

Incorporación de láminas de eucalipto como refuerzo ecológico en construcciones de tapiales en Chim Chim-Otuzco

Cortez Novoa, Jheinner¹ ; Cotrina Cabrera, Anica² ; Ramos Chávez, Luis³ ; Rodriguez Villar, Rubiño⁴ ; Santos Cuba Arlet⁵ ; Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca-Perú, N00407764@upn.pe, N00405063@upn.pe, N00412873@upn.pe, N00399949@upn.pe, N00276265@upn.pe.

Abstract—This research aims to evaluate the behavior of rammed earth walls when incorporating sheets made from eucalyptus leaves, using soil samples from Chim Chim-Otuzco, Cajamarca Province. The study seeks to analyze whether the inclusion of this organic material can influence the mechanical properties of the rammed earth, contributing to the utilization of available natural resources in the area. The research will be conducted in accordance with the guidelines of technical standard E.080 – Design and Construction with Reinforced Earth, which establishes the safety and resistance criteria for earthen buildings.

Keywords—Eucalyptus, resistance, earth, compaction.

Incorporación de láminas de eucalipto como refuerzo ecológico en construcciones de tapiales en Chim Chim-Otuzco

Cortez Novoa, Jheinner¹ ; Cotrina Cabrera, Anica² ; Ramos Chávez, Luis³ ; Rodriguez Villar, Rubiño⁴ ; Santos Cuba Arlet⁵ ; Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca-Perú, N00407764@upn.pe, N00405063@upn.pe, N00412873@upn.pe, N00399949@upn.pe, N00276265@upn.pe.

Resumen— La presente investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento del tapial al incorporar láminas elaboradas a partir de hojas de eucalipto, empleando muestras de suelo provenientes de chim chim-otuzco, Provincia de Cajamarca. El estudio busca analizar si la inclusión de este material orgánico puede influir en las propiedades mecánicas del tapial, contribuyendo al aprovechamiento de recursos naturales disponibles en la zona. La investigación se desarrollará conforme a los lineamientos de la norma técnica E.080 – Diseño y construcción con tierra reforzada, que establece los criterios de seguridad y resistencia para edificaciones de tierra.

Palabras clave—Eucalipto, resistencia, tierra, compactación.

I. INTRODUCCIÓN

En nuestro país, las casas son construidas con tierra usando técnicas antiguas como el tapial o tierra compactada porque este recurso es barato, de fácil accesibilidad y representa toda una cultura ancestral. Además de utilizar el material abundante de la zona, representa una opción más ecológica que el cemento. Aunque hoy en día esta técnica se dejó de utilizar, en zonas rurales ubicadas en la sierra del país se sigue practicando esta técnica económica. De hecho, de acuerdo con los censos del INEI dice que gran parte de las casas en el Perú todavía usan materiales como el tapial, la piedra y la madera para la construcción de sus casas. Como esta técnica es tan popular, en el 2017 el gobierno peruano creó una Norma Técnica E.080 “Diseño y Construcción con Tierra Reforzada”, mediante la resolución Ministerial N°121-2017-VIVIENDA, para asegurar que las casas de tierra se construyan bien, con refuerzos contra temblores y solo hasta dos pisos como máximo. Por eso nuestro proyecto de investigación busca aplicar la norma E.080, pero añadiendo láminas de hojas de eucalipto como refuerzo del tapial, buscando que el tapial sea más resistente y contribuya a la construcción de casas de tierra. El objetivo es determinar si al añadir las láminas del papel de eucalipto mejora la resistencia a la compresión y mejora la durabilidad del tapial con el pasar de los años.

II. PROBLEMÁTICA A DESARROLLAR

En el caserío de Chim Chim- Otuzco las personas construyen sus casas con tapial, ya que en esta zona cuentan con abundancia de tierra, pero este material no es fuerte ni durable con el pasar de los años, además en esta zona abunda la planta de eucalipto, cuyas hojas se desperdician a pesar de ser un recurso local. Por esta razón nuestro proyecto busca investigar

si al agregar las hojas de eucalipto al tapial puede hacerlo más resistente y duradero, para crear un material de construcción innovador que aproveche el recurso del eucalipto que hay en Chim – Chim, reduciendo los costos y ayudando al desarrollo sostenible de esta comunidad.

III. OBJETIVOS

Objetivo general: Evaluar y comparar si el uso de láminas de eucalipto sirve como refuerzo natural siguiendo las especificaciones de la norma E.080 para la construcción de bloques de tapial el caserío Chim Chim, Otuzco.

Objetivos Específicos:

- Aprovechar las hojas de eucalipto como refuerzo para el tapial, promoviendo el uso de los recursos locales en la construcción rural.
- Realizar de manera adecuada los ensayos de laboratorio teniendo en cuenta las normas técnicas nacional e internacional.
- Determinar la influencia de las hojas de eucalipto y comprobar su eficiencia mediante el ensayo de resistencia a la compresión.
- Comparar el comportamiento de bloques de tapial con y sin refuerzo de hojas de eucalipto secado en un periodo de tiempo de 5, 10 y 15 días.

IV. ANTECEDENTES

A. ANTECEDENTES NACIONALES

En el estudio realizado en Huancavelica por [1], se prepararon muestra de tapial con diferentes cantidades de tallo de cebada, los cuales se sometieron a pruebas de resistencia en laboratorio. Los resultados obtenidos mostraron un aumento favorable en la resistencia mecánica en los tapiales con adición de cebada, a comparación de las muestras patrón destacándose del 15% de adición como la proporción óptima para obtener mejores resultados. Sin embargo, si se supera el 15% la resistencia disminuye, en sus conclusiones se obtiene que la incorporación de tallos de cebada en las construcciones de tapiales podría mejorar la durabilidad de las viviendas, por lo que en áreas rurales pueden ser como una solución para reducir fisuras y grietas en los muros de tapial, así mismo por su bajo costo. El estudio de Álvarez resulta importante para nuestra investigación, ya que demuestra que los refuerzos naturales pueden mejorar las propiedades estructurales del tapial. En base a los lineamientos con la Norma Técnica E.080, se apoya la idea de aprovechar materiales locales que garanticen la estabilidad y

durabilidad de las construcciones de tierra. [2]Realizó la investigación: Influencia de las fibras de eucalipto en el comportamiento mecánico de los muros de tapial en la provincia de La Unión, en la Universidad César Vallejo. el objetivo de su investigación fue determinar la influencia del uso de fibras de eucalipto en los muros de tapial en la provincia de La Unión en la UCV, centrándose más en su comportamiento mecánico. Se realizaron 80 especímenes distribuidos entre una muestra control y diferentes porcentajes de adición de fibra (5%, 10%, 15% y 20%). Como conclusión general se obtuvo que la adición de fibra de eucalipto en el tapial logra una notable mejora en las propiedades mecánicas, con valores de hasta un 56.3% más alto en comparación con la muestra de tapial patrón. Los resultados de Álvarez valida el potencial del eucalipto como refuerzo orgánico bajo condiciones controladas de compactación. [3]Realizó una investigación de influencia al integrar fibras naturales de Eucalyptus globulus en las propiedades mecánicas del adobe, en Pimentel – Perú. Su objetivo fue evaluar las propiedades mecánicas de dicho adobe al integrar fibras naturales de eucalyptus globulus en las diferentes proporciones de (1.5 %, 2 %, 2.5 % y 3 %) y así compararlas con el adobe tradicional. Se elaboraron muestras y se realizaron ciertos ensayos de resistencia a compresión con cubos y prismas, tracción indirecta en muretes, módulo de rotura, además de evaluar las propiedades físicas como alabeo, succión, absorción y granulometría del suelo. La investigación llegó a las siguientes conclusiones: Se concluyó que la adición óptima para mejorar las propiedades mecánicas del adobe es de 3 %, logrando un comportamiento estructural superior al adobe tradicional, pues Con una adición del 2.5 % y 3 % de fibras naturales se lograron incrementos de 7.38 % y 31.57 % en la resistencia a compresión de cubos, mientras que con 1.5 % y 2 % se redujo en 33.25 % y 20.72 %. Este antecedente confirma que las fibras de eucalipto mejoran la resistencia del suelo, reforzando la hipótesis planteada en coherencia con la Norma E.080. [4]realizaron una investigación sobre Parámetros de resistencia mecánica de muros de tapial con un porcentaje (%) de un volumen de adición con tallos de cebada en Yauli – Huancavelica en el 2021, en la Universidad Continental. El estudio tuvo como finalidad determinar su incremento de dichos parámetros de resistencia mecánica en los muros de los tapiales al poner los diferentes porcentajes en volumen de tallos de cebada al (10 %, 15 % y 20 %), comparados con una muestra patrón de 0 %. Para ello se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, tracción indirecta y flexión, a fin de establecer la dosis óptima de adición. La investigación llegó a las siguientes conclusiones: pues al adicionar 15 % de tallos de cebada, la resistencia mecánica de los muros del tapial se incrementó de manera favorable, mientras que con 20 % la resistencia disminuyó. Su resistencia a compresión pasó de 11.57 kgf/cm² (1.14 MPa) en la muestra patrón a 20.71 kgf/cm² (2.03 MPa) en la dosis óptima. Este estudio evidencia que existe una proporción óptima de refuerzo vegetal, lo cual orienta nuestro diseño experimental según los parámetros de la Norma E.080. [5]Realizaron una investigación de Reforzamiento

estructural con mallas ecológicas para los muros de adobe en las viviendas de San Pedro de Huacharan, Chíncha, Ica, en la Universidad César Vallejo. Dicho objetivo fue analizar este reforzamiento estructural en los muros de adobe utilizando mallas ecológicas de caña carrizo chancada, fijadas con clavos, con la finalidad de incrementar la resistencia a la compresión diagonal y la flexión. La adición de mallas ecológicas de caña carrizo tuvo un impacto positivo en los muros de adobe, evidenciado en los ensayos de flexión y compresión diagonal. Los muros reforzados alcanzaron valores de resistencia superiores respecto a los muros de adobe sin refuerzo, mostrando la viabilidad de esta técnica como una solución económica y accesible para mejorar la seguridad estructural de las viviendas rurales. Este antecedente sustenta la eficacia de refuerzos ecológicos en muros de tierra, alineándose con los criterios sostenibles de la Norma E.080.

B. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

En el trabajo, “Consolidación de adobe con fibras de bambú Granada – Nicaragua” [6] con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas de los tapiales, usando fibras de bambú. La incorporación de fibras de bambú en las muestras de adobe mejoró significativamente la resistencia a la compactación simple. Se concluyó que la tierra característica de Granada (talpuja), combinada con fibras de bambú, permitió superar los estándares normativos, siendo la mezcla 2 (1 % grava, 61 % arena y 38 % finos), la que su resistencia aumentó, 11.5 y 15.62 kgf/cm². Este estudio respalda el uso de materiales livianos sin comprometer la resistencia, coherente con los principios de construcción sostenible de la Norma E.080. En la investigación, “El tapial alivianado”, realizado por [7] cuyo objetivo fue proponer una técnica innovadora que permita reducir el peso propio de los muros de tapial a comparación de la fabricación tradicional de estos, así mismo, se usó diferentes variaciones de composición- Para ello, se elaboraron 116 muestras de distintos tamaños y formas, de las cuales 50 incluyeron materiales como policloruro de vinilo (PVC), poliestireno expandido (EPS) y cabuya, además de 66 ejemplos adicionales entre muretes y probetas. Los resultados demostraron que es posible obtener muros de tapial más ligeros sin comprometer sus propiedades físicas y mecánicas, impulsando así el rescate de esta técnica ancestral con criterios de sostenibilidad y ahorro de material. [8] realizó una investigación de caracterización mecánica del tapial y su aplicación a estructuras existentes mediante el uso de ensayos no destructivos, en la Universidad de Granada. El objetivo fue evaluar la viabilidad del uso de ensayos no destructivos sobre estructuras de tapial, como método de obtención de las propiedades mecánicas del mismo. Llegando a la conclusión que los datos obtenidos permitieron conocer en mayor profundidad el tapial, como un material tan abundante y con mucha capacidad. Esto coincide con lo establecido en la Norma E.080, que exige la evaluación de densidad, resistencia

y contenido de humedad para garantizar la calidad del material utilizado en muros de tierra. [9] en su trabajo: “análisis del comportamiento físico-mecánica de muros en tapia pisada con inclusión de biomasa residual” El análisis del comportamiento físico-mecánico de muros de adobe pisada construidos en Santander con restos de biomasa de cultivos de larga duración, y calcular el % de contribución de la biomasa al comportamiento térmico de la tapia. El comportamiento mecánico de los cubos mejoró durante la fase de ensayo de resistencia a compresión simple cuando se utilizaron porcentajes de biomasa que oscilaban entre el 10% y el 20%. [10] realizó una investigación de: Revestimiento optimizado para muros de tapial. Su objetivo fue mejorar la durabilidad y acabado de los muros de tierra apisonada mediante la aplicación de un recubrimiento a base de tierra estabilizada con el cemento y cal. Para ello diseñaron y elaboraron un muro de tapial al que se le agregó este compuesto en sus caras, con el fin de poder incrementar su resistencia frente a estos factores climáticos, que son los principales causantes del deterioro del sistema. Su aporte resulta esencial, ya que la Norma E.080 recomienda proteger los muros de tierra mediante recubrimientos o tratamientos superficiales que aumenten su vida útil.

V. HIPÓTESIS

El uso de hojas de eucalipto como refuerzo natural en la construcción de tapiales mejora significativamente la resistencia a la compresión y la durabilidad de los muros en comparación con los tapiales convencionales.

VI. METODOLOGÍA

6.1 FABRICACIÓN DE LAS LÁMINAS DE EUCALIPTO

- PASO 1: Para la fabricación de las láminas de eucalipto se utilizó 300 hojas recolectadas en la zona de Chim Chim, además, se añadió 5.4 litros de agua para poder hacer la mezcla.
- PASO 2: Seleccionamos las hojas y limpiamos para eliminar las impurezas y contaminantes directos.
- PASO 3: Después de tener los materiales listos, procedemos a realizar la mezcla dentro de una bandeja metálica, ayudándonos de una licuadora para triturar las hojas y mezclarlas con el agua. Además, con ayuda de un bastidor drenamos el agua para poder aprovechar al máximo la fibra del eucalipto.
- PASO 4: Una vez licuado se realizó el procedimiento de mezclado manual de forma vigorosa hasta obtener una mezcla homogénea y libre de grumos.
- PASO 5: El secado se realizó a temperatura ambiente en patio bajo techo para protegerlo de las lluvias, el tiempo de secado fue de 3 días, garantizando un entorno libre de contaminantes, es decir sin contacto directo con el suelo y colocando las muestras sobre una base no absorbente para evitar la pérdida de humedad.
- PASO 6: Se desmoldó el papel del bastidor con mucho cuidado de dañarlo o agrietarlo, buscando la uniformidad para cada lámina.

- PASO 7: Con ayuda de una tijera se procedió a recortar las láminas de papel con dimensiones de 12.5 cm x 12.5cm para ser agregadas dentro de las muestras de tapial reforzadas con láminas de eucalipto.

6.2 FABRICACIÓN DE LOS TAPIALES SIN LÁMINAS DE EUCALIPTO

- PASO 1: Se adquirió moldes prismáticos de vidrio para la compactación de los tapiales.
- PASO 2: Con las dimensiones de 12.5cm x 12.5cm x 12.5cm.
- PASO 3: Se tamizó un total de 3.5kg de tierra por el tamiz N°40 para tener una mejor distribución de las partículas, además de limpiar toda impureza.
- PASO 4: Se calculó el contenido óptimo de agua obteniendo un 11.83% para lograr una buena compactación y lograr una densidad máxima mejorando la resistencia de cada uno de los tapiales.
- PASO 5: Procedimos con la compactación de los tapiales, utilizando 5 capas por tapial con 56 golpes por cada, buscando la uniformidad y una buena compactación para cada uno de los tapiales.
- PASO 6: Finalmente dejamos secar a temperatura ambiente en un periodo de 5, 10 y 15 días calendarios, ubicadas en la azotea bajo una cubierta protectora que evitó su exposición a impurezas y a fenómenos climáticos como la lluvia, el sereno u otros agentes externos.

6.3 FABRICACIÓN DE LOS TAPIALES CON LÁMINAS DE EUCALIPTO

- PASO 1: Se adquirió moldes prismáticos de vidrio para la compactación de los tapiales.
- PASO 2: Se utilizó moldes de vidrio de 12.5cm x 12.5cm.
- PASO 3: Se tamizó un total de 3.5kg de tierra por el tamiz N°40 para tener una mejor distribución de las partículas, además de limpiar toda impureza.
- PASO 4: Se calculó el contenido óptimo de agua obteniendo un 11.83% para lograr una buena compactación y lograr una densidad máxima mejorando la resistencia de cada uno de los tapiales.
- PASO 5: Se mezcló el suelo con el agua óptima hasta alcanzar una consistencia uniforme antes de la compactación.
- PASO 6: Procedimos con la compactación de los tapiales, utilizando 5 capas por tapial con 56 golpes por capa. Además, se agregó 1 lámina de eucalipto por capa.
- PASO 7: Finalmente dejamos secar a temperatura ambiente en un periodo de 5, 10 y 15 días calendarios, ubicadas en la azotea bajo una cubierta protectora que evitó su exposición a impurezas y a fenómenos climáticos como la lluvia, el sereno u otros agentes externos.

6.4 PROCESO DE DESMOLDE

- Con mucho cuidado procedemos a desmoldar utilizando guantes y lentes como EPP ya que utilizaremos un cúter para desmoldar los prismas de vidrio, buscando no dañar los tapiales.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los ensayos de EMS fueron realizados en el campus universitario de la Universidad Privada del Norte, sede Cajamarca, para determinar las propiedades del suelo en estudio teniendo en cuenta los lineamientos de la Norma Técnica E.080-Diseño y Construcción con Tierra Reforzada.

7.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL PAPEL DE EUCALIPTO

Tabla 1: Propiedades físicas de la lámina de eucalipto

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA LAMINA DE EUCALIPTO	
Color	Marrón Verdoso
Espesor	0.8mm
Resistencia	Alta (no se rasga fácilmente)
Absorción	Moderada (Absorbe agua sin desintegrarse)

Nota: Se observa las propiedades de la lámina de eucalipto favorable para mejorar la resistencia del tapial.

7.2 CONTENIDO DE HUMEDAD

Tabla 2: Contenido de humedad

CONTENIDO DE HUMEDAD					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de la tara	-	A	B	C
B	Peso del recipiente	gr	35.87	36.00	36.55
C	Peso del recipiente + Peso natural	gr	202.91	202.22	204.04
D	Recipiente + material seco	gr	175.26	174.8	176.2
E	Peso del material húmedo (Wmh)=C-B	gr	167.04	166.22	167.49
F	Peso del material seco (Wmh)=D-B	gr	139.73	138.8	139.65
W%	Porcentaje de humedad (E-F/F) *100	gr	19.54	19.75	19.93
W%(Prom)		gr	19.74%		

Nota: Se aprecia el contenido de humedad promedio de 3 muestras analizadas de la zona de Chim- Otuzco.

El ensayo de contenido de humedad permitió identificar la cantidad de agua presente en el suelo natural. En el ensayo se obtuvo un valor promedio de 19.74%, lo que indica un nivel de

humedad característicos de suelos arcillosos. (Norma aplicada: ASMT D2216 – Método de ensayo para determinación de contenido de humedad del suelos y roca por secado en horno).

7.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (EN SECO)

Tabla 3: Análisis Granulométricos

Peso muestra seca, Ws		3000		gr	
GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO EN SECO					
Malla	Abertura (mm)	P.R.P (gr)	%RP	%RA	%QP
N°4	4.76	41.65	1.39%	1.39%	98.61%
N°10	2	120.32	4.01%	5.40%	94.60%
N°20	0.84	264.78	8.83%	14.23%	85.77%
N°30	0.59	310.35	10.35%	24.58%	75.42%
N°40	0.42	268.55	8.95%	33.53%	66.47%
N°60	0.25	209.13	6.97%	40.51%	59.49%
N°100	0.15	284.2	9.48%	49.98%	50.02%
N°200	0.074	300.7	10.03%	60.01%	39.99%
CAZOLETA	0	1199.35	39.99%	100.00%	0.00%
TOTAL			2999.03		

Nota: Se aprecia la granulometría de tamizado en seco de nuestra muestra.

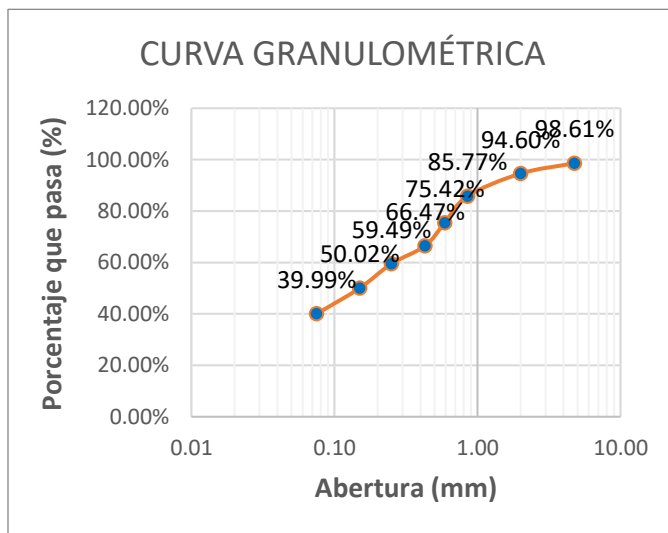


Gráfico 1: Curva Granulométrica

El ensayo de granulometría en seco permitió determinar la distribución de tamaños de partículas que conforman el suelo. Los resultados obtenidos permitieron clasificar al suelo por

ASSHTO dando un suelo limoso perteneciente al **Grupo A-4(0)**.

7.4 LÍMITES DE CONSISTENCIA (LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO)

Los límites de Atterberg permitieron identificar la plasticidad del suelo.

7.4. 1 LÍMITE LÍQUIDO

Tabla 4: Límite Líquido

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND			
A	Recipiente	Nº	LL1	LL2	LL3
B	Peso de la tara	gr	26.97	27.06	27.5
C	S. Húmedo + Recipiente	gr	45.13	42.91	44.05
D	S. Seco + Recipiente	gr	40.83	39.41	40.84
E	Peso Suelo Seco	gr	13.86	12.35	13.34
F	Peso Agua	gr	4.30	3.50	3.21
G	Número de Golpes	N	6	21	33
H	Contenido de Humedad	%	31.0%	28.3%	24.1%
I	Límite Líquido	%	26.65%		

Nota: Se observa el resultado de límite líquido para 3 muestras.

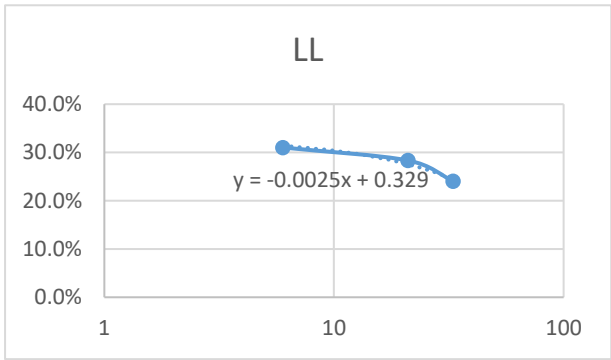


Gráfico 2: Curva de Límite Líquido

El valor del límite líquido (LL) obtenido fue de 26.65%, resultado que demostró que el suelo ensayado es un material de baja plasticidad (LL<50%). (Norma aplicada: ASTM D4318).

7.4. 2 LÍMITE PLÁSTICO

Tabla 5: Límite Plástico

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)				
ID	DESCRIPCIÓN	UND		
A	Recipiente	Nº	LP1	LP2
B	Peso de la tara	gr	29.88	36.32
C	S. Húmedo + Recipiente	gr	31.6	37.71
D	S. Seco + Recipiente	gr	30.83	37.43
E	Peso Suelo Seco	gr	0.95	1.11
F	Peso Agua	gr	0.77	0.28
G	Contenido de Humedad	%	81.05%	25.23%
H	Límite Plástico	%	53.14%	

Nota: Se observa los resultados de límite plástico.

El valor del Límite Plástico es de 53.14% resulta ser mayor que el Límite Líquido que es de 25.65%. Esto nos indica que el Índice de Plasticidad (IP) es negativo (-26.49%). Al ser negativo el IP se interpreta como cero, clasificando el suelo como no plástico. Esta característica sugirió una adecuada manejabilidad y cohesión del material. (Norma aplicada: ASTM D4318-Determinación de los límites de consistencia del suelo).

7.5 ENSAYO PROCTOR

El ensayo realizado en laboratorio fue el de Proctor Modificado, el cual permitió establecer la humedad óptima y la densidad máxima seca del suelo. En la base al ensayo se obtuvo una humedad óptima de 11.83% y una densidad máxima seca de 1.63g/cm³, datos que reflejan la capacidad del material para alcanzar un grado de compactación ideal durante la ejecución de los tapiales. (Norma aplicada: ASTM D-1557).

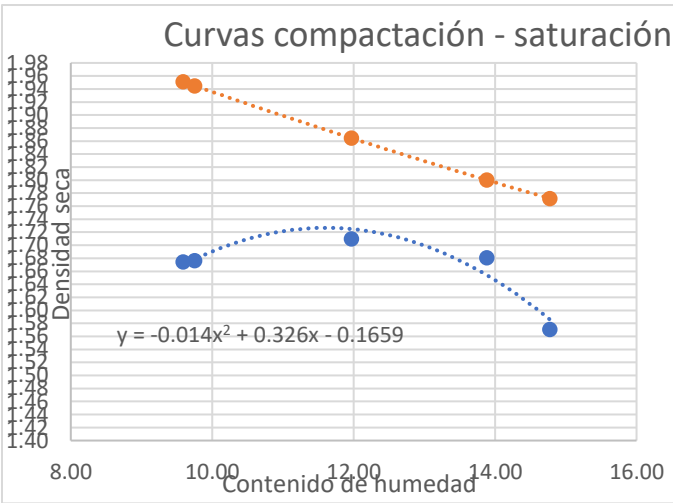


Gráfico 3: Curvas Ensayo Proctor Modificado

7.6 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

En nuestra investigación se probó la resistencia a la compresión de 18 muestras de tapial con y sin láminas de eucalipto, lo cual nos ayudó a comprobar y demostrar si nuestra hipótesis fue viable o no.

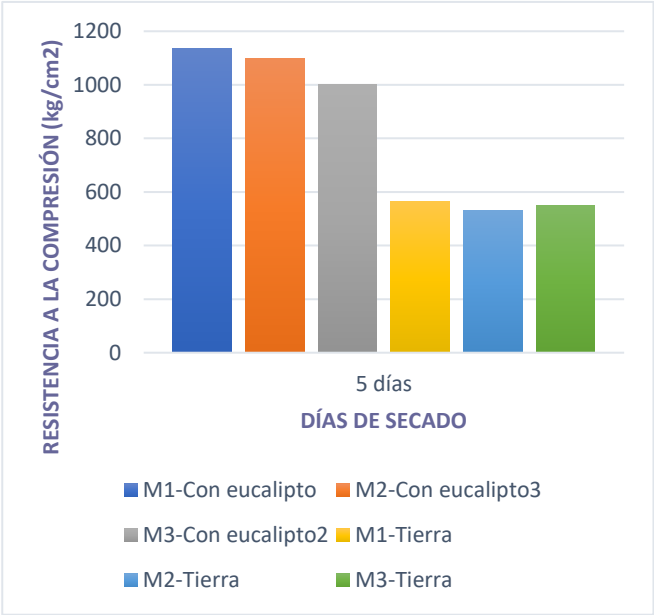


Gráfico 4: Resistencia a la compresión a los 5 días

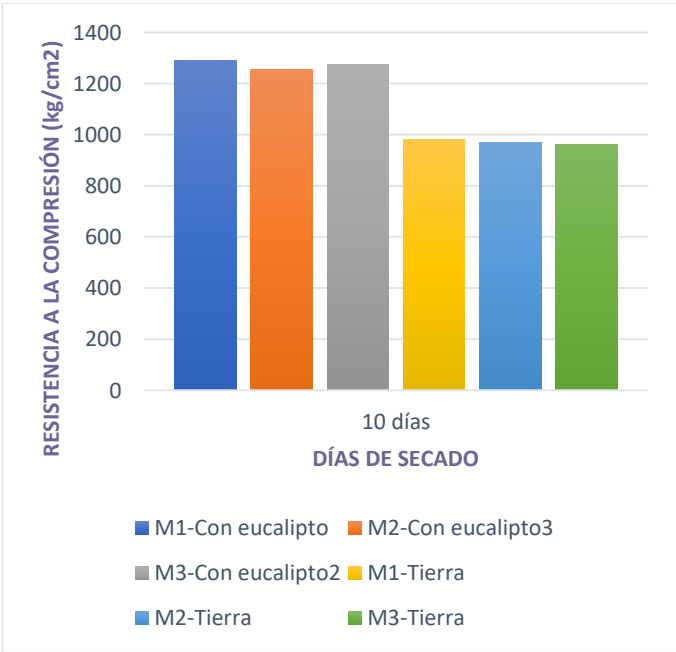


Gráfico 5: Resistencia a la compresión a los 10 días de las muestras.

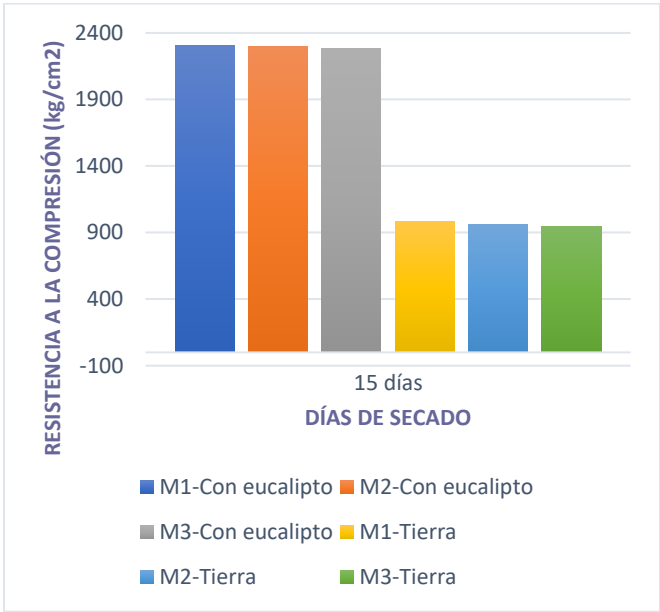


Gráfico 6: Resistencia a la compresión a los 15 días de las muestras

Los tapiales con láminas de eucalipto mejoran la resistencia a la compresión a los 15 días, con su muestra de 2304 kg/cm² como se indica en la figura 6, a comparación de los tapiales sin laminas que solo alcanzan su máxima resistencia a los 986kg/cm². Esto confirma la eficacia del eucalipto como material fuerte y estable.

7.7 CUADROS DE CARGA MÁXIMA

Tabla 6: Cuadro de Carga Máxima a los 5 días.

CARGA MAXIMA	5 DIAS	
	M1	M1 + 4 % EUC
MUESTRA 1	566	1137
MUESTRA 2	532	1100
MUESTRA 3	548	1000
SUMATORIA	1646	3237
Promedio	548.666667	1079
Nivel %	100%	x 196.66%

Nota: Ha mejorado la resistencia promedio de la evaluación a los 5 días con la adición al 4% de 96.66% adicional de la resistencia máxima de carga en su ensayo de compresión.

Tabla 7: Cuadro de Carga Máxima a los 10 días.

CARGA MAXIMA	10 DIAS		
	M1	M1 + 6 % EUC	
MUESTRA 1	982	1289	
MUESTRA 2	970	1255	
MUESTRA 3	963	1276	
SUMATORIA	2915	3820	
Promedio	971.666667	1273.333333	
Nivel %	100%	x	131.05%

Nota: Ha mejorado la resistencia promedio de la evaluación a los 10 días con la adición al 6% de 31.05% adicional de la resistencia máxima de carga en su ensayo de compresión.

Tabla 8: Cuadro de Carga Máxima a los 15 días.

CARGA MAXIMA	15 DIAS		
	M1	M1 + 8 % EUC	
MUESTRA 1	986	2304	
MUESTRA 2	962	2296	
MUESTRA 3	949	2284	
SUMATORIA	2897	6884	
Promedio	965.666667	2294.666667	
Nivel %	100%	x	237.63%

Nota: Ha mejorado la resistencia promedio de la evaluación a los 15 días con la adición al 8% de 137.63% adicional de la resistencia máxima de carga en su ensayo de compresión.

7.8 CUADRO DE ANÁLISIS DE COSTOS

Tabla 9: Análisis de costos en la producción de adobes con y sin refuerzo de eucalipto

CONCEPTO	Adobe Patrón (S/.)	Adobe con Eucalipto (S/.)
Material (suelo local/Kg)	18	18
Eucalipto (láminas/Kg)	0	10-15
Agua (litros)	3	3
Moldes (vidrio)	30	30
Bastidor (estructura de apoyo)	-	25
Ensayos de laboratorio	-	-
Transporte de materiales-15km	75	75
Mano de obra/herramientas	68	68
Insumos adicionales	20	20
Hojas de registro	5	5
Total, estimado	219	244

Nota: Se ha contemplado un costo unitario referencial para cada concepto, considerando condiciones locales de obtención de materiales, transporte y proceso constructivo.

7.9 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La durabilidad del tapial reforzado no depende únicamente de su resistencia inicial, sino también de las condiciones ambientales propias del lugar de estudio. Factores como la humedad, la variabilidad térmica, las precipitaciones y los ciclos de secado-humedecimiento influyen directamente en su comportamiento a lo largo del tiempo, especialmente al incorporar un material orgánico como el eucalipto. En el contexto de Chim Chim–Otuzco, estas condiciones pueden afectar progresivamente el desempeño del material, por lo que su aplicación debe evaluarse considerando el entorno, la disponibilidad de recursos y las condiciones de uso. En concordancia con la Norma Técnica E.080, el empleo de materiales locales resulta adecuado; sin embargo, su uso no es universal, ya que depende de las características del suelo y del clima, lo que limita su replicabilidad en zonas con condiciones distintas.

Si bien los resultados obtenidos evidencian mejoras en la resistencia del material, la investigación presenta limitaciones que deben ser consideradas. En particular, la ausencia de ensayos más completos, como el triaxial, restringe una caracterización geotécnica más precisa del suelo. Por ello, el presente trabajo se plantea como una base experimental inicial, dejando abierta la posibilidad de ser complementado con futuros estudios que incluyan una mayor cantidad de muestras, ensayos de durabilidad a largo plazo y la incorporación de estabilizantes o aglomerantes. Estas mejoras permitirán fortalecer la validez de la propuesta y ampliar su aplicación dentro del marco de la ingeniería geotécnica y la construcción con tierra.

VIII. CONCLUSIONES

Se concluyó que el uso de láminas de eucalipto como refuerzo en bloques de tapial resultó ser muy favorable ya que los ensayos demostraron que el material mejora la resistencia del tapial cumpliendo con los criterios establecidos por la norma técnica E-080 para edificaciones de tierra reforzada ya que los valores de resistencia alcanzaron los 2304 kg/cm² superando el mínimo exigido por la norma (20 kg/cm²).

Concluimos que las hojas de eucalipto permitieron aprovechar un recurso natural local, transformándolas en un esfuerzo con buena capacidad mecánica. Su uso favoreció el aprovechamiento sostenible de los recursos de la zona, reduciendo la dependencia de materiales industriales y promoviendo una opción ecológica y económica para las construcciones rurales.

A través de los ensayos de laboratorio realizados según las normas ASTM D2216, D4318 y D1557, y a los lineamientos de la norma E-080, pudimos asegurar los resultados obtenidos. El suelo de chim chim presentó una densidad máxima seca de 1.63 g/cm³ y una humedad óptima de 11.83 %, clasificándose como limoso A-4(0), los valores se ubicaron dentro de los parámetros que exigen la norma, la cual recomienda una densidad superior a 1.60 g/cm³ y una humedad comprendida entre 10% y 15% con esto demostramos que el suelo reúne las condiciones

necesarias para la construcción de tapiales, garantizando una buena compactación y un comportamiento estructural estable.

Se concluyó que a través del ensayo de resistencia a la compresión las láminas de eucalipto incrementaron notablemente su capacidad portante del tapial a los 15 días de secado, los bloques con refuerzo alcanzaron 2304 kg/cm², mientras que los bloques sin refuerzo solo registraron 986 kg/cm², esta diferencia nos permitió evidenciar la eficiencia de las hojas de eucalipto como refuerzo natural confirmando así su capacidad para mejorar el desempeño estructural de material. Por esta razón validamos nuestra hipótesis inicial, sin embargo, se recomienda para futuras investigaciones considerar la realización del ensayo triaxial, que por motivo de tiempo no se logró realizar en la presente investigación.

Concluimos que después del transcurso de periodo de secado de 5, 10 y 15 días, los bloques reforzados llegaron a presentar un aumento progresivo de resistencia, por otro lado, los bloques sin refuerzo tendieron a estabilizarse de forma temprana. Con esto podemos indicar que el eucalipto favoreció la cohesión interna y el secado uniforme del material, reduciendo así la posibilidad de fisuras y mejorando la durabilidad y estabilidad del tapial en el tiempo.

Por incremento de la lámina de eucalipto hemos podido visualizar que la resistencia incrementa aún más en el porcentaje, habiendo mejorado la resistencia promedio en su ensayo de compresión con un 96.66% adicional a los 5 días (4%), un 31.05% adicional a los 10 días (6%) y un 137.63% adicional de la resistencia máxima de carga a los 15 días con la adición al 8%.

IX. AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad Privada del Norte y al laboratorio de mecánica de suelos por brindarnos el espacio y los recursos necesarios para llevar a cabo los ensayos necesarios para nuestra investigación. Además, expresamos nuestro reconocimiento al ing. CARLOS ENRIQUE DE LA CRUZ YOPLA, por su orientación y aportes técnicos que fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] F. C. Belzusarri, Parámetros de resistencia mecánica de muros de, 2021.
- [2] G. S. Alvarez Espinoza, Influencia de fibras de Eucalipto en el comportamiento mecánico de muros, 2022.
- [3] B. I. I. Alexander, Influencia de la Integración de Fibras Naturales de, 2023.
- [4] A. O. Yaurimo, Parámetros de resistencia mecánica de muros de, 2021.
- [5] J. I. Ecos Vásquez, Reforzamiento estructural con mallas ecológicas para muros de adobe en viviendas de San Pedro de Huacarpana, Chinchá, Ica, 2022.
- [6] L. J. Moreno, Estabilización de adobes con fibras de bambú.
- [7] X. R. Cárdenas Haro, El tapial alivianado.
- [8] I. Arto Torres, Caracterización mecánica del tapial y su aplicación a estructuras existentes mediante el uso de ensayos no destructivos, 2021.
- [9] M. F. N. Giraldo, análisis del comportamiento físico mecánico de muros en tapia pisada con inclusión de biomas residual, 2018.
- [10] D. Vacacela Quizhpe, revestimiento optimizado para muros de tapial, 2023.
- [11] S. P. M. Pérez, «Durabilidad y caracterización mecánica de tapiales con fibra de cal y caña de azúcar,» 2025.
- [12] J. V. Neumann, «Knowledge exchange for innovation in the vernacular rammed earth technique, Perú,» 2015.
- [13] A. A. C. Alvarez, «El tapial alivianado,» 2017.
- [14] L. M. Ramos, «La técnica del tapial en la Comunidad Autónoma de
- [15] Madrid. Aplicación de nuevos materiales para la consolidación de muros de tapia,» 2020.
- [16] A. V. Mag, «Paredes de tapial y su industrialización (encontrados y sistemas de compactación),» 2021.