recicladas.

Tabla 1
Resumen de las propiedades físicas, mecánicas y térmicas del adobe patrón y con fibras PET recicladas

Propiedad	Patrón	1%	3%	7%	Var.
Compr. unidades (kg/cm²)	15.45	15.00	16.00	18.65	+21%
Compr. muretes (kg/cm²)	7.72	8.50	12.57	12.68	+64%
Densidad (g/cm³)	1.53	1.41	1.34	1.28	-16%
Absorción agua (%)	21.1	20.6	19.6	18.6	-12%
Conduct. térmica (W/m·K)	0.59	0.48	0.46	0.39	-36%
Fluctuación ΔM (°C)	13.0	11.1	9.7	8.2	-37%

Nota. Compresión en unidades y muretes: promedio de las 4 mejores muestras por dosificación. Fuente: elaboración propia, ensayos de laboratorio INGEOTECON.

En las figuras 6 y 7 se observa el promedio de la resistencia a la compresión en unidades y en muretes de adobe, respectivamente, para el adobe patrón y los adobes reforzados con fibras PET.

Figura 6
Promedio de la resistencia a la compresión en unidades de adobe

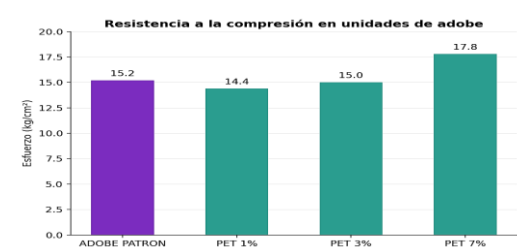
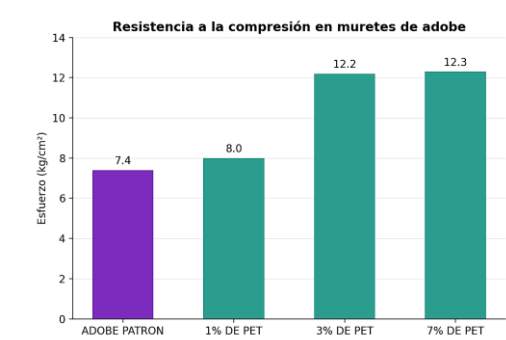


Figura 7
Promedio de la resistencia a la compresión en muretes de adobe



3.1.3. Comparación del adobe patrón frente a los reforzados y determinación del porcentaje óptimo de PET (objetivo específico 3)

Para determinar si estas diferencias eran estadísticamente significativas y no producto del azar, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor sobre los datos individuales de cada ensayo, complementado con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Este análisis determinó diferencias significativas entre dosificaciones para la resistencia a la compresión en unidades (únicamente en el nivel de 7 %, $p = 0.021$, frente al adobe patrón), la densidad y la fluctuación térmica ($p < 0.05$ en todos los niveles de dosificación). En contraste, la absorción de agua ($p = 0.283$) y la conductividad térmica ($p = 0.230$) no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre dosificaciones, por lo que sus reducciones deben interpretarse como una tendencia favorable y no como una mejora comprobada.

Tabla 2
Análisis de varianza (ANOVA) para las propiedades evaluadas

Propiedad	F	p-valor	¿Sig.?
Densidad	95.73	0.00035	Sí
Absorción de agua	1.83	0.283	No
Fluctuación térmica (ΔM)	418.00	<0.0001	Sí
Conductividad térmica	1.77	0.230	No
Compresión, unidades	6.75	0.0025	Sí
Compresión, muretes	76.58	<0.0001	Sí

Nota. Se considera diferencia significativa entre dosificaciones cuando $p < 0.05$.

En la tabla 2 se observa que cuatro de las seis propiedades evaluadas (densidad, fluctuación térmica, y resistencia a la compresión en unidades y en muretes) presentan diferencias estadísticamente significativas entre dosificaciones ($p < 0.05$). La absorción de agua y la conductividad térmica, en cambio, no muestran diferencias significativas, por lo que sus mejoras deben interpretarse como una tendencia y no como un resultado confirmado.

Tabla 3

Comparaciones de Tukey — Densidad en unidades de adobe

Comparación	p-valor	¿Sig.?
Patrón vs 1% PET	0.0055	Sí
Patrón vs 3% PET	0.0009	Sí
Patrón vs 7% PET	0.0003	Sí
1% vs 3% PET	0.0338	Sí
1% vs 7% PET	0.0037	Sí
3% vs 7% PET	0.0571	No

En la tabla 3 se observa que la densidad disminuye de forma estadísticamente comprobada en cada nivel de PET respecto al adobe patrón ($p < 0.05$ en todos los pares). La única excepción es la comparación entre 3 % y 7 % ($p = 0.057$): no hay evidencia suficiente de que subir de 3 % a 7 % reduzca aún más la densidad, aunque el promedio sea ligeramente menor. Es la propiedad con la segunda evidencia estadística más sólida del estudio.

Tabla 4

Comparaciones de Tukey — Fluctuación térmica en unidades de adobe

Comparación	p-valor	¿Sig.?
Patrón vs 1% PET	0.0006	Sí
Patrón vs 3% PET	0.0001	Sí
Patrón vs 7% PET	<0.0001	Sí
1% vs 3% PET	0.0020	Sí
1% vs 7% PET	0.0001	Sí
3% vs 7% PET	0.0016	Sí

En la tabla 4 se observa que todas las comparaciones son estadísticamente significativas ($p < 0.05$ en los seis pares). Esto significa que cada nivel de PET (1 %, 3 % y 7 %) reduce la fluctuación térmica de manera distinguible, tanto respecto al adobe patrón como entre sí. Es la propiedad con el respaldo estadístico más fuerte de toda la investigación.

Tabla 5

Comparaciones de Tukey — Resistencia a la compresión en unidades

Comparación	p-valor	¿Sig.?
Patrón vs 1% PET	0.8138	No
Patrón vs 3% PET	0.9946	No
Patrón vs 7% PET	0.0205	Sí
1% vs 3% PET	0.9190	No
1% vs 7% PET	0.0029	Sí
3% vs 7% PET	0.0119	Sí

En la tabla 5 se observa que solo el 7 % de PET se diferencia significativamente del adobe patrón, del 1 % y del 3 % ($p < 0.03$ en los tres casos). El adobe patrón, el 1 % y el 3 % no se distinguen entre sí ($p > 0.8$). Es decir, en unidades, únicamente el 7 % mejora la resistencia a la compresión de forma comprobada.

Tabla 6

Comparaciones de Tukey — Resistencia a la compresión en muretes

Comparación	p-valor	¿Sig.?
Patrón vs 1% PET	0.5053	No
Patrón vs 3% PET	<0.0001	Sí
Patrón vs 7% PET	<0.0001	Sí
1% vs 3% PET	<0.0001	Sí
1% vs 7% PET	<0.0001	Sí
3% vs 7% PET	0.9844	No

En la tabla 6 se observa que tanto el 3 % como el 7 % de PET son significativamente superiores al adobe patrón y al 1 % ($p < 0.0001$ en los cuatro casos), pero no se diferencian entre sí ($p = 0.984$). Esto indica que, en muretes, la mejora estadística ya se alcanza desde el 3 % de PET, y subir al 7 % no aporta una mejora adicional demostrable.

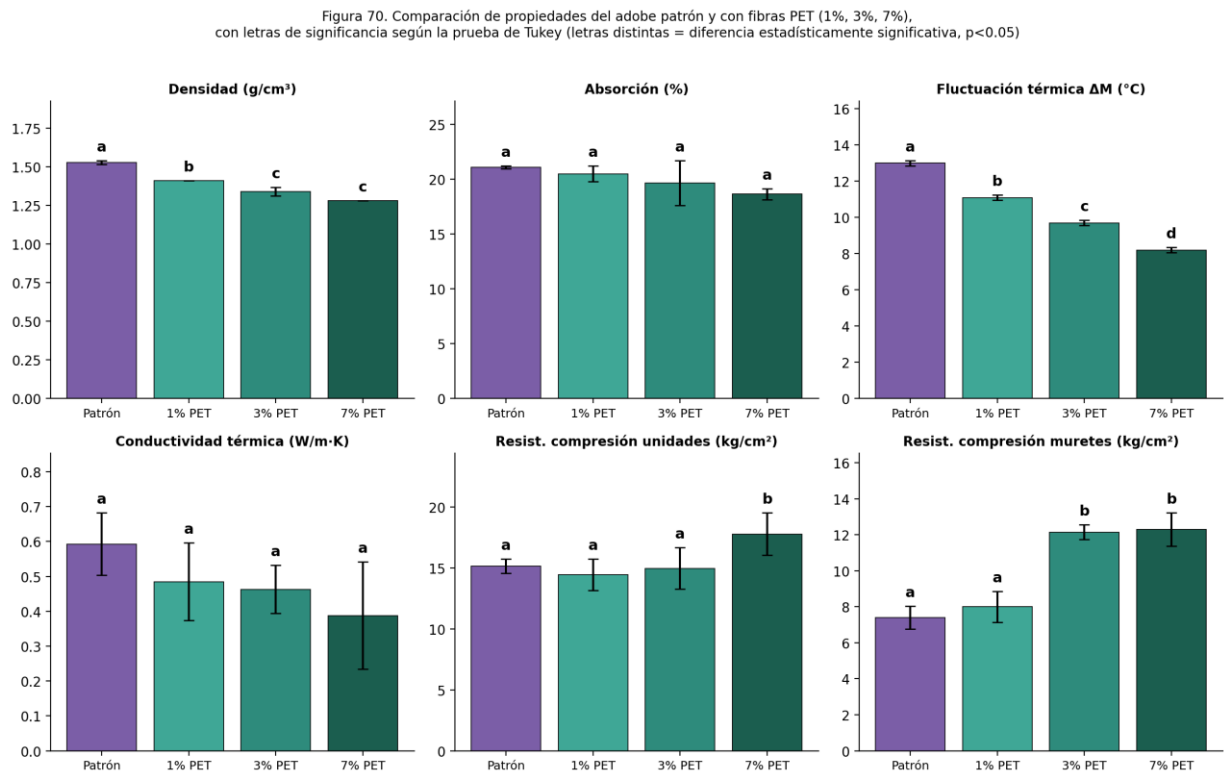
Nota. La absorción de agua y la conductividad térmica no cuentan con tabla de Tukey porque su ANOVA no fue significativo (tabla 2).

En la figura 8 se presenta la comparación de las seis propiedades evaluadas, donde las barras de error representan la desviación estándar y las letras distintas sobre las barras indican diferencia estadísticamente significativa entre dosificaciones (Tukey, $p < 0.05$). Con este análisis, la elección del 7 % como dosificación óptima se sostiene principalmente en que es el único nivel que

mejora de forma comprobada la resistencia a la compresión en unidades, y en que mantiene el mejor desempeño en densidad y fluctuación térmica, ambas con la evidencia estadística

más fuerte del estudio; la mejora en absorción y conductividad térmica debe presentarse como una tendencia favorable y no como una diferencia demostrada.

Figura 8
Comparación de las propiedades del adobe patrón y con fibras PET (1 %, 3 % y 7 %), con significancia estadística (prueba de Tukey; letras distintas sobre las barras = diferencia estadísticamente significativa, $p<0.05$)



3.2 Discusión

3.2.1. Sobre las características del suelo y la dosificación de fibras PET (objetivo específico 1)

La incorporación de fibras PET se realizó en proporciones de 1 %, 3 % y 7 % respecto del volumen de suelo, un rango más amplio en sus extremos que el empleado en los antecedentes revisados: Núñez Aldás et al. (2021) trabajaron con 0 %, 5 %, 10 % y 15 % de plástico triturado, mientras que Cáceres y Quispe (2024) y Quispe y Huanca (2022) se concentraron entre 2 % y 6 %. Este rango más amplio permitió observar con mayor claridad la tendencia de mejora del adobe conforme aumenta el contenido de PET, coincidiendo con dichos estudios en que la incorporación de

este material reciclado es viable técnicamente sin afectar la trabajabilidad de la mezcla. El suelo empleado, clasificado como CL con índice de plasticidad de 22 % y más del 50 % de finos, presentó una adecuada capacidad de cohesión y adherencia con las fibras, condición que favoreció su desempeño como elemento de refuerzo y control de fisuración.

3.2.2. Sobre la resistencia a la compresión, densidad, absorción, conductividad y fluctuación térmica (objetivo específico 2)

Los incrementos obtenidos en resistencia a la compresión, de 21 % en unidades y 64 % en muretes con el 7 % de PET, son consistentes con los reportados por Quispe y Huanca (2022), quienes hallaron incrementos de 19 % y 62 % con 6 % de fibras PET en la misma

región de Ayacucho, lo que confirma la coherencia de la tendencia en condiciones climáticas y de suelo similares. De igual manera, Cáceres y Quispe (2024) reportaron que el adobe con PET se mantuvo dentro de los parámetros mínimos de la Norma E.080, tal como ocurrió en la presente investigación. La reducción de 16 % en la densidad con el 7 % de PET resulta prácticamente idéntica a la de 16.4 % reportada por Quispe y Huanca (2022), lo que evidencia que el efecto aligerante de las fibras plásticas es un comportamiento reproducible en distintos estudios de la región.

El análisis estadístico confirmó que el 7 % es el único nivel que mejora de forma comprobada la resistencia a la compresión en unidades ($p = 0.021$), y que mantiene además el mejor desempeño en densidad y fluctuación térmica, ambas significativas en todos los niveles ($p < 0.05$). Las reducciones en absorción de agua y conductividad térmica, aunque consistentes con los antecedentes citados, no alcanzaron significancia estadística con las réplicas disponibles, por lo que deben interpretarse como una tendencia favorable y no como un efecto comprobado. La fluctuación térmica, con una reducción de 37 %, fue el hallazgo con mayor respaldo estadístico del estudio, resultado coherente con la menor conductividad térmica registrada, ya que un material menos conductor amortigua mejor los cambios bruscos de temperatura.

Estos resultados son coherentes con los mecanismos físicos involucrados: las fibras PET actúan como refuerzo discontinuo que puentea las microfisuras generadas durante el secado, elevando la resistencia; al ser menos densas que las partículas del suelo, reducen la densidad de la mezcla; su carácter hidrofóbico limita la absorción de agua; y al conducir peor el calor que la matriz mineral, disminuyen tanto la conductividad como la fluctuación térmica.

3.2.3. Sobre la comparación y el porcentaje óptimo de incorporación de PET (objetivo específico 3)

El porcentaje óptimo obtenido en la presente investigación (7 %) resultó superior al 6 % reportado como óptimo por Quispe y Huanca (2022) y por Cáceres y Quispe (2024), diferencia atribuible a variaciones en las características granulométricas y plásticas del suelo de Huayrapata frente a las localidades de comparación, así como al tamaño y proceso de obtención de las fibras empleadas en cada estudio. No obstante, la tendencia general, donde un mayor contenido de PET se asocia a mayor resistencia, menor densidad, menor absorción y menor conductividad, se mantiene consistente entre los tres estudios, lo que fortalece la validez de los resultados obtenidos.

La evaluación económica referencial mostró que, dado que el suelo, el ichu y el agua se obtienen sin costo de adquisición en Huayrapata, el costo directo de materia prima del adobe patrón y del adobe reforzado con PET es marginal y muy similar entre sí (menor a S/ 0.15 por espécimen en el caso del 7 % de PET), por lo que la diferencia económica relevante entre ambas alternativas no radica en el costo del material de refuerzo, sino en la mano de obra de preparación. A ello se suma el beneficio ambiental derivado del retiro de residuos plásticos no biodegradables del entorno de Huayrapata, lo que refuerza la viabilidad técnica, económica y ambiental de emplear fibras PET recicladas al 7 % como alternativa al ichu tradicional en la construcción con adobe, confirmando que este nivel constituye el porcentaje óptimo de incorporación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Respecto al objetivo específico 1. El suelo de Huayrapata, Ayacucho, se clasificó como tipo CL (arcilla de baja plasticidad) según el

sistema SUCS, con un límite líquido de 41 %, un límite plástico de 21 % y un índice de plasticidad de 22 %, características que permitieron establecer la dosificación de fibras PET recicladas en 1 %, 3 % y 7 % respecto al adobe patrón.

Respecto al objetivo específico 2. El adobe reforzado con 7 % de fibras PET presentó el mejor desempeño integral entre todas las propiedades evaluadas, con incrementos de 21 % en la resistencia a la compresión en unidades y 64 % en muretes, y reducciones de 16 % en la densidad, 12 % en la absorción de agua, 36 % en la conductividad térmica y 37 % en la fluctuación térmica, respecto al adobe patrón. El análisis estadístico confirmó que estas diferencias fueron significativas para la resistencia a la compresión en unidades, la densidad y la fluctuación térmica, mientras que la absorción de agua y la conductividad térmica mostraron una tendencia favorable sin significancia estadística comprobada.

Respecto al objetivo específico 3. Al comparar los resultados del adobe patrón frente a los adobes reforzados con 1 %, 3 % y 7 % de PET, se determinó que el 7 % constituye el porcentaje óptimo de incorporación, al presentar el mejor comportamiento integral entre todas las propiedades evaluadas y ser el único nivel con mejora estadísticamente comprobada en resistencia a la compresión, densidad y fluctuación térmica, cumpliendo satisfactoriamente con lo establecido en la Norma E.080 para fines estructurales.

Respecto al objetivo general. La incorporación de fibras PET recicladas mejora el comportamiento físico-mecánico y térmico del adobe tradicional elaborado con suelo tipo CL de Huayrapata, Ayacucho, siendo el 7 % la dosificación óptima, lo que confirma en conjunto una alternativa técnica y sostenible para la construcción con tierra, conforme a lo establecido en la Norma E.080.

Sobre el aporte ambiental. La incorporación de fibras de PET reciclado en la elaboración de adobe genera un aporte positivo al medio ambiente, al reutilizar residuos plásticos no biodegradables que de otro modo contaminarían el entorno de Huayrapata, contribuyendo a la reducción de residuos sólidos, a la promoción de la economía circular y a la construcción de viviendas rurales más sostenibles, sin comprometer las propiedades físico-mecánicas ni térmicas del adobe tradicional.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda evaluar en futuras investigaciones porcentajes de incorporación de fibras PET superiores al 7 %, con el fin de identificar un posible límite máximo de mejora; complementar los ensayos de laboratorio con pruebas de exposición a la intemperie a mediano y largo plazo que permitan validar el comportamiento del adobe reforzado en condiciones reales de campo; estandarizar el proceso de obtención y tamaño de las fibras PET recicladas para facilitar la comparación entre estudios; aumentar el número de réplicas por dosificación, en particular para los ensayos de absorción de agua y conductividad térmica; y desarrollar un análisis de costo-beneficio y de ciclo de vida más detallado, que incluya cotizaciones locales y tiempos de mano de obra medidos directamente en campo.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Acuña, J., y Navarro, L. (2024). Modelos de construcción sostenible con materiales reciclados en el ámbito rural. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Campos, P. (2018). Proyecto de riego por goteo utilizando energía solar para cultivo de flores para exportación en el Fundo Huertas, distrito de Sayán, provincia de Huaura, departamento de Lima [Universidad Pedro Ruiz Gallo].

<https://hdl.handle.net/20.500.12893/2606>

Federación de Trabajadores en Construcción Civil del Perú [FTCCP]. (2025). Tablas salariales, Convención Colectiva 2024-2025 del sector Construcción Civil.

García, J., Huahuachampi, J., y Soto, L. (2017). Determinación de la demanda hídrica del cultivo de quinua QML01 (*Chenopodium Quinoa Willd*) en La Molina. ALICIA, 1-10.

<https://doi.org/10.21704/ac.v78i2.1057>

Guevara, R., y Silva, M. (2018). Efectos del clima en las construcciones de tierra en zonas altoandinas. Revista de Ingeniería Civil, 12(2), 55-68.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). Norma Técnica E.080: Diseño y construcción con tierra reforzada. SENCICO.

Núñez Aldás, G. W., López Arboleda, A. G., Chérrez Gavilanes, D. S., y Guevara Robalino, J. J. (2021). Adición de botellas plásticas PET 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, provincia de Tungurahua. Ciencia Digital, 5(1), 197-228.

<https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v5i1.1536>

Noah, M., y Ordóñez, D. (2024). Adición de fibras PET en el adobe para aumentar la capacidad resistente a la compresión, reducir la densidad, el porcentaje de absorción de agua y la conductividad térmica en las viviendas de la zona rural de Ayacucho-Perú [Universidad Peruana Unión].

<http://hdl.handle.net/10757/659101>

Paraguay Curo, J. L., y Escobar Quispe, M. Á. (2024). Comparación de las propiedades del adobe elaborado con fibras PET frente a otro con paja para viviendas rurales en Anta - Huancavelica [Universidad Nacional de Huancavelica].

<https://repositorio.unh.edu.pe/items/9b234611-fcfe-4a58-83cb-5f54ea9dd70a>

Urbano, F. (2019). Deterioro de viviendas de adobe frente a factores climáticos en zonas rurales andinas. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Zeña, B. (2022). Análisis tecno económico comparativo entre una minicentral fotovoltaica y eólica para abastecimiento de un sistema de riego tecnificado [Universidad Señor de Sipán].

<https://hdl.handle.net/20.500.12802/10148>