



Evaluación técnica de un panel aislante aglomerado basado en semillas de papaya

Technical evaluation of an insulating composite panel based on papaya seeds

Fecha de entrega: 7 de diciembre 2024

Fecha de aceptación: 28 de abril 2025

Franklin Ogalde y Amin Nazer

Universidad de la Serena, Departamento de Ingeniería en Construcción, Campus Ignacio Domeyko, Benavente 980, La Serena, Chile, franklineduardo.ogalde@userena.cl, amin.nazerv@userena.cl (Orcid: 0000-0002-0176-2344)

El crecimiento demográfico impulsa la producción agroindustrial, generando una gran cantidad de residuos orgánicos que comprometen los ecosistemas. Entre estos residuos, la semilla de papaya surge como un recurso muy interesante para fabricar paneles aglomerados, ofreciendo una alternativa a los paneles de madera y reduciendo la explotación de recursos forestales. Este estudio evalúa algunas propiedades físicas y mecánicas de muestras prismáticas de semillas de papaya combinadas con agua y un adhesivo comercial, además de fabricar y probar un prototipo de panel estructural aislado (SIP). Los resultados indican que, a pesar de su alta absorción e hinchamiento, las muestras con 55% de adhesivo y pre-humectadas mostraron mayor resistencia a la flexión y compresión. Así, los paneles de semillas de papaya podrían reutilizar este residuo de manera sostenible, reduciendo el impacto ambiental y valorizando un residuo agroindustrial.

Palabras clave: semillas de papaya, residuo agrícola, aglomerado, construcción

The demographic growth drives agro-industrial production, generating a large amount of organic waste that compromises ecosystems. Among these residues, papaya seeds emerge as a highly interesting resource for manufacturing particleboard panels, offering an alternative to wooden panels and reducing the exploitation of forest resources. This study evaluates some physical and mechanical properties of prismatic samples made from papaya seeds combined with water and a commercial adhesive, in addition to manufacturing and testing a prototype of a structural insulated panel (SIP). The results indicate that, despite their high absorption and swelling, samples with 55% adhesive and pre-moistening showed greater flexural and compressive strength. Thus, papaya seed panels could sustainably reuse this waste, reducing environmental impact and adding value to an agro-industrial residue.

Keywords: papaya seeds, agricultural waste, particleboard, construction

Introducción

Los residuos orgánicos, incluyendo el desperdicio alimentario, representan el 44% de la generación mundial de desechos sólidos (Kaza *et al.*, 2018). Estos residuos, generados por diversas industrias y actividades humanas, constituyen una fuente abundante y renovable de materia prima que, mediante un adecuado procesamiento y tratamiento, pueden transformarse en productos de valor agregado para su reutilización en la construcción. El aumento de la población a nivel mundial conlleva a un incremento en la producción agroindustrial, lo que genera una mayor cantidad de desechos. Estos normalmente son enviados a vertederos, cuya acumulación causa impactos negativos al medio ambiente, ya que pueden contaminar

el suelo debido a los procesos de descomposición y generación de emisiones de gases de efecto invernadero.

Con el objetivo de reciclar residuos agrícolas y orgánicos para desarrollar materiales alternativos que respondan a la alta demanda de madera, se han intensificado los estudios dirigidos a optimizar el aprovechamiento de estos residuos para transformarlos en materia prima. Diversas investigaciones han logrado desarrollar sustitutos para las partículas de madera, como los huesos de ciruela (Şahinöz *et al.*, 2023), cáscaras de arroz (Islam *et al.*, 2017), paja de arroz (Yang *et al.*, 2003; Lawanwadeekul *et al.*, 2024) y cáscaras de nuez (Barbu *et al.*, 2020; Parodi Miranda, 2018; Nazer y Acosta, 2023), entre otros residuos orgánicos. Estos se consideran fuentes alternativas para la fabricación

de tableros aglomerados. Ahora, en esta investigación se propone explorar un nuevo residuo orgánico: la semilla de papaya. Cabe destacar que la literatura científica existente sobre el uso de semillas de papaya en la producción de aglomerados es nula, lo que resalta la innovación de esta propuesta.

La semilla de papaya es un residuo orgánico que puede resultar útil como un recurso en la fabricación de paneles aglomerados alternativos. Estas semillas tienen diversos usos, aunque limitados, principalmente en las industrias de la farmacéutica y cosmética. En ocasiones, se las considera un desecho o se las emplea como fertilizante orgánico para mejorar la calidad del suelo, además, se utiliza como alimento para animales especialmente para aves y caprinos. La papaya es una fruta tropical que se encuentra ampliamente distribuida en el mundo, y pertenece a la familia de plantas conocida como Caricaceae, el cual forma parte de 6 géneros y comprende 35 especies que se cultivan en diferentes regiones, adaptándose a diversas condiciones climáticas (Hueso *et al.*, 2015). Se estima que la especie se originó hace aproximadamente 25 millones de años en alguna zona de Mesoamérica (Carvalho y Renner, 2015). La papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*) se cultiva y crece en climas más fríos y con producción máxima entre los meses de noviembre y febrero (Moya-León *et al.*, 2004). La especie fue introducida en Chile hace más de 50 años y actualmente se cultiva en los valles de Coquimbo y Valparaíso y a lo largo de la costa de la Región del Maule (Morales-Quintana *et al.*, 2011). En esta última región, la papaya es más pequeña y firme, con pulpa de color verde amarillento, su atractivo sensorial es su fuerte y característico aroma. La papaya en su interior posee una numerosa cantidad de semillas, las cuales están envueltas por un arilo transparente. Estas son de forma ovalada, miden aproximadamente 8 mm de largo por 4 mm de ancho, y tienen crestas de hasta 1 mm de altura. Su color es café, mientras que el endospermo es blanco (Muñoz, 1988).

En la Figura 1, se muestra la producción de papaya en el mundo y en Chile durante el período comprendido entre 2015 y 2022. En ella se puede apreciar un aumento a nivel mundial de la producción, pero no ocurre lo mismo en Chile, donde según lo señalado por Salvatierra y Jana (2014), ha ocurrido una disminución en la producción

debido a diversos factores, tales como los eventos climáticos, sequías, heladas, baja superficie plantada y avance de urbanización hacia zonas aptas para el cultivo. En 2022, la producción global de papaya alcanzó los 13.8 millones de toneladas (FAO, 2003). La producción de papaya en Chile ha experimentado un leve descenso sostenido a lo largo del tiempo, pero aun así, ha logrado mantenerse produciendo en 2015 alrededor de 2700 ton en una superficie de 164 ha (hectáreas). Para el año 2022, esta cifra se redujo a aproximadamente 2100 ton en una superficie de 136 ha, lo que representa una disminución de aproximadamente 19.3%.



Figura 1: Producción de papaya en Chile y el mundo en el periodo 2015-2022.

Durante el procesamiento de la papaya, se separa la parte comestible de las semillas de papaya. La fruta tiene un rendimiento comestible del 46% y posee un contenido de azúcar de solo un 5%, y se caracteriza principalmente por su alto contenido en papaína (Moreno *et al.*, 2004). Por otra parte, los autores del presente estudio verificaron que las semillas representan el 32% del peso total en estado húmedo, porcentaje que desciende a un 19% cuando ya se encuentran secas.

Considerando la producción mundial de papaya durante el periodo 2015-2022 mostrado en la Figura 1 y basados en el indicador presentado anteriormente, se estima que se generaron alrededor de 35 millones de toneladas de semillas de papaya en todo el mundo, cifra que incluye el aporte de la producción chilena en algo más de 6 mil toneladas en ese mismo lapso. La Figura 2 muestra el fruto, la pulpa comestible y las semillas que contiene en su interior.

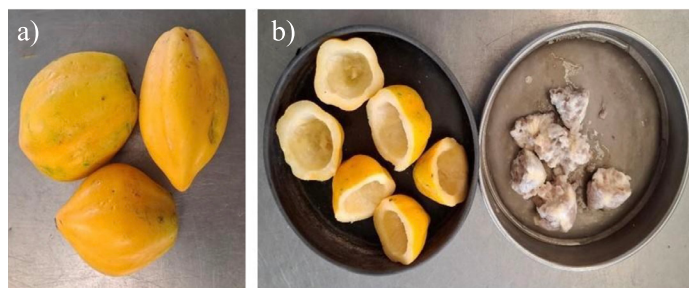


Figura 2: a) Fruto papaya chilena y b) pulpa comestible y sus semillas.

Por otra parte, la alta demanda de la fabricación de tableros de partículas y planchas en el sector de la construcción exige la búsqueda de nuevas materias primas que puedan reemplazar parcial o totalmente las partículas de madera, con el fin de disminuir la presión sobre los recursos forestales. En cuanto a la producción, según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAO, 2023), en 2022 la producción mundial de tableros de partículas y planchas de OSB (Oriented Strand Board) alcanzó aproximadamente 148 millones de m³, lo que representa un aumento del 30% en comparación con el año 2015. La Figura 3 muestra la producción mundial y chilena de tableros de partículas y planchas de OSB durante el período 2015-2022 (FAO, 2023).

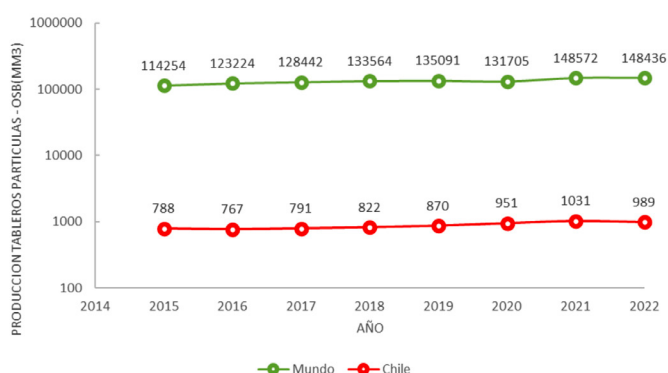


Figura 3: Producción anual de tableros de partículas y OSB en el mundo y Chile en el periodo 2015-2022.

La producción de tableros de partículas y planchas aglomeradas que contienen desechos agrícolas presentan múltiples beneficios. Desde un enfoque sostenible, uno de los más importantes es la reducción de la deforestación promoviendo una mejor gestión de residuos, valorizando subproductos y reduciendo la cantidad de desechos que

terminan en vertederos. Esto a su vez, representa una disminución tanto de la contaminación, como el uso de suelo generando nuevas oportunidades de negocio entre otros beneficios. Por otro lado, desde la perspectiva del producto final, varios estudios demuestran que estos tableros poseen buenas propiedades mecánicas y físicas, son biodegradables, impermeables y poseen cualidades retardantes de fuego. Además, su producción es de bajo costo, lo que los convierte en un producto competitivo en el mercado (Tasdemir *et al.*, 2019).

Otro tipo de tableros conocidos como paneles SIP (Structural Insulated Panel) se utilizan en el mercado de la construcción nacional. Consiste en un material con propiedades estructurales y térmicas, es del tipo sándwich utilizado como elemento estructural en muros y pisos (Smith, 2011). Está conformado por dos capas de material estructural, generalmente de tableros OSB o tableros de partículas, que encierran un núcleo de material aislante, comúnmente espuma de poliestireno expandido. Sin embargo, a pesar de sus beneficios, la elaboración de estos paneles SIP presenta desafíos ambientales, entre ellos el alto consumo de madera y virutas para la fabricación de los tableros. En base a esta problemática, se busca impulsar el uso de materiales alternativos para mitigar estos impactos ambientales y así, no depender exclusivamente de los recursos madereros.

En este contexto, el objetivo del presente estudio fue la fabricación de paneles aglomerados tipo SIP utilizando semillas de papaya como materia prima alternativa a las partículas de madera, unidas con un adhesivo comercial.

Materiales

Semillas de papaya

En el estudio se utilizaron 35 kg de semillas de papaya de la variedad *vasconcellea pubescens* aportadas por la empresa alimentaria Productos Lili, ubicada en el sector Las Compañías de la comuna de La Serena, Chile. La Figura 4 muestra las semillas de papaya deshidratadas.

Adhesivo

Para la unión de las partículas trituradas de la semilla de papaya, se usó un adhesivo aglomerante tipo cola extra rápida para madera libre de solventes. Este producto está



Figura 4: Muestra de las semillas de papaya deshidratadas.

compuesto de resina sintética en base a polivinilacetato (PVAc). Presenta una densidad de 1.14 g/cm^3 , rendimiento de 4 a $5 \text{ m}^2/\text{kg}$, con un espesor de película aprox. 0.2 mm .

Desmoldante

Para facilitar el proceso de desmolde de las muestras a ensayar, se utilizó un producto comercial de consistencia acuosa e incolora.

Agua destilada

Los ensayos de absorción e hinchamiento se realizaron utilizando agua destilada.

Poliestireno expandido

En la fabricación del prototipo de panel SIP se empleó un aislante comercial con una densidad de 15 kg/m^3 y un espesor de 50 mm .

Metodología

Las semillas de papaya recolectadas se trasladaron al laboratorio de ensayos de la Universidad de La Serena en sacos de polipropileno para su secado natural. El proceso de secado se desarrolló mediante la distribución de las muestras sobre una malla mosquitera, formando una capa delgada de no más de un centímetro de espesor. Esta técnica permitió una exposición solar controlada durante una semana, realizando volteos cada dos días para garantizar una deshidratación uniforme y prevenir la aparición de hongos. Posteriormente, las muestras se sometieron a una deshidratación adicional en un horno eléctrico a una temperatura de $40^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ hasta

obtener una masa constante. Luego, se realizó un ensayo granulométrico por tamizado para conocer la distribución del tamaño de partículas. La muestra presentó una distribución muy homogénea con tamaños predominantes de 2.36 mm . Mediante el método de Fuller-Thompson (fórmula (1)), se buscó determinar la curva granulométrica ideal para minimizar los huecos en la mezcla y obtener una distribución de tamaños de partículas que maximizara la densidad de la muestra.

$$P(d) = (d/D)^n \quad (1)$$

Donde $P(d)$ es el porcentaje acumulado que pasa por el tamiz; d es el tamaño del tamiz en mm, D es el mayor tamaño de la partícula en la mezcla en mm y n es el exponente que generalmente corresponde a 0.5 para obtener una mezcla bien distribuida (no uniforme).

Luego, se prepararon 4 muestras de 100 g de semillas de papaya, y cada una de ellas se trituró durante un tiempo definido de 2, 4 y 5 s. La trituración se realizó en un molino de cuchilla de 1000 W que procesa volúmenes de hasta 0.7 lt , con velocidades entre 2000 y 10000 rpm/min y tiempos de molienda de entre 1 s y 10 min . En la trituración de la muestra, se logró una condición óptima de la materia prima a una velocidad de 3000 rpm/min . Tras realizar los diferentes tiempos de triturado, se efectuó una granulometría utilizando tamices ASTM N° 4, 8, 16, 30, 50 y 100. En la Figura 5, se puede observar la semilla de papaya triturada.



Figura 5: Semilla de papaya triturada.

En la Figura 6, se presenta la curva granulométrica ideal de Fuller-Thompson, junto con las curvas de distribución para los diferentes tiempos de trituración de la semilla de papaya, donde 0 s (M0Seg) corresponde al material de partida sin triturar, M2Seg (semillas trituradas durante 2 s), M4Seg (semillas trituradas durante 4 s) y M5Seg (semillas trituradas durante 5 s), respectivamente.

Tras analizar las curvas granulométricas resultantes, se determinó que la muestra M4Seg ofrece la distribución de tamaños de partículas similar a la curva obtenida por Fuller-Thompson y con la posibilidad de optimizarla mediante una trituración adicional durante 3 s del material retenido en los tamices N° 16 y 30 (M7Seg).

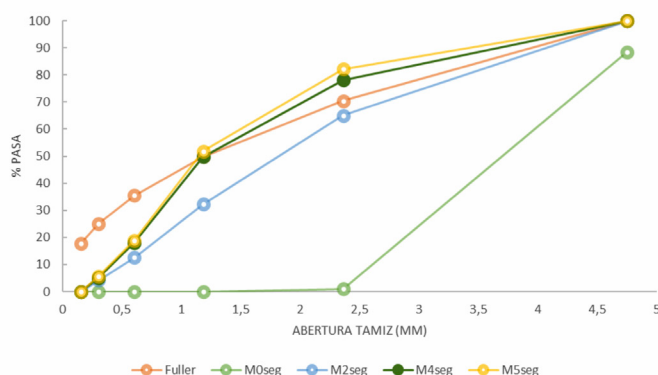


Figura 6: Curva granulométrica de Fuller-Thompson y las curvas de distribución para los diferentes tiempos de trituración.

En la Figura 7, se presentan los resultados de este proceso de trituración adicional. En ella, se puede observar una curva levemente similar a la distribución de partículas ideal.

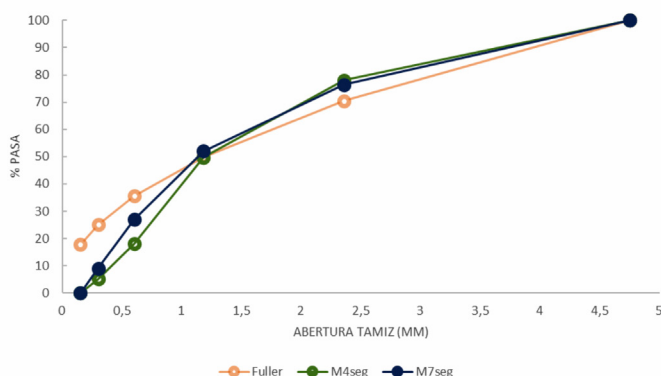


Figura 7: Curva granulométrica ideal de Fuller-Thompson, curva granulométrica de M4Seg y curva con proceso adicional de trituración (M7Seg).

Posteriormente, se buscó establecer la dosificación óptima para la fabricación de los aglomerados utilizando la semilla de papaya triturada M7Seg, incorporando un adhesivo comercial PVAc. El uso del tipo de adhesivo se fundamentó por los resultados obtenidos por Nazer y Acosta (2023), quienes validaron la viabilidad de emplear residuos orgánicos con adhesivo de cola PVAc en la producción de aglomerados obteniendo resultados donde se muestra su estabilidad y capacidad de resistir esfuerzos moderados.

Como parte del proceso experimental, se realizaron pruebas de dosificación preliminares utilizando muestras de 9 g de semilla de papaya triturada M7Seg, combinadas con diferentes porcentajes de adhesivo PVAc. Se preparó un total de 6 muestras variando el porcentaje de adhesivo en relación al peso de la semilla triturada en las siguientes proporciones: 50, 60, 65, 70, 75 y 80%.

Como se presenta en la Figura 8, los resultados muestran las diferentes consistencias logradas según el porcentaje de adhesivo utilizado. Las muestras con porcentajes más bajos (50, 60 y 65%) presentaron un grado de cohesión deficiente, lo cual provocó su desintegración. En contraste, las muestras con porcentajes más altos (70, 75, 80%) alcanzaron una buena adherencia y cohesión significativamente mejores. Sin embargo, estas últimas evidencian un exceso en la proporción de adhesivo, lo que implicaría un aumento en los costos de producción y tiempos de secado más prolongados.



Figura 8: Muestras con diferentes consistencias con distintos porcentajes de adhesivo.

No obstante, dado que las muestras iniciales requerían una cantidad excesiva de adhesivo para la fabricación de aglomerados se buscó una forma de reducirlo. El método propuesto consistió en incorporar pequeños porcentajes de agua para humectar las muestras en proporciones de 15, 17, 19 y 22%. Para cada una de estas proporciones se

realizaron pruebas de aglomeración con porcentajes de adhesivo siguientes: 40, 45, 50 y 55%.

En la Figura 9, se observa que las muestras resultantes presentaron una excelente consistencia, sin evidencia de deterioro ni problemas de cohesión entre las partículas. En el análisis comparativo, se pudo apreciar que las muestras conteniendo 17% de agua presentaron mayor grado de aglomeración y resistencia al punzonado con varilla metálica, resultado que permitió definir la siguiente etapa de fabricación de aglomerados.



Figura 9: Muestras con diferentes consistencias para distintos porcentajes de agua y adhesivo.

La Tabla 1 detalla la nomenclatura y dosificación en peso utilizadas en la fabricación de los aglomerados. Las muestras seleccionadas con 45, 50 y 55% de adhesivo se identificaron como SP 45, SP 50, SP 55, respectivamente.

Tabla 1: Dosificaciones utilizadas en los aglomerados, en gramos.

Material	SP 45	SP 50	SP 55
Semilla de papaya	155.0	150.0	145.0
Agua (17%)	26.4	25.5	24.7
Adhesivo	81.6	87.8	93.3

Seguidamente, se fabricaron los aglomerados. La mezcla se homogeneizó manualmente con una espátula durante 5 min hasta lograr una consistencia uniforme. Para el moldeo, se utilizaron moldes RILEM con tres compartimentos, cada uno de dimensiones 40 mm x 40 mm x 160 mm. Previo al vertido, se aplicó un desmoldante en el interior de los compartimentos. Las mezclas fueron depositadas en tres capas dentro del molde metálico, asegurándose de compactar mediante presión manual cada capa con un pisón metálico de dimensiones 40 x 160 mm. Luego del llenado de los moldes, procurando dejar un sobre volumen, se aplicó una carga fija de 35 kg transmitida mediante una placa metálica sobre la pasta fresca durante 48 h. Finalmente, se niveló la superficie con una espátula recta y se cubrieron las muestras con un film plástico para realizar un curado lento y controlado durante 2 días. En total, se fabricaron muestras en triplicado para todos los ensayos posteriores.

Después de un periodo de curado de 10 días a temperatura ambiente, se desmoldaron las probetas registrando su masa y se llevaron al horno a una temperatura inicial de 40°C ± 5°C durante 120 h, evitando su agrietamiento inicial, para luego aumentarla a 60°C ± 5°C hasta obtener una masa constante.

De acuerdo con la norma ASTM D1037-12 (2020), se realizaron ensayos de absorción, hinchamiento y determinación de la densidad. Para los ensayos mecánicos se utilizó una prensa MATEST *Cyber Plus Evolution*, un equipo con capacidad máxima de 150 kN para flexión y 3000 kN para compresión. Los ensayos de flexión se ejecutaron a una velocidad de carga de 10 kg/s, mientras que los ensayos de compresión se realizaron aplicando una velocidad de carga de 6 kg/cm²/s. En la Figura 10, se pueden observar algunas muestras prismáticas preparadas para los ensayos.

Posteriormente, para fabricar las placas aglomeradas que formarían el prototipo SIP se fabricó un molde metálico con dos compartimentos de dimensiones interiores 300 x 100 mm y 20 mm de espesor. Se evaluó el tiempo de curado y adicionalmente, mediante el punzonamiento con una varilla metálica, se identificó que la muestra SP 55 mostró un mejor comportamiento resistente. El procedimiento de fabricación siguió la metodología presentada anteriormente para las muestras prismáticas, salvo que el llenado en este



Figura 10: Muestras prismáticas de aglomerados de semillas de papayas.

último caso fue solo de una capa. La Tabla 2 presenta la nomenclatura y la composición en peso de los materiales del prototipo de placas SP 55.

Tabla 2: Dosificación utilizada en las muestras aglomerados para fabricación de prototipo de placas, en gramos.

Material	Muestra SP 55
Semilla de papaya	370.0
Agua	62.9
Adhesivo	220.0

A las muestras SP 55 endurecidas se les determinó la densidad seca y la variación de la masa seca respecto de la masa fresca. Adicionalmente, las placas se sometieron a pruebas de aserrado, clavado, lijado y atornillado para verificar su integridad. Finalmente, se fabricó el prototipo de panel SIP utilizando dos placas SP 55, entre las cuales se incorporó un núcleo de poliestireno expandido comercial de 50 mm de espesor. Las capas se unieron al poliestireno mediante adhesivo PVAc, resultando un panel con un espesor total de 90 mm. La Figura 11, muestra el prototipo de panel SIP como producto terminado.

Resultados y discusión

En la Tabla 3, se presentan los resultados de propiedades físicas de las muestras aglomeradas, incluyendo la variación de la masa seca respecto a la masa fresca después del secado en horno, densidad seca, absorción e hinchamiento. En ella, se puede observar que todas las muestras presentan una pérdida de masa en valores similares debida a la deshidratación. Además, las densidades de las muestras aglomeradas oscilan en el



Figura 11: Prototipo de panel SIP con placas SP 55.

rango de 803.9 y 814.5 kg/m³, siendo similares en las muestras SP 45 y SP 50; mientras que SP 55 es levemente inferior, esto podría estar relacionado con diferencias en la composición. La muestra SP 45 tiene un alto porcentaje de absorción (35.5 ± 1.3), indicando una mayor capacidad para retener la humedad. La menor absorción la registró la muestra SP 50 (24.6 ± 2.9), mientras que SP 55 ocupa un lugar intermedio. La muestra SP 45 también presenta un alto porcentaje de hinchamiento (23.2 ± 0.8), lo cual puede estar correlacionado con su mayor capacidad de absorción.

Tabla 3: Variación de la masa, densidad, absorción e hinchamiento de las muestras.

Muestra	SP 45	SP 50	SP 55
Variación masa, %	-16.4 ± 0.5	-17.8 ± 0.4	-17.9 ± 0.3
Densidad, kg/m ³	813.1 ± 2.7	814.6 ± 4.1	803.9 ± 2.9
Absorción, %	35.5 ± 1.3	24.6 ± 2.9	28.9 ± 2.3
Hinchamiento, %	23.2 ± 0.8	18.9 ± 0.2	24.4 ± 0.9

En el análisis comparativo, se observó que la muestra SP 50, presentó el mejor comportamiento tanto en absorción como hinchamiento, en comparación con las demás muestras, lo que puede reflejar una mayor compactación o menor porosidad.

Adicionalmente, un aspecto a destacar es que la totalidad de las muestras aglomeradas mantuvieron su integridad dimensional y no se desintegraron durante los ensayos de absorción e hinchamiento. Es posible mejorar estos resultados aplicando un tratamiento con aditivo

impermeabilizante que proporcione protección en su capa exterior, con el propósito de minimizar la propiedad de absorción.

En la Figura 12, se puede observar que durante el ensayo de resistencia a la flexión las muestras prismáticas presentaron un plano de falla en la zona central, ligeramente inclinado, limpio y sin deterioro. En el ensayo de resistencia a la compresión, se registró una leve deformación que no compromete la integridad de las muestras. Este comportamiento indica una buena cohesión de las partículas y su capacidad para soportar cargas sin deteriorarse. Adicionalmente, mediante un higrómetro de contacto, se constató que las muestras se encontraban completamente secas en su interior, con un porcentaje de humedad de 0%.

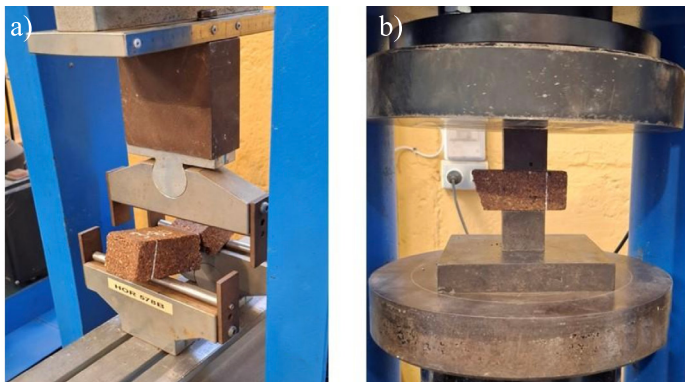


Figura 12: a) Muestra ensayada a la flexión y b) muestra ensayada a la compresión.

En la Figura 13, se muestran los resultados de los ensayos de flexión. Se puede observar que la muestra SP 55 parece tener mejores propiedades mecánicas en términos de resistencia a la flexión, lo que podría estar relacionado con su menor absorción de agua y su hinchamiento moderado. Las muestras SP 45 y SP 50 tienen resistencias similares, lo que sugiere que sus diferencias en densidad, absorción e hinchamiento no impactan significativamente en esta propiedad.

En la Figura 14, se presentan los resultados de los ensayos de compresión realizados en las muestras de aglomerado. La muestra SP 55 tiene la mayor resistencia a la compresión (8.2 MPa), significativamente más alta que las otras dos muestras, lo que refuerza la idea de que es el material más robusto bajo este tipo de carga, mientras que SP 45 y SP 50 presentan valores similares de resistencia a la compresión

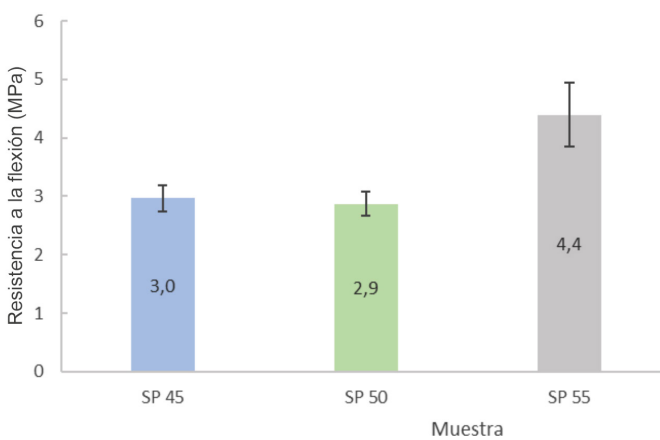


Figura 13: Resistencia a la flexión de aglomerados de semillas de papaya

(6.1 MPa y 6.2 MPa, respectivamente), lo que indica un desempeño resistente prácticamente idéntico. Al igual que en el caso de la flexión, SP 55 supera a las demás muestras en resistencia mecánica, pudiendo estar relacionado con una mayor cohesión estructural o una composición más favorable para resistir cargas. A pesar de sus diferencias en absorción e hinchamiento, SP 45 y SP 50 no presentan diferencias significativas en términos de resistencia a la compresión, reafirmando que estas propiedades no son críticas para este tipo de cargas.

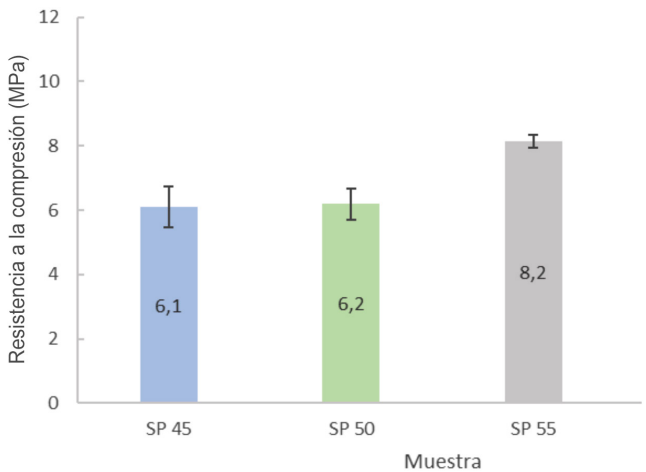


Figura 14: Resistencia a la compresión de aglomerados de semillas de papaya.

Finalmente, tras analizar los resultados, la muestra SP 55 presentó un factor en contra en términos de absorción e hinchamiento, sin embargo, mostró resultados positivos en la resistencia a la flexión y a la compresión superando a las demás muestras ensayadas.

En la Tabla 4, para las muestras aglomeradas en la

fabricación del prototipo de panel SIP se presenta el promedio de la variación de la masa seca respecto a la masa fresca (en %) después de someterlas a secado en un horno. Además, se incluye el promedio de la densidad seca. Los resultados son similares a los obtenidos en las muestras prismáticas presentadas anteriormente.

Tabla 4: Promedio de variación de la masa, densidad para probetas de prototipo Panel SIP

Muestra	Panel SIP - SP 55
Variación masa, %	-15.1 ± 0.5
Densidad, kg/m ³	793.4 ± 2.1

En la Figura 15, se muestra el comportamiento de las muestras tras las pruebas de corte con sierra y fijación mecánica de clavos y tornillos. En la prueba de corte, las muestras mostraron un corte limpio, manteniendo su forma original y sin evidencia de deterioro. En relación con los elementos de fijación mecánica, se identificó una buena capacidad de fijación para los tornillos y clavos, no generando grietas ni daños estructurales alrededor de los puntos de inserción de los elementos de fijación.

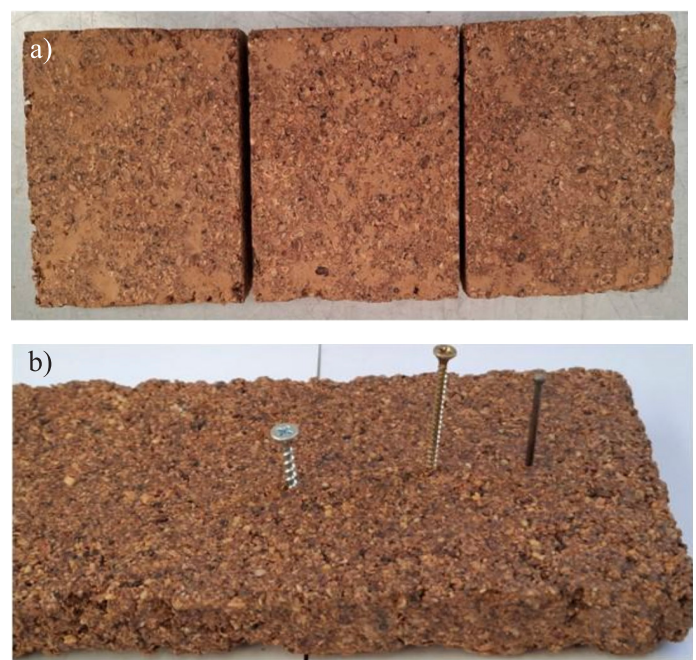


Figura 15: a) Muestra con pruebas de corte y b) muestra con inserción de clavo y tornillos.

Conclusiones

Se fabricaron muestras prismáticas y placas aglomeradas utilizando semillas de papaya como materia prima, combinadas con agua y un adhesivo comercial PVAc,

con el propósito de obtener un prototipo de panel aislante SIP con materiales alternativos que pudieran sustituir a las placas de madera. Se evaluaron algunas propiedades físicas y mecánicas de las muestras de semillas de papaya aglomerada, tales como la absorción, hinchamiento, densidad, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión. Adicionalmente, se sometieron a pruebas de integridad estructural mediante prueba de corte con sierra y evaluación de fijaciones mecánicas con clavos y tornillos.

Se observó que, entre las muestras de semillas de papaya aglomeradas estudiadas, la muestra SP 55 (55% de adhesivo en peso) con un 17% de humedad, mostró un mejor desempeño en términos de resistencia a la flexión y a la compresión. Este método del pre-humectado de las semillas de papaya requirió menos cantidad de adhesivo en comparación a las muestras sin pre-humectar.

A pesar de tener alta absorción e hinchamiento, la muestra SP 55 mostró resultados positivos en la resistencia a la flexión y a la compresión superando a las demás muestras ensayadas, pudiendo estar relacionado con una mayor cohesión estructural o una composición más favorable para resistir cargas.

Los resultados obtenidos sugieren que los paneles aglomerados fabricados con semillas de papaya, podrían ofrecer una alternativa amigable para reutilizar este residuo, especialmente en países donde este fruto es abundante y los residuos de su procesamiento están disponibles en un gran volumen. Esta práctica, no solo permitiría valorizar un desecho que normalmente termina en vertederos, sino que contribuiría a la reducción del impacto ambiental asociado al manejo de estos residuos. Finalmente, resaltar la importancia de continuar investigando para perfeccionar la elaboración de muestras aglomeradas con semillas de papaya, enfocándose en desarrollar técnicas de tratamiento y optimizando las propiedades de este residuo.

Referencias

ASTM D1037-12 (2020). Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. ASTM International, West Coshohocken PA, USA

Barbu, M.C., Sepperer, T., Tudor, E.M. and Petutschnigg, A. (2020). Walnut and hazelnut shells: Untapped industrial resources and their suitability in lignocellulosic composites. *Applied Sciences* 10(18), 6340

- Carvalho, F. and Renner, S.S. (2015). A dated phylogeny of the papaya family (Caricaceae) reveals the crop's closest relatives and the family's biogeographic history. *Molecular Phylogeny, Biogeography and an e-Monograph of the Papaya Family (Caricaceae) as an Example of Taxonomy in the Electronic Age*. Springer Spektrum, Germany, 49-81
- FAO (2023). Crops and livestock products. Consultado el 10 de octubre de 2024 (www.fao.org/faostat)
- Hueso, J.J., Salinas, I. and Cuevas, J. (2015). El cultivo de la papaya. Cajamar ADN Agro. España
- Islam, M.S., Kao, N., Bhattacharya, S.N., Gupta, R. and Bhattacharjee, P.K. (2017). Effect of low pressure alkaline delignification process on the production of nanocrystalline cellulose from rice husk. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* **80**, 820-834
- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P. and van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050. World Bank, Washington DC, USA
- Lawanwadeekul, S., Jun-On, N., Kongthavorn, P., Sangkas, T. and Daothong, S. (2024). Chemical-free thermal-acoustic panels from agricultural waste for sustainable building materials. *Cleaner Materials* **12**, 100245
- Morales-Quintana, L., Fuentes, L., Gaete-Eastman, C., Herrera, R. and Moya-León, M.A. (2011). Structural characterization and substrate specificity of VpAAT1 protein related to ester biosynthesis in mountain papaya fruit. *Journal of Molecular Graphics and Modelling* **29**(5), 635-642
- Moreno, J., Bugueño, G., Velasco, V., Petzold, G. and Tabilo-Munizaga, G. (2004). Osmotic dehydration and vacuum impregnation on physicochemical properties of Chilean papaya (*Carica candamarcensis*). *Journal of Food Science* **69**(3), 102-106
- Moya-León, M. A., Moya, M. and Herrera, R. (2004). Ripening of mountain papaya (*Vasconcellea pubescens*) and ethylene dependence of some ripening events. *Postharvest Biology and Technology* **34**(2), 211-218
- Muñoz, M. (1988). Nomenclatura del papayo cultivado en Chile. *Agricultura Técnica* **48**(1), 39-42
- Nazer, A. y Acosta, C. (2023). Uso de la cáscara de nuez en la fabricación de aglomerados. *Obras y Proyectos* **34**, 92-99
- Parodi Miranda, D. (2018). Material compuesto a partir del residuo cáscara de nuez Juglans regia. *Revista Chilena de Diseño: Creación y Pensamiento* **3**(5), 1-13
- Şahinöz, M., Aruntaş, H. and Gürü, M. (2023). Production of composite particleboard from waste plum pits (*Prunus domestica*) and improvement of its characteristics. *Cellulose Chemistry and Technology* **57**(5-6), 587-598.
- Salvatierra, A. y Jana, C. (2014). Situación actual del cultivo de papayos en las principales zonas de producción. *Tierra Adentro* **107**, 55-61
- Smith, R.E. (2011). *Prefab architecture: A guide to modular design and construction*. John Wiley & Sons, Hoboken NJ, USA
- Tasdemir, H.M., Sahin, A., Karabulut, A.F. and Guru, M. (2019). Production of useful composite particleboard from waste orange peel. *Cellulose Chemistry and Technology* **53**(5-6), 517-526
- Yang, H.S., Kim, D.J. and Kim, H.J. (2003). Rice straw-wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials. *Bioresource Technology* **86**(2), 117-121