

Caracterización mecánica de tableros realizados con harina de insecto

Mechanical characterization of particleboards made with insect flour

Presentación: 21/10/2023

Francisco Daniel García

Dirección Técnica de Materiales Avanzados, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Buenos Aires, Argentina.
Instituto de Calidad e Innovación Industrial (INCALIN), Universidad Nacional de San Martín (UNSAM), Buenos Aires, Argentina.
fdgarcia@inti.gob.ar

Solange Nicole Aigner

Dirección Técnica de Materiales Avanzados, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Buenos Aires, Argentina.
saigner@inti.gob.ar

Agustín Luna

Universidad Nacional de Córdoba (UNC), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Instituto de Ciencia y Tecnología de Los Alimentos (ICTA), Córdoba, Argentina.
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Instituto de Investigaciones Biológicas y Tecnológicas (IIByT, CONICET-UNC), Argentina.
agustinluna@unc.edu.ar

Mariano Martín Escobar

Dirección Técnica de Materiales Avanzados, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Buenos Aires, Argentina.
Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Dirección Técnica de Materiales Avanzados, San Martín, Argentina.
mescobar@inti.gob.ar

Marcela Angela Mansilla

Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Dirección Técnica de Materiales Avanzados, San Martín, Argentina.
mmansilla@inti.gob.ar

Alejandro Bacigalupe

Dirección Técnica de Materiales Avanzados, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Buenos Aires, Argentina.
Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Dirección Técnica de Materiales Avanzados, San Martín, Argentina.
abacigalupe@inti.gob.ar

Resumen

En la fabricación a gran escala comercial de tableros de partículas se generan vapores de formaldehído debido al adhesivo que mayormente se utiliza para dicho producto: la urea formaldehído (UF). Una posible solución es utilizar un adhesivo a base de proteína de *Hermetia illucens*, larva de mosca soldado negro (BSFL), la cual al no posee formaldehído. Por otro lado, la larva puede alimentarse de residuos orgánicos con lo cual se puede regular su contenido de proteína y se favorece la implementación de una economía circular. En este trabajo se buscó optimizar el contenido de álcali para la disolución de la proteína de BSFL teniendo en cuenta los resultados de las propiedades mecánicas de los tableros fabricados: flexión estática en 3 puntos, tracción perpendicular a las caras y ensayo de corte. De las tres formulaciones testeadas, el tablero realizado con el adhesivo formulado con la concentración de álcali 1M posee propiedades mecánicas cercanas a las de un tablero realizado con adhesivo comercial (UF)

Palabras clave: Tableros de partículas, Adhesivo de proteínas, propiedades mecánicas

Abstract

In the large-scale commercial manufacturing of particle boards, formaldehyde vapors are generated due to the adhesive commonly used for this product: urea-formaldehyde (UF). One possible solution is to use an adhesive based on protein of *Hermetia illucens*, the black soldier fly larvae (BSFL), since it does not contain formaldehyde. Additionally, the larvae can be fed with organic waste, allowing the regulation of their protein content, and promoting the implementation of a circular economy. In this study, the goal was to optimize the alkali content for dissolving BSFL protein, considering the results of the mechanical properties of the manufactured boards: static bending, tensile strength perpendicular to surface, and shear strength tests. Among the three formulations tested, the board made with the adhesive formulated with a 1M alkali concentration exhibits mechanical properties close to those of a board made with a commercial adhesive (UF).

Keywords: Particleboards, protein adhesives, mechanical properties

Introducción

Dentro de la industria maderera uno de los productos cuyo consumo está en constante crecimiento es el tablero de partículas, que fue reemplazando a la madera convencional en la fabricación de muebles a causa de su bajo costo, buena maquinabilidad y aceptables propiedades mecánicas. En dicha industria el adhesivo más utilizado es la urea formaldehído (UF) debido a que posee buenas propiedades mecánicas y un bajo costo. Sin embargo, las resinas UF contienen formaldehído en su composición, y su utilización se encuentra limitada por tratarse de una molécula potencialmente cancerígena (Nielsen et al., 2010).

Por otro lado, en el mundo se generan grandes cantidades de residuos sólidos (SW), los cuales están en constante crecimiento. Según el Banco Mundial, la población mundial produce aproximadamente 2000 toneladas de SW por año (Kaza et al., 2018).

A pesar de que hay mucha investigación al respecto de adhesivos a base de harina vegetal, como ser harina de trigo (Xi et al., 2021), soja (Vnučec et al., 2017), semilla de algodón (Cheng et al., 2020), harina de maíz (Wei et al., 2020), estos poseen la dificultad de poseer bajo contenido de proteínas y bajas propiedades mecánicas en comparación a los adhesivos comerciales. Por otra parte, la fabricación de dichos adhesivos basados en fuentes vegetales compete con su utilización en la industria alimenticia.

En este trabajo se propone utilizar harina de la larva de mosca soldado negro (BSFL por sus siglas en inglés black soldier fly larvae), por poseer un alto contenido de proteínas y la cualidad de poder alimentarse de residuos orgánicos, promoviendo la economía circular (Salam et al., 2022). A su vez se puede variar su composición química al variar su dieta (Hopkins et al., 2021) lo cual permitiría aumentar el porcentaje de proteínas de la harina de insecto.

Hasta el día de hoy no se encuentran antecedentes respecto a la utilización de adhesivos a base de proteína de BSFL. Por otro lado, se sabe que es posible modificar el contenido de proteína disuelta en el adhesivo mediante la variación del pH del mismo, modificando así las propiedades del adhesivo (Bacigalupe et al., 2021).

En este trabajo se evaluaron las propiedades mecánicas de tableros de partículas realizados con adhesivos a base de BSFL a diferentes concentraciones de álcali, con el objetivo de determinar la concentración óptima para el adhesivo a base de harina de BSFL.

Materiales y métodos

Obtención de la harina de insecto:

La harina BSFL posee 58% de proteína, 14 % de lípidos, 8 % de humedad, 8 % de ceniza, 6 % de fibra, 5 % de Ca y 0,3 % de Mg, según hoja técnica del proveedor (Procens). Previo a su uso como adhesivo, la harina fue desgrasada por extracción Soxhlet con n-hexano a 70 °C por 6 horas. Finalmente, se realizó el molido fino para evitar la precipitación de la quitina.

Obtención de los adhesivos a base de harina de insecto:

A fin de conocer el efecto del contenido de álcali en la modificación de las proteínas y como consecuencia en las propiedades adhesivas, se realizaron 3 formulaciones a diferentes contenidos de NaOH (1M; 0,5M; y 0,25M). A su vez, se agregó NaCl en concentraciones 0M; 0,5M y 0,75M respectivamente a fin de lograr la misma fuerza iónica en las tres muestras. Todas las formulaciones estudiadas poseen un contenido de BSFL de 20 % y fueron identificadas en función de la molaridad de la solución de NaOH utilizada para modificar la proteína.

Ensayo de corte

Los ensayos de corte se realizaron utilizando madera de guatambú (*Balfourodendron riedelianum*) como sustrato, debido a que es lo suficientemente dura y resistente como para realizar el ensayo sin que rompa la madera, obteniendo así el comportamiento del adhesivo ante dicho esfuerzo. Se aplicó 0,6 kg/m² del adhesivo en un área de 50 mm x 50 mm. Posteriormente, las muestras fueron curadas en prensa de platos calientes a 165 °C y 2,5 MPa durante 9 minutos. La caracterización se realizó en una máquina de ensayos Universal INSTRON 5982, siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D2339-98 (ASTM D2339-98, 2017). Las probetas fueron sujetadas a los cabezales con agarres de cuña manual y se utilizó una velocidad de desplazamiento de 2,54 mm/min. Cada muestra se ensayó por quintuplicado.

Fabricación de los tableros de partículas:

Para la fabricación de los tableros de partículas se utilizaron chips de *Eucaliptus saligna* en conjunto con los adhesivos formulados previamente. Además, se realizó a fines comparativos, un tablero con adhesivo UF. Todos los tableros fueron realizados según el método descrito en un trabajo previo (Bacigalupe et al., 2020). El contenido de adhesivo es de 12% m/m basado en la fracción sólida. Los tableros se realizaron en prensa de platos calientes a 160°C con intervalos escalonados de descompresión siguiendo la Figura 1. Se obtuvieron 4 tableros de 410 mm x 410 mm x 9 mm, cada uno con los diferentes adhesivos: 0,25M, 0,5M, 1M, UF.

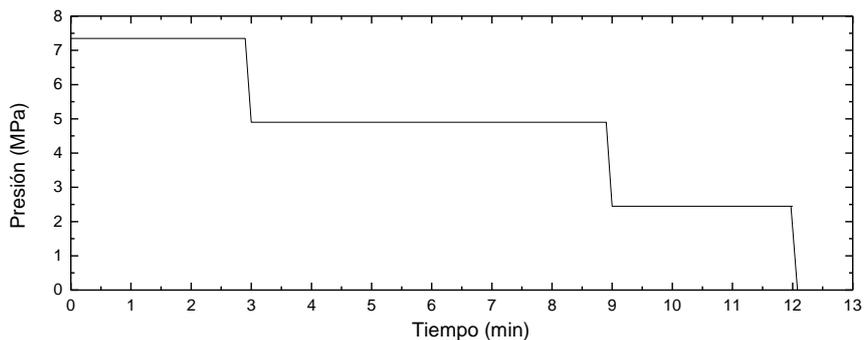


Figura 1: Presiones en prensa para la fabricación de tableros de partículas

Ensayos mecánicos

De cada tablero se cortaron 6 probetas de 271 mm x 76,2 mm x 9 mm para realizar ensayo de flexión estática en 3 puntos y 9 probetas de 50 mm x 50 mm x 9 mm para la realización del ensayo de tracción perpendicular a las caras. Las mediciones fueron realizadas en una máquina de ensayos Universal INSTRON 5982, siguiendo la norma ASTM D1037-12 (ASTM D1037-12, 2020). Del ensayo de tracción perpendicular a las caras (Figura 2A) se obtuvo la cohesión interna (IB). Del ensayo de flexión estática en 3 puntos (Figura 2B) se obtuvieron los valores de módulo de ruptura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) calculados a partir de las ecuaciones 1 y 2 respectivamente.

$$MOR = 3PL/2bd^2 \quad (1)$$

$$MOE = 3P_1L^3/4bd^3y_1 \quad (2)$$

Donde P es la carga máxima (N), b y d son el ancho y espesor de la probeta, P_1 es la carga al límite de proporcionalidad (N), e y_1 es la flecha en el límite de proporcionalidad (mm). L es la distancia entre apoyos en mm.

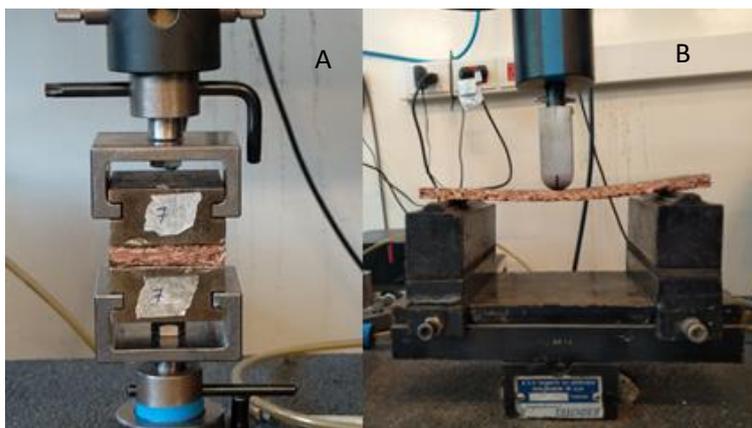


Figura 2: Ensayos de tracción perpendicular a las caras (A) y flexión estática en 3 puntos (B).

Resultados

En la Figura 3 se puede observar la resistencia al corte, que cuantifica el grado de interacción adhesivo-sustrato, para las distintas formulaciones de adhesivos realizadas con proteína de BSFL. En todos los casos hubo ruptura

cohesiva del adhesivo (Figura 4). Se obtuvo que la resistencia al corte de la formulación 1M fue levemente superior a la de la formulación 0,25M y 0,5M. La mejora en las propiedades mecánicas se debe a la modificación de la proteína, que disminuye la viscosidad de la suspensión y mejora el mojado del adhesivo sobre un sustrato rugoso como la madera (de Meijer et al., 2001).

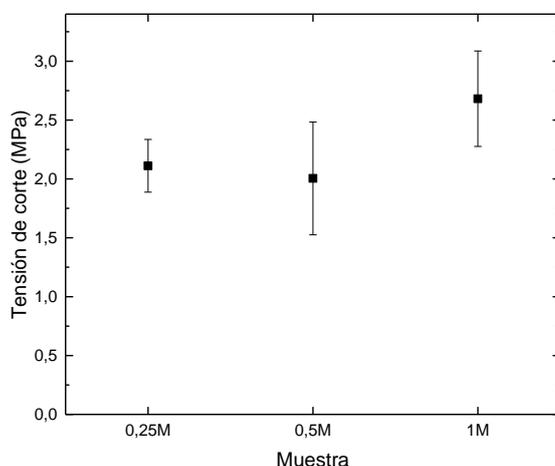


Figura 3: Resistencia al corte de las distintas formulaciones de adhesivo a base de proteína de BSFL utilizando guatambú como sustrato.



Figura 4: Probeta de ensayo de corte ya testeada, en donde se puede apreciar la ruptura cohesiva del adhesivo

La Figura 5 presenta los valores de IB obtenidos del ensayo de tracción perpendicular a las caras y la densidad de los diferentes tableros. De dicha figura se pudo observar que no hubo diferencias significativas entre los valores de densidad de los tableros confeccionados con las diferentes formulaciones, lo que permite hacer una correcta comparación. De los valores de IB se observó que, para el caso de la formulación 1M, se obtuvo un valor por encima de las formulaciones 0,25M y 0,5M y cercano al valor obtenido con el adhesivo UF comercial. Debido a que la resistencia a la tracción perpendicular depende principalmente de la interacción adhesivo-sustrato, se puede correlacionar esto con los valores obtenidos en el ensayo de corte (Figura 3) el cual también indica que el tablero realizado con el adhesivo 1M posee una interacción adhesivo-sustrato más fuerte.

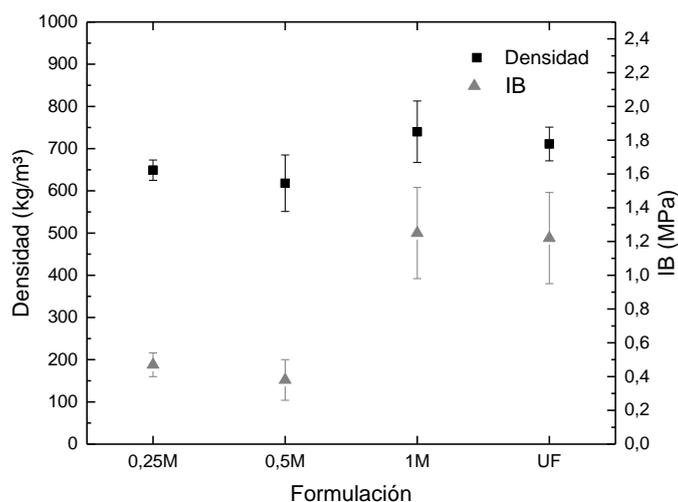


Figura 5: Densidad y cohesión interna (IB) de los tableros realizados con las diferentes formulaciones de adhesivos.

La Figura 6 presenta los resultados de MOR y MOE obtenidos con el ensayo de flexión a tres puntos. De la misma se pudo concluir que las propiedades a flexión de las formulaciones 0,5M y 1M fueron superiores a la formulación 0,25M y cercanas a la UF comercial. Esto se debe a que el aumento del pH favorece la solubilidad de las proteínas y mejora la interacción entre las cadenas (Bacigalupe et al., 2021). A altos valores de pH comienza a ocurrir la hidrólisis de las proteínas, disminuyendo su viscosidad y mejorando la penetración del adhesivo en la superficie porosa de la madera (de Meijer et al., 2001).

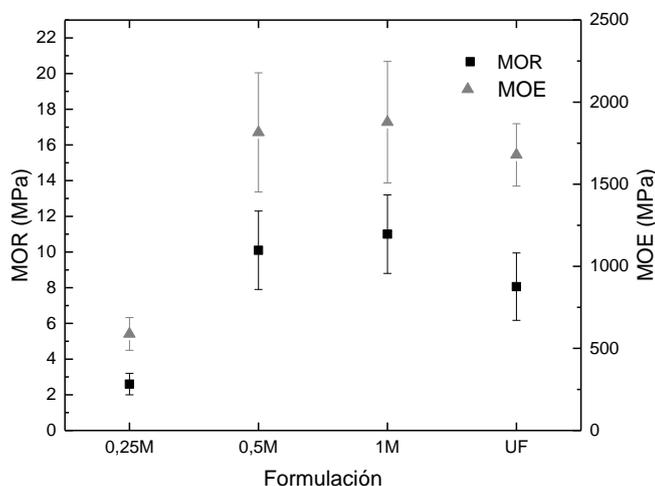


Figura 6: Módulo de ruptura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) de los tableros realizados con las diferentes formulaciones de adhesivos.

Conclusiones

En este trabajo se evaluaron adhesivos a base de proteína de larva de mosca soldado negro, la cual fue tratada con diferentes concentraciones de álcali para modificar su estructura y mejorar la compatibilidad con el sustrato. Se realizaron tableros de partículas y de los ensayos mecánicos observó una relación entre la resistencia al corte y la

cohesión interna. De los ensayos físicos realizados sobre los tableros se puede concluir que el adhesivo 1M fue el único en obtener valores de módulo de ruptura, módulo de elasticidad y cohesión interna similares al tablero realizado con el adhesivo comercial (basado en urea formaldehído). Esto facilitaría a futuro la transición del mercado desde las resinas comerciales a alternativas sustentables, amigables con el medio ambiente y sin emisiones de formaldehído.

Referencias

- ASTM D1037-12. (2020). Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials.
- ASTM D2339-98. (2017). Standard Test Method for Strength Properties of Adhesives in Two-Ply Wood Construction in Shear by Tension Loading.
- Bacigalupe, A., & Escobar, M. M. (2021). Soy Protein Adhesives for Particleboard Production – A Review. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(7), 2033–2045. doi: 10.1007/s10924-020-02036-8
- Bacigalupe, A., Fernández, M., Eisenberg, P., & Escobar, M. M. (2020). Greener adhesives based on UF/soy protein reinforced with montmorillonite clay for wood particleboard. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(37). doi: 10.1002/app.49086
- Cheng, H. N., He, Z., Ford, C., Wyckoff, W., & Wu, Q. (2020). A Review of Cottonseed Protein Chemistry and Non-Food Applications. *Sustainable Chemistry*, 1(3), 256–274. doi: 10.3390/suschem1030017
- de Meijer, M., Thurich, K., & Militz, H. (2001). Quantitative measurements of capillary coating penetration in relation to wood and coating properties. *Holz Als Roh- Und Werkstoff*, 59(1–2), 35–45. doi: 10.1007/s001070050469
- Hopkins, I., Newman, L. P., Gill, H., & Danaher, J. (2021). The Influence of Food Waste Rearing Substrates on Black Soldier Fly Larvae Protein Composition: A Systematic Review. *Insects*, 12(7), 608. doi: 10.3390/insects12070608
- Kaza, S., & Bhada-Tata, P. (2018). *Decision Maker's Guides for Solid Waste Management Technologies*.
- Salam, M., Shahzadi, A., Zheng, H., Alam, F., Nabi, G., Dezhi, S., Ullah, W., Ammara, S., Ali, N., & Bilal, M. (2022). Effect of different environmental conditions on the growth and development of Black Soldier Fly Larvae and its utilization in solid waste management and pollution mitigation. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102649. doi: 10.1016/j.eti.2022.102649
- Vnučec, D., Kutnar, A., & Goršek, A. (2017). Soy-based adhesives for wood-bonding—a review. In *Journal of Adhesion Science and Technology* (Vol. 31, Issue 8, pp. 910–931). Taylor and Francis Ltd. doi: 10.1080/01694243.2016.1237278
- Wei, Y., Yao, J., Shao, Z., & Chen, X. (2020). Water-Resistant Zein-Based Adhesives. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(20), 7668–7679. doi: 10.1021/acssuschemeng.0c01179
- Xi, X., Pizzi, A., Gerardin, C., Liao, J., Amirou, S., & Abdalla, S. (2021). Glutaraldehyde-wheat gluten protein adhesives for wood bonding. *The Journal of Adhesion*, 97(1), 88–100. doi: 10.1080/00218464.2019.1630821