



# Uso de la cáscara de nuez en la fabricación de aglomerados

Use of walnut shell in the production of particleboards

Fecha de entrega: 5 de julio 2023

Fecha de aceptación: 2 de noviembre 2023

Amin Nazer<sup>1,2</sup> y Cynthia Acosta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Construcción, Universidad de Atacama, Av. Copayapu 485, Copiapó, Chile, amin.nazer@uda.cl, cynthiacost.r@gmail.com

<sup>2</sup>Centro Regional de Investigación y Desarrollo Sustentable de Atacama CRIDESAT, Universidad de Atacama, Avenida Copayapu 485, Copiapó, Chile

*El aumento global en la producción de nueces ha generado una cantidad significativa de residuos, que normalmente terminan en vertederos y causan impactos ambientales adversos. Estos residuos ocupan grandes extensiones de terreno y contaminan el suelo a través de procesos de descomposición. Chile, conocido por ser un importante productor de nueces, especialmente de la variedad Chandler, posee un valioso recurso en forma de cáscaras de nuez. Estas cáscaras pueden utilizarse como materia prima en la fabricación de innovadores materiales de construcción. Este artículo se enfoca en determinar las propiedades de absorción, hinchamiento, densidad, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión de muestras prismáticas fabricadas con cáscaras de nuez Chandler. Estas muestras se unieron utilizando dos tipos de adhesivos PVAc: uno comúnmente utilizado para uniones de madera y otro diseñado específicamente para resistir la humedad. Los resultados demuestran la viabilidad de este material aglomerado, mostrando su estabilidad y capacidad para resistir esfuerzos moderados.*

*Palabras clave:* cáscara de nuez, residuo, aglomerado, construcción, caracterización

*The global increase in walnut production has resulted in significant waste generation, typically ending up in landfills and causing adverse environmental impacts. The waste occupies large land areas and contaminates the soil through decomposition processes. Chile, known for being a major producer of walnuts, particularly the Chandler variety, possesses a valuable waste resource in the form of walnut shells. These shells can be utilized as raw material in the manufacturing of innovative construction materials. This article focuses on determining the absorption, swelling, density, flexural strength, and compressive strength properties of prismatic samples made from Chandler walnut shells. These samples were bonded using two types of PVAc adhesives: one commonly used for wood joints, and another specifically designed for moisture resistance. The results demonstrate the viability of this particleboard, showcasing its stability and ability to withstand moderate stress.*

*Keywords:* Walnut shell, waste, particleboard, construction, characterization.

## Introducción

El aumento de la producción agroindustrial a nivel global ha generado una mayor cantidad de residuos, los cuales normalmente son enviados a vertederos. Los residuos orgánicos, incluyendo el desperdicio alimentario, representan el 44% de la generación mundial de desechos sólidos (Kaza *et al.*, 2018). La acumulación de estos residuos en los vertederos causa impactos negativos en el medio ambiente, ya que ocupan grandes extensiones de terreno y pueden contaminar el suelo debido a los procesos de descomposición. Por otra parte, tanto investigadores como

empresarios han hecho esfuerzos para utilizar los residuos agrícolas como materia prima en el desarrollo de nuevos productos con valor agregado. El aserrín (Abdulkareem *et al.*, 2017), el orujo de oliva (Frag *et al.*, 2020), la cascarilla de arroz (Batteggazzore *et al.*, 2017), el bagazo de caña de azúcar (Brito *et al.*, 2020), las partículas de bambú (Gauss *et al.*, 2019), la cáscara de naranja (Mehmet Tasdemir *et al.*, 2019) y la cáscara de nuez (Barbu *et al.*, 2020; Parodi Miranda, 2018; Pirayesh *et al.*, 2012, 2013), entre otros residuos orgánicos, se consideran fuentes alternativas para sustituir total o parcialmente la madera en la fabricación de tableros de partículas utilizados en la construcción.



La cáscara de nuez (CN) es un residuo orgánico que puede ser utilizado como un abundante recurso en la fabricación de materiales alternativos. La CN se emplea como biomasa, en el pulido de metales mediante chorro abrasivo, en el relleno de caminos y como fertilizante para el suelo, entre otros usos. La nuez, uno de los productos agrícolas más antiguos, fue descubierta en el año 2000 a.C. en Iraq (Hilal *et al.*, 2020), y su composición incluye un 0.6% de extractos, un 30.1% de lignina y un 49.7% de polisacáridos (Queirós *et al.*, 2020). En la Figura 1 se presenta la producción de nuez durante el período comprendido entre 2010 y 2018. En ella, se puede apreciar un aumento tanto a nivel mundial como en Chile. En 2018, la producción global de nuez alcanzó las 3.66 millones de toneladas, mientras que en Chile se produjeron alrededor de 84 mil toneladas (FAO, 2020). La producción de nuez en Chile ha experimentado un crecimiento sostenido a lo largo del tiempo, pasando de 32 mil toneladas en 2010 a 84 mil toneladas en 2018, lo que representa un incremento de aproximadamente 162.5%. Se proyecta que la producción nacional de nuez continúe aumentando, alcanzando una cantidad estimada de 200 mil toneladas para el año 2025 (Velasco, 2018). Actualmente, las variedades más cultivadas en Chile son *Chandler* (72%), *Serr* (24%) y otras variedades (4%) (Velasco, 2018).

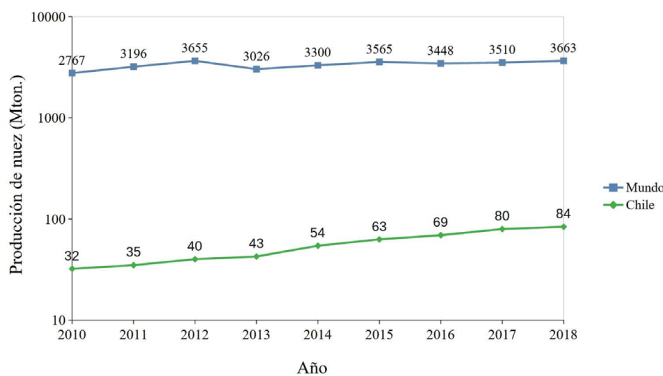


Figura 1: Producción de nuez en el periodo 2010-2018 (en miles de toneladas)

Durante el procesamiento de la nuez, se separa la parte comestible de la CN. Se estima que aproximadamente el 67% del peso total de la nuez corresponde a la CN (Martínez *et al.*, 2003). Durante el período 2010-2018, se generaron alrededor de 20 millones de toneladas de CN en todo el mundo, con la producción chilena aportando

aproximadamente 335 mil toneladas en ese mismo período. Por otro lado, la creciente demanda de tableros de partículas en el sector de la construcción plantea la necesidad de encontrar nuevas materias primas que sustituyan total o parcialmente a estas partículas, disminuyendo la presión sobre los recursos forestales. En 2018, la producción mundial de tableros de partículas alcanzó 245 millones de m<sup>3</sup>, lo que representa un aumento del 105% y 326% en comparación con los años 1980 y 2000, respectivamente (FAO, 2019). La Figura 2 muestra la producción mundial y chilena de tableros de partículas durante el período 2010-2019 (FAO, 2019).

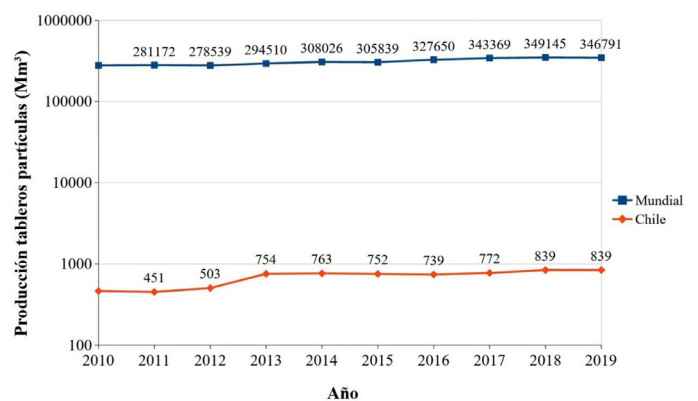


Figura 2: Producción anual de tableros de partículas en el periodo 2010-2019 (en miles de m<sup>3</sup>)

La fabricación de tableros o placas de partículas aglomeradas que contienen residuos agrícolas ofrece diversas ventajas. Desde una perspectiva de sostenibilidad, el uso de estos residuos contribuye a reducir la presión sobre los productos forestales, valoriza subproductos, crea nuevas oportunidades de negocio, disminuye los volúmenes de residuos en los vertederos y reduce la contaminación y el uso del suelo, entre otros beneficios.

Por otro lado, desde el punto de vista del producto en sí, estos tableros presentan buenas propiedades mecánicas y físicas, son biodegradables, impermeables y cuentan con propiedades ignífugas. Además, su producción es de bajo costo, lo que los convierte en un producto competitivo en el mercado (Mehmet Tasdemir *et al.*, 2019). Se utilizan varios aglutinantes poliméricos en las uniones de madera, como la urea-formaldehído, fenol-formaldehído, melamina-urea-formaldehído, polietileno y poliacetato de vinilo. Las resinas de urea-formaldehído son las más utilizadas



por la industria (Warcok, 2007) debido a su bajo precio y sus características funcionales (Kowaluk y Fuczek, 2009). La elección del aglutinante adecuado dependerá de las especificaciones requeridas para el producto final. Se estima que los aglutinantes convencionales representan entre el 30% y el 50% del costo total (Solt *et al.*, 2019).

Sin embargo, en la elaboración de placas de partículas normalmente se utilizan adhesivos que contienen formaldehído. Este material se considera un carcinógeno (European Chemicals Agency, 2018), ya que emite gases tóxicos que afectan la calidad del aire interior y pueden ser perjudiciales para la salud humana. Para evitar estos efectos nocivos, se sugiere el uso de sustancias libres de formaldehído, como aldehídos, isocianatos, adhesivos basados en azúcar, epiclorigidrina, polímeros reactivos derivados de la industria del papel, resinas epóxicas y poliácidos (Solt *et al.*, 2019).

Por otro lado, se considera otro grupo de adhesivos “renovables” que incluyen monómeros a base de amino, compuestos vegetales fenólicos, proteínas, aceites vegetales y carbohidratos. Sin embargo, se debe realizar un estudio exhaustivo debido a que estos productos pueden generar otras emisiones peligrosas (Solt *et al.*, 2019).

Una forma de minimizar el efecto dañino de los gases de formaldehído es capturarlos utilizando cáscaras lignocelulósicas, como la CN, cacahuete o semillas de girasol (Stefanowski *et al.*, 2017). Estos residuos pueden integrarse de manera sencilla en el proceso de producción de tableros de partículas, en el cual se utilizan con menor frecuencia resinas acrílicas y adhesivos basados en acetato de polivinilo (PVAc). El PVAc es un material libre de formaldehído y tiene un costo menor en comparación con otros aglutinantes sin formaldehído. Este tipo de adhesivo se encuentra presente en varios productos comerciales, especialmente en la conocida cola blanca utilizada para unir madera, papeles y cartones. Es fácilmente accesible en el mercado y puede ser utilizado como aglutinante en paneles de partículas de madera u otros residuos.

A diferencia del formaldehído, el PVAc se endurece a temperatura ambiente y no requiere prensado en caliente. Después de su aplicación, el agua se desplaza y las partículas dispersas se fusionan para formar una película resistente (Frihart, 2012).

Un estudio realizado por Kowaluk y Fuczek (2009) analizó el comportamiento mecánico de tableros de partículas de madera unidos con PVAc, comparándolos con tableros de partículas unidos con urea-formaldehído. Los resultados indicaron que la resistencia a la flexión y la fuerza de unión interna de los tableros fabricados con PVAc eran inferiores a los tableros producidos con urea-formaldehído, probablemente debido a las variaciones en la viscosidad durante el fraguado del PVAc.

La literatura científica existente acerca del uso de CN en la producción de aglomerados es escasa. Parodi Miranda (2018) elaboró probetas de un aglomerado utilizando cáscara de nuez de la variedad *Juglans regia* y PVAc como aglutinante, en una proporción de CN/PVAc de 0.6/0.4. Los resultados mostraron que el aglomerado presentaba un buen comportamiento térmico, pero mostraba una resistencia mecánica baja y tendía a desgranarse cuando estaba sumergido en agua. Sin embargo, se destacó que este material era de bajo costo y respetuoso con el medio ambiente.

El objetivo de este estudio fue evaluar algunas propiedades físicas y mecánicas de muestras prismáticas fabricadas con CN de la variedad *Chandler* como materia prima, unidas con dos tipos de adhesivos PVAc. Se buscó determinar la absorción, hinchamiento, densidad, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión de estos materiales con el fin de demostrar su viabilidad como alternativa innovadora en la fabricación de materiales de construcción.

## Materiales Cáscara de nuez (CN)

En el estudio se empleó CN de la variedad *Chandler*, que es un residuo proveniente de nueces cultivadas en la localidad de Conay, Comuna Alto del Carmen, en la Región de Atacama, Chile. Esta variedad es ampliamente cultivada en el país y se encuentra presente entre las regiones de Atacama y La Araucanía. La CN *Chandler* tiene un endocarpio ligeramente acanalado, un grano que varía de color claro a oscuro, y una textura dura debido a su lignificación. Aproximadamente, la CN de la variedad *Chandler* representa el 51% del peso total del fruto (Portalfrutícola, 2017).

Las muestras de CN se recolectaron y se colocaron en bolsas



para su posterior caracterización y uso en la fabricación de los aglomerados. Las muestras se deshidrataron en un horno eléctrico a una temperatura de  $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta alcanzar un peso constante. La Figura 3 muestra el aspecto del material original antes de su trituración.



Figura 3: Muestra de cáscara de nuez antes de su trituración

## Adhesivos

Para la unión de las partículas trituradas de CN, se utilizaron dos tipos diferentes de adhesivos aglomerantes:

- Adhesivo de tipo cola para madera con contenido de acetato de polivinilo (A1). Este producto se obtiene a través de la polimerización del acetato de vinilo, un compuesto orgánico derivado del petróleo. Está formulado en base a homopolímeros.
- Adhesivo acuoso de tipo cola resistente a la humedad (A2), obtenido mediante la polimerización del acetato de vinilo. También es un compuesto orgánico derivado del petróleo y forma el acetato de polivinilo (PVAc). En este caso, el adhesivo está formulado en base a copolímeros.

En la Tabla 1 se muestra la especificación general de los adhesivos utilizados en la fabricación de las muestras de aglomerados del estudio.

Tabla 1: Especificación de los adhesivos utilizados en el estudio.

Adhesivo	Densidad, $\text{g}/\text{cm}^3$	Viscosidad, $\text{mPa}\cdot\text{s}$	Contenido de sólidos, %	Rendimiento*, $\text{m}^2/\text{kg}$
A1	1.1	50000 - 70000	41	4 - 5
A2	1.0	6000 - 8000	45 - 49	6 - 7

\* Para espesores de 0.2 mm

## Desmoldante

Se utilizó un producto comercial que contiene aceites especiales y aditivos para facilitar el desmoldeo de las muestras de ensayo fabricadas.

## Agua destilada

En los ensayos de absorción e hinchamiento de las muestras se empleó agua destilada.

## Metodología

La muestra de CN seca se homogeneizó utilizando cuarteadores tipo rifle con diferentes aberturas. A continuación, la muestra se trituró en una máquina picadora semi-industrial modelo Cutter Talsa K15e, que tiene una capacidad de 15 litros y un motor con 2 posiciones de corte, a velocidades de 148.7 rad/s y 259.7 rad/s. El cabezal desmontable de 3 cuchillas de acero templado de alta resistencia permitió una trituración óptima del material a una velocidad de 148.7 rad/s. En las Figuras 4a y 4b se puede observar la máquina picadora utilizada y la cáscara de nuez triturada, respectivamente.

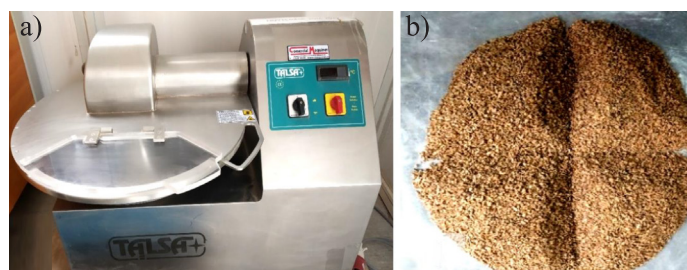


Figura 4: a) Máquina picadora y b) cáscara de nuez triturada

Se prepararon 4 muestras de 2500 g de CN, y cada una de ellas se trituró durante un tiempo definido de 3, 5 y 7 min. La clasificación de las partículas se realizó mediante tamizado utilizando un equipo automático Ro-Tap, modelo RX-29-10. En la Figura 5 se presentan las curvas granulométricas de la CN para los diferentes tiempos de trituración, donde 0 min corresponde al material original sin triturar.

De acuerdo con las curvas granulométricas obtenidas en la Figura 5, se determinó que la muestra triturada durante 5 min presenta una mejor distribución de tamaño de partículas que las demás muestras, abarcando una mayor



gama de tamaños. Siguiendo este criterio, la totalidad de la muestra de CN requerida para el estudio se trituroó durante 5 min, seleccionando tamaños entre 2.36 mm y 0.425 mm. La Tabla 2 muestra la nomenclatura y la dosificación en peso utilizadas para fabricar las probetas. Para todas las muestras se consideró una masa adicional de 30%, con el propósito de cubrir el volumen del molde tras el prensado inicial de las probetas. En total, se fabricaron probetas en triplicado para ensayos de compresión y flexión, mientras que, para los ensayos de absorción e hinchamiento, fue por cuadruplicado.

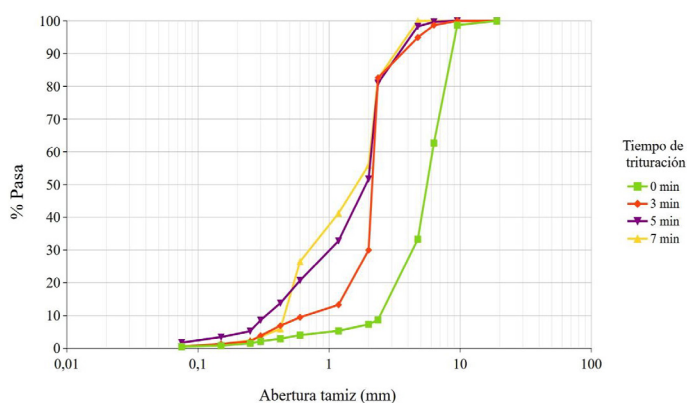


Figura 5: Distribución de tamaño de partículas de cáscara de nuez a diferentes tiempos de trituración

La nomenclatura utilizada, como CN70, CN65 y CN60, representa la proporción en peso de la CN en las muestras, que es del 70%, 65% y 60%, respectivamente. Por otro lado, A1 y A2 son los dos tipos de adhesivos empleados para completar el 100% restante en cada muestra.

Tabla 2: Dosificaciones utilizadas en los aglomerados, en gramos.

Material	CN70-A1	CN65-A1	CN60-A1	CN70-A2	CN65-A2	CN60-A2
CN	162.9	151.3	139.6	162.9	151.3	139.6
A1	69.8	81.4	93.1	---	---	---
A2	---	---	---	69.8	81.4	93.1
Total	232.7	232.7	232.7	232.7	232.7	232.7

La mezcla de CN y adhesivo se homogeneizó manualmente durante 3 min para lograr una consistencia uniforme. Luego, se depositó la mezcla en tres capas dentro de un molde metálico, asegurándose de llenar todo el volumen intentando disminuir los huecos en cada capa vertida. Se

utilizaron moldes RILEM con tres compartimentos de dimensiones 40 mm x 40 mm x 160 mm cada uno. Con el fin de facilitar el desmoldeo posterior de las probetas, se aplicó un agente desmoldante en el interior de los compartimentos. Para aumentar la densidad, se aplicó una carga de 31 kg sobre la pasta fresca de CN/adhesivo mediante una placa metálica. Finalmente, se niveló la superficie con una espátula recta y se cubrieron las muestras con una lámina de polietileno con agente desmoldante.

Después de un período de curado de 24 horas a temperatura ambiente, se registró la masa de las muestras y se llevaron al horno a una temperatura de 80°C ± 5°C para su secado final. Estas muestras se sometieron a ensayos de absorción, hinchamiento y determinación de densidad de acuerdo con la norma ASTM D1037 (1999). La resistencia a la flexión y a la compresión se determinó utilizando una prensa AUTOMAX *Super-Automatic compression flexural*, con rangos de carga entre 0.75 kN y 300 kN. El ensayo de flexión se realizó a una velocidad de carga de 5 ± 1 kg/s, mientras que la compresión se llevó a cabo a una velocidad de carga de 15 kg/cm<sup>2</sup>/s. En la Figura 6 se pueden observar algunas muestras preparadas para los ensayos.



Figura 6: Muestras de aglomerados de CN

## Resultados y discusión

En la Tabla 3 se presentan los promedios de variación de la masa seca en el horno de las muestras de aglomerado, respecto de la masa fresca (en %). Además, se muestran los promedios de las densidades secas, absorción e hinchamiento de las muestras. Se puede observar que la variación de masa aumenta con el aumento del adhesivo en todos los casos estudiados. Las densidades de las muestras aglomeradas fluctúan en el rango 700 kg/m<sup>3</sup> y 738 kg/m<sup>3</sup>.



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

Muestra	CN70-A1	CN65-A1	CN60-A1	CN70-A2	CN65-A2	CN60-A2
Variación masa, %	-28.8 ± 4.1	-33.2 ± 1.3	-36.6 ± 2.9	-24.8 ± 6.1	-29.6 ± 7.2	-33.2 ± 10.4
Densidad, kg/m <sup>3</sup>	727.0 ± 3.5	700.1 ± 3.6	733.2 ± 5.8	737.8 ± 5.2	733.4 ± 8.5	714.7 ± 6.3
Absorción (%)	27.8 ± 3.4	26.2 ± 4.4	15.0 ± 2.9	40.1 ± 6.7	40.4 ± 6.7	44.6 ± 3.8
Hinchamiento (%)	3.8 ± 0.5	3.7 ± 0.7	2.0 ± 0.8	5.3 ± 1.3	4.2 ± 1.8	5.3 ± 0.2

Por otro lado, se observó una mayor absorción e hinchamiento en las muestras que contenían el adhesivo A2 en comparación con las muestras que contenían el adhesivo A1. Sin embargo, todas las probetas fabricadas mantuvieron su integridad sin desintegrarse durante el ensayo de absorción e hinchamiento en agua.

En la Figura 7 se puede apreciar que, tanto en el ensayo de resistencia a la flexión como en el ensayo a la compresión, la muestra presentó un plano de falla levemente inclinado, limpio y sin detritos, asumiendo que la ruptura se produjo en la zona de actuación del aglomerante.

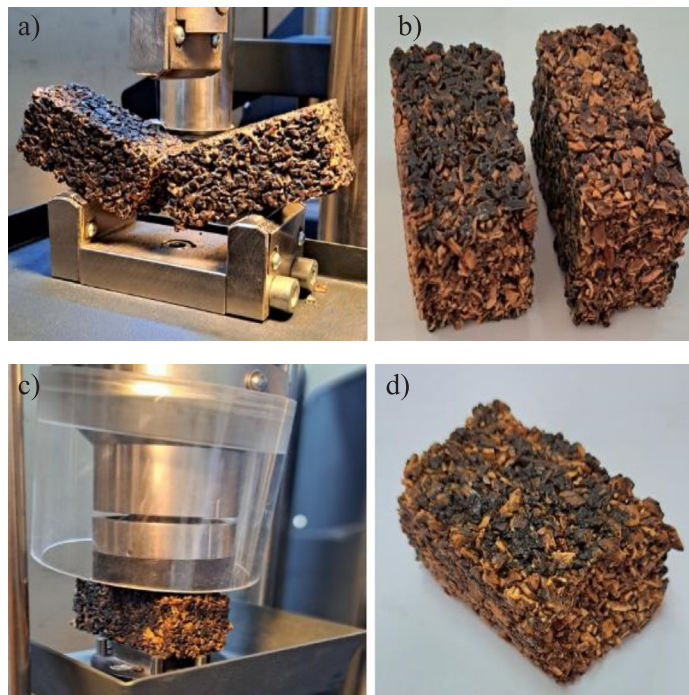


Figura 7: a) y b) Muestra ensayada a la flexión y c) y d) muestra ensayada a la compresión

En la Figura 8 se muestran los resultados de los ensayos de flexión. Se observó que las muestras CN65-A2 y CN60-A2 presentaron mejores resultados en cuanto a resistencia en comparación con la muestra CN70-A2.

Por otro lado, las muestras con el adhesivo A1 mostraron un comportamiento resistente similar entre sí. Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Gürü *et al.* (2008), quienes utilizaron CN con un tamaño medio de partícula de 0.12 mm aglomerada con urea-formaldehído y obtuvieron una resistencia a la flexión de 3.8 MPa, siendo este el mejor resultado obtenido en sus muestras. La muestra CN65-A2 obtuvo una resistencia a la flexión de 6.3 MPa, lo que supera el valor máximo de 5.6 MPa reportado por Kowaluk y Fuczek (2009) para tableros de partículas de madera de 3 capas unidos con PVAc.

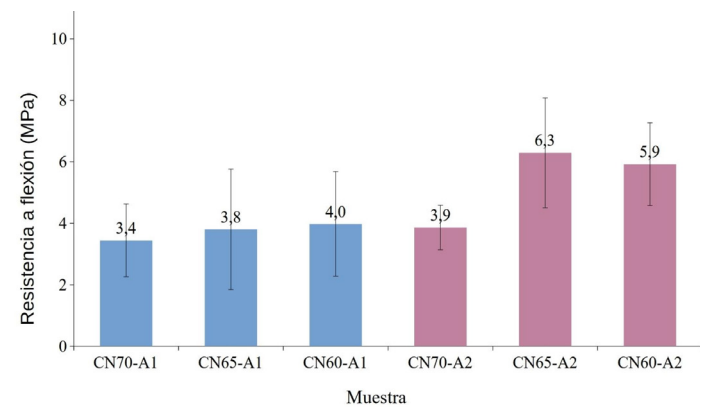


Figura 8: Resistencia a la flexión de aglomerados de CN.

En la Figura 9 se muestran los resultados de los ensayos de compresión realizados en las muestras de aglomerado. En contraste con los resultados obtenidos en la resistencia a la flexión, se observó que las muestras fabricadas con el adhesivo A1 mostraron mejores resultados en comparación con las muestras que utilizaron el adhesivo A2. Esto indica que la reducción en la proporción de CN tiene un efecto positivo en el aumento de la resistencia de las muestras aglomeradas con el adhesivo A1.

Además, los resultados podrían ser más prometedores si se realizara un tratamiento alcalino en la CN antes de su triturado. Varios estudios respaldan esta idea (Orue *et al.*,



2020; Shah *et al.*, 2018; Trischler y Sandberg, 2014), y reportan que la presencia de cera natural en la CN dificulta el contacto con el adhesivo, lo cual afecta la resistencia final de las muestras.

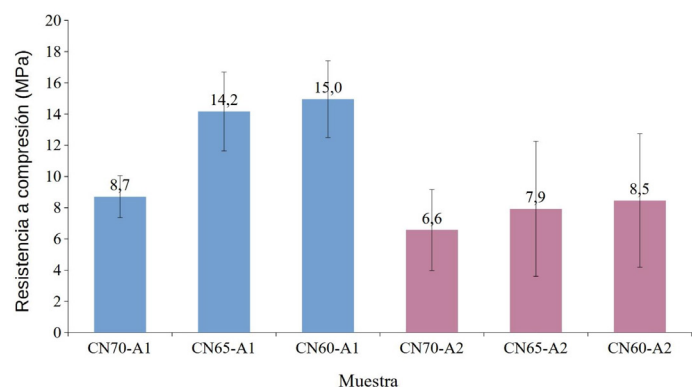


Figura 9: Resistencia a la compresión de aglomerados de CN

## Conclusiones

En conclusión, se fabricaron muestras prismáticas utilizando CN y dos tipos de colas PVAc, y se evaluaron diversas propiedades como absorción, hinchamiento, densidad, resistencia a la flexión y a la compresión. Se observó que las muestras aglomeradas con adhesivo A1 presentaron un mejor desempeño en términos de absorción, hinchamiento y resistencia a la compresión en comparación con las muestras fabricadas con el adhesivo A2, mientras que las muestras aglomeradas con el adhesivo A2 mostraron un mejor comportamiento en cuanto a la resistencia a la flexión. Otros estudios han informado de resultados de flexión comparables en tableros de partículas de CN o inferiores en el caso de tableros que incorporan partículas de madera, en contraste con los resultados presentados en este artículo. Es importante destacar que el incremento en la producción de nueces ha generado un aumento en la disponibilidad de CN, y una forma ambientalmente amigable de utilizar este recurso es a través de la fabricación de nuevos materiales para la construcción. Esta práctica permite valorizar un residuo y reducir la cantidad de CN que termina en vertederos, contribuyendo así a la disminución de los impactos ambientales asociados.

Estos resultados destacan las posibilidades de aprovechamiento de la CN como material de construcción, brindando alternativas sostenibles y promoviendo la

gestión adecuada de los residuos generados por la industria de la nuez. Asimismo, se resalta la importancia de continuar investigando y desarrollando técnicas de tratamiento y mejora de las propiedades de la CN, como el tratamiento alcalino mencionado anteriormente, para potenciar aún más su uso en la fabricación de materiales con mejores propiedades mecánicas y durabilidad.

## Referencias

- Abdulkareem, S.A., Raji, S.A. and Adeniyi, A.G. (2017). Development of particleboard from waste styrofoam and sawdust. *Nigerian Journal of Technological Development* 14(1), 18-22
- ASTM D1037 (1999). Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle materials. American Society of Testing and Materials, West Conshohocken, 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
- Battegazzore, D., Alongi, J., Frache, A., Wågberg, L. and Carosio, F. (2017). Layer by layer-functionalized rice husk particles: A novel and sustainable solution for particleboard production. *Materials Today Communications* 13, 92–101
- Brito, F.M.S., Bortoletto Júnior, G., Paes, J.B., Belini, U.L. and Tomazello-Filho, M. (2020). Technological characterization of particleboards made with sugarcane bagasse and bamboo culm particles. *Construction and Building Materials* 262, 120501
- ECHA (2018). Formaldehyde and formaldehyde releasers-Strategy for future work. European Chemicals Agency ECHA, Helsinki, Finland
- FAO. (2019). Estadísticas de productos forestales. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia
- FAO (2020). Cultivos. Nueces con cáscara. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia
- Farag, E., Alshebani, M., Elhrari, W., Klash, A. and Shebani, A. (2020). Production of particleboard using olive stone waste for interior design. *Journal of Building Engineering* 29, 101119
- Frihart, C. (2012). Wood adhesion and adhesives. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, R.M. Rowell (ed.), 2<sup>nd</sup> ed., Boca Raton, FL, USA, CRC Press, 255–320



- Gauss, C., de Araujo, V., Gava, M., Cortez-Barbosa, J. and Junior, H.S. (2019). Bamboo particleboards: Recent developments. *Pesquisa Agropecuária Tropical* **49**, e55081
- Gürü, M., Atar, M. and Yildirim, R. (2008). Production of polymer matrix composite particleboard from walnut shell and improvement of its requirements. *Materials & Design* **29**(1), 284–287
- Hilal, N., Mohammed Ali, T.K. and Tayeh, B.A. (2020). Properties of environmental concrete that contains crushed walnut shell as partial replacement for aggregates. *Arabian Journal of Geosciences* **13**(16), 812
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P. and Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0. A global snapshot of solid waste management to 2050*. International Bank for Reconstruction and Development. The World Bank, Washington DC, USA
- Kowaluk, G. and Fuczek, D. (2009). PVAc glue as a binding agent in particleboards. *Drewno* **52**(182), 17–24
- Martínez, M.L., Moiraghi, L., Agnese, M. and Guzman, C. (2003). Making and some properties of activated carbon produced from agricultural industrial residues from Argentina. *The Journal of the Argentine Chemical Society* **91**(4–6), 103–108
- Mehmet Tasdemir, H., Sahin, A., Karabulut, A.F. and Guru, M. (2019). Production of useful composite particleboard from waste orange peel. *Cellulose Chemistry and Technology* **53**(6), 517–526
- Orue, A., Eceiza, A. and Arbelaiz, A. (2020). The use of alkali treated walnut shells as filler in plasticized poly (lactic acid) matrix composites. *Industrial Crops and Products* **145**, 111993
- 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
- Pirayesh, H., Khanjanzadeh, H. and Salari, A. (2013). Effect of using walnut/almond shells on the physical, mechanical properties and formaldehyde emission of particleboard. *Composites Part B: Engineering* **45**(1), 858–863
- Pirayesh, H., Khazaeian, A. and Tabarsa, T. (2012). The potential for using walnut (*Juglans regia* L.) shell as a raw material for wood-based particleboard manufacturing. *Composites Part B: Engineering* **43**(8), 3276–3280
- Portalfrutícola (2017). <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/09/27/guia-varietal-de-nueces-imagenes-y-caracteristicas/>
- Queirós, C.S.G.P., Cardoso, S., Lourenço, A., Ferreira, J., Miranda, I., Lourenço, M. J. V. and Pereira, H. (2020). Characterization of walnut, almond, and pine nut shells regarding chemical composition and extract composition. *Biomass Conversion and Biorefinery* **10**(1), 175–188
- Shah, A.H., Li, X., Xu, X.D., Wang, S., Bai, J.W., Wang, J. and Liu, W.B. (2018). Effect of alkali treated walnut shell (*Juglans regia*) on high performance thermosets. Study of curing behavior, thermal and thermomechanical properties. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures* **13**(3), 857–873
- Solt, P., Konnerth, J., Gindl-Altmutter, W., Kantner, W., Moser, J., Mitter, R. and van Herwijnen, H. W.G. (2019). Technological performance of formaldehyde-free adhesive alternatives for particleboard industry. *International Journal of Adhesion and Adhesives* **94**, 99–131
- Stefanowski, B.K., Curling, S.F. and Ormondroyd, G.A. (2017). Assessment of lignocellulosic nut wastes as an absorbent for gaseous formaldehyde. *Industrial Crops and Products* **98**, 25–28
- Trischler, J. and Sandberg, D. (2014). Monocotyledons in particleboard production: Adhesives, additives, and surface modification of reed canary grass. *BioResources* **9**(3), 3919–3938
- Velasco, J. (2018). Cómo llegar a las 200 mil toneladas de nueces. En Nogales y otros frutales de nuez. Redagícola.com
- Warcok, F. (2007). Nowe trendy w produkcji srodkow wiazacych w swietle wymagan Unii Europejskiej dotyczacych emisji formaldehydu. *Biul. Inf. Ośrodka Badaw. Przem. Płyt Drewnopochodnych w Czarnej Wodzie*, **47**(1–2), 35-42 (en Polaco)