

Biocompuestos de PLA reforzados con fibra de musa y sus propiedades mecánicas

María Lizet García-Salazar¹
Francisco Javier Enríquez-Medrano¹
Hened Saade-Caballero¹
Ricardo Mendoza-Carrizales¹
Julia Medrano-Macías²
José Alejandro Díaz-Elizondo^{1,§}

1 Centro de Investigación en Química Aplicada. Blvd. Enrique Reyna Hermosillo 140, Col. San José de los Cerritos, Saltillo, México. CP. 25294. (lizet.garcia@ciqa.edu.mx; hened.saade@ciqa.edu.mx; ricardo.mendoza@ciqa.edu.mx; javier.enriquez@ciqa.edu.mx).

2 Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, Saltillo, México. CP. 25315. (julia.medrano@uaaan.edu.mx).

Autor para correspondencia: alejandro.diaz@ciqa.edu.mx.

Resumen

Este estudio analizó biocompuestos de ácido poliláctico reforzados con fibra de banano (*Musa*), evaluando su efecto en las propiedades mecánicas antes y después de un envejecimiento acelerado. Los análisis (FTIR, XRD, TGA) confirmaron que la fibra contiene hemicelulosa, celulosa y lignina, con una mayor fracción de celulosa debido a su alta cristalinidad. Antes del envejecimiento, la resistencia a la tensión y el módulo de tensión no evidenciaron una mejora significativamente al aumentar el contenido de fibra, aunque sí aumentaron ligeramente la resistencia al impacto y la dureza. Sin embargo, la elongación a la rotura disminuyó. Tras 240 h de exposición en la cámara UV, las propiedades mecánicas de los biocompuestos se degradaron, reduciéndose la resistencia y el módulo de tensión, pero aumentando la elongación a la rotura. A pesar de esto, los biocompuestos reforzados mostraron mejores propiedades mecánicas que el PLA puro después del envejecimiento.

Palabras clave:

ácido poliláctico, fibra de musa, material compuesto.



Introducción

El aumento exponencial de la contaminación por plásticos y las regulaciones ambientales están impulsando a las industrias a desarrollar materiales más sostenibles. Una alternativa clave son los biocompuestos, como los polímeros reforzados con fibras naturales, los cuales han ganado relevancia por su biodegradabilidad y bajo impacto ecológico (Gholampour *et al.*, 2020; Zwawi *et al.*, 2021).

Estas fibras, obtenidas de subproductos agrícolas, ofrecen ventajas como renovabilidad, bajo costo, no toxicidad y alta resistencia (Christian *et al.*, 2016; Elshaarani *et al.*, 2013), posicionándolas como sustitutos viables de las fibras sintéticas en aplicaciones industriales (Werchefani *et al.*, 2020). Las investigaciones actuales se enfocan en compuestos poliméricos biodegradables reforzados con fibras naturales, donde los tratamientos químicos (ácido acético y soluciones alcalinas) mejoran la compatibilidad fibra-matriz al eliminar hemicelulosa y lignina, preservando la celulosa (Qian *et al.*, 2013; Nouri *et al.*, 2021).

Un estudio reciente con PLA y fibras de carrizo demostró que el tratamiento químico incrementó significativamente las propiedades mecánicas (módulo de elasticidad, resistencia a la tensión y elongación), evidenciando su eficacia (Kharchi *et al.*, 2025). Por otra parte, Berzin *et al.* (2019) evaluaron el contenido de fibra de hoja de piña en una matriz del PP sobre las propiedades reológicas y mecánicas, utilizando contenidos de 10 al 30% de fibra en peso.

El comportamiento reológico se vio afectado aumentando la viscosidad en función del contenido de fibra, mientras que las propiedades mecánicas mostraron un aumento en el módulo de Young y la tensión a la rotura de manera proporcional al contenido de fibra. Pant *et al.* (2025), evaluaron compuestos híbridos del PP que fueron reforzados con hoja de piña y nuez de areca; los resultados de este estudio demostraron que la matriz polimérica presentó buena adherencia con las mezclas de fibras, además que las propiedades mecánicas aumentaron proporcionalmente al contenido de fibra, lo que se atribuyó a una mayor cantidad de holocelulosa para mayores contenidos de fibra.

Por su parte, Binti *et al.* (2023), realizaron un estudio comparativo de diferentes fibras, Kenaf, Bambú y coco en una matriz de PLA. Las diferentes fibras fueron aplicadas en una sola dirección, lo que mejoró las propiedades mecánicas independientemente del tipo de fibras. También observaron que la absorción del agua fue mayor en comparación con el material base aumentando un 40% debido al contenido de fibras.

Este trabajo busca evaluar cómo el contenido de fibra de Musa (plátano) en una matriz de PLA (ácido poliláctico) afecta sus propiedades mecánicas, especialmente en condiciones de envejecimiento. El objetivo es comprender mejor la relación entre la fibra natural y la matriz polimérica, y cómo esto influye en las propiedades mecánicas del biocompuesto. Además, se busca generar alternativas que cumplan con las nuevas regulaciones y normativas para diversas aplicaciones.

Materiales y métodos

Como fibra natural se seleccionó la fibra de plátano o también conocida como fibra de Musa debido a su excelente resistencia. Esta fibra se obtiene del vástago del plátano y es una alternativa sostenible utilizada para fabricar diferentes productos. El biopolímero utilizado en este estudio es un termoplástico de ácido poliláctico, su temperatura de fusión ronda en los 210 °C, con índice de fluidez de 7 g 10 min y densidad de 1.2 g cm³.

Caracterización de la fibra de musa

La fibra de Musa fue caracterizada mediante técnicas analíticas para evaluar sus propiedades estructurales, térmicas y cristalográficas. Se empleó espectroscopia FTIR-ATR (Thermo Scientific Nicolet iS10) para identificar grupos funcionales, termogravimetría (TGA) (TA Instruments Q500) para analizar su estabilidad térmica bajo atmósfera de nitrógeno (25-750 °C, 10 °C min⁻¹), y difracción de rayos X (XRD) (Bruker D8 Advance, Cu-K α) para determinar su estructura cristalina

($2\theta = 5-40^\circ$, 30 mA, 40 kV). Los resultados proporcionaron información clave sobre su composición molecular, comportamiento térmico y ordenamiento cristalino.

Preparación del biocompuesto

Para elaborar los biocompuestos, las resinas de PLA y las fibras de Musa se secaron a vacío en un horno a 70°C durante 8 h. Se utilizó un mezclador interno de 60 cm^3 de capacidad marca Brabender usando rotores tipo roller. El procesamiento de las muestras se realizó a una temperatura de 190°C durante 10 min y velocidad de 70 rpm. En el Cuadro 1 se muestran la composición de los diferentes biocompuestos preparados.

Cuadro 1. Identificación y formulación de los biocompuestos.

| ID Muestra | Resina 90 (g) | Fibra de plátano (g) | Fibra de plátano (%) |
|------------|---------------|----------------------|----------------------|
| Blanco | 90 | 0 | 0 |
| 1 | 89.1 | 0.9 | 1 |
| 2.5 | 87.25 | 2.25 | 2.5 |
| 5 | 85.5 | 4.5 | 5.0 |
| 10 | 81 | 9 | 10 |
| 15 | 76.5 | 13.5 | 15 |
| 20 | 72 | 18 | 20 |
| 25 | 67.5 | 22.5 | 25 |

Para la preparación de las probetas de estudio, se hicieron placas de 3 mm de espesor por 15 cm de largo y de ancho, utilizando prensas hidráulicas marca Carver. Se colocaron 90 g del biocompuesto previamente seco y se fundió a 190°C durante 8 min, aplicando 5, 10 y 15 t de presión, después de este proceso la placa se enfrió a temperatura ambiente usando prensas de enfriamiento manteniendo la presión constante de 15 t durante el tiempo de enfriamiento. Una vez obtenidas las placas, se maquinaron en probetas tipo 5 de acuerdo con la norma ASTM D638.

Pruebas mecánicas

Se realizaron diversas pruebas mecánicas para evaluar las propiedades de la fibra de Musa. En primer lugar, se llevó a cabo una prueba de tensión utilizando un equipo de ensayos mecánicos modelo SFM, equipado con mordazas neumáticas. Para las mediciones se empleó una celda de carga de 500 N, con una longitud de referencia de 10 mm y una velocidad de cabezal de 5 mm min.

Las probetas fueron acondicionadas según la norma ASTM D618-96 y se realizaron cinco mediciones, registrándose el promedio. Además, se efectuó una prueba de impacto tipo Izod con un equipo Tinius Olsen, siguiendo la norma ASTM D256-10, en la que también se realizaron cinco mediciones y se registró su promedio. Finalmente, para determinar la dureza de los biocompuestos, se utilizó un durómetro PTC modelo 306L con una carga de 1 kg, conforme a la norma ASTM D2240-15.

Cámara de envejecimiento acelerado QUV

Para la exposición de las probetas a radiación UV, se utilizó una cámara de envejecimiento acelerado marca QUV-LAB con lámparas fluorescentes con longitud de onda de 340 nm. Las muestras fueron fijadas en un marco metálico y colocadas dentro de la cámara. Las condiciones de la prueba se establecieron de acuerdo con la norma ASTM D4329 y se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Condiciones en cámara UV.

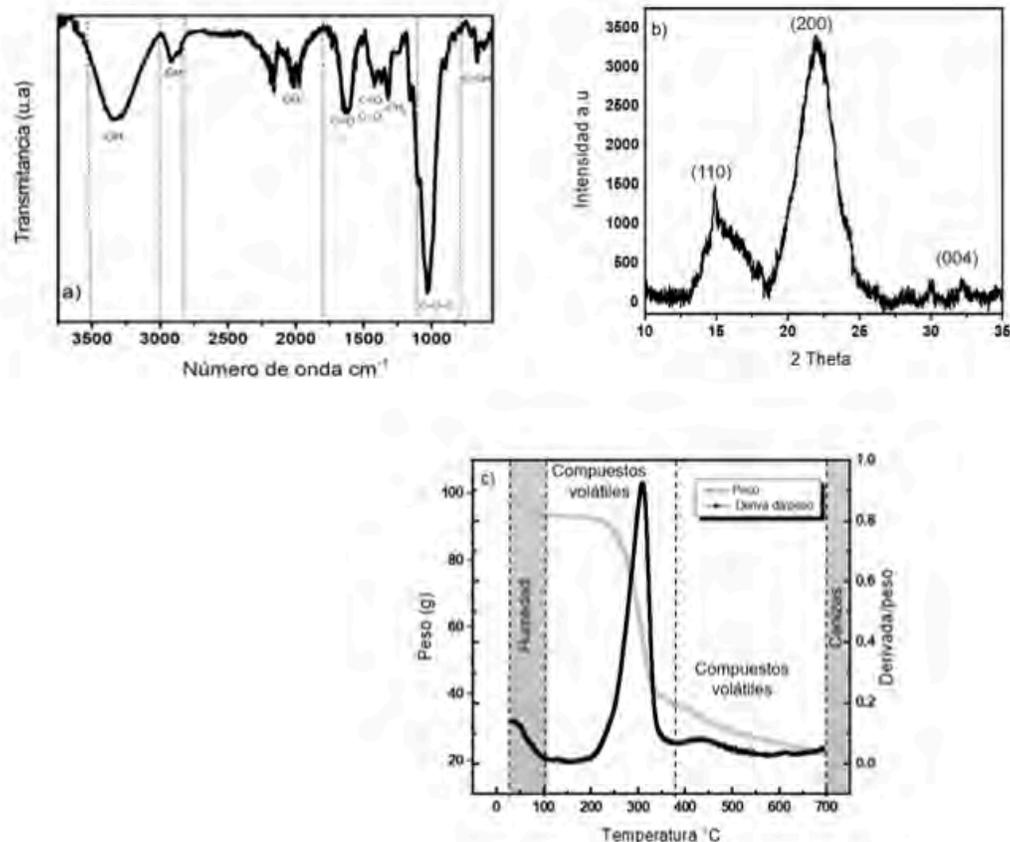
| Descripción | Tiempo | Temperatura | Irradiación a 340 nm |
|---------------------------|---------|-------------------|---|
| Radiación UV Condensación | 8 h 4 h | 60 ±3 °C 50 ±3 °C | 0.89 W m ⁻² nm ⁻¹ |

Resultados y discusión

Caracterización de la fibra de musa

La caracterización de la fibra de Musa se presenta en la Figura 1 que contiene imágenes de los análisis por FTIR, XRD y TGA. La Figura 1a muestra el espectro FTIR de la fibra de musa donde se pudo observar una amplia banda de absorción en la región de 3 000 a 3 500 cm⁻¹, esta banda se asocia con la presencia de vibraciones de estiramientos de los grupos -OH, que se encuentran en los componentes principales de la fibra (celulosa, hemicelulosa y lignina) (Pereira *et al.*, 2014). Los picos alrededor de 2 918 cm⁻¹ y 2 851 cm⁻¹ se atribuyen a los estiramientos asimétricos y simétricos del enlace -CH alifático-presentes en la hemicelulosa y celulosa (Das *et al.*, 2018).

Figura 1. Caracterización de fibra de Musa. a) FTIR, b) XRD y c) TGA.



Las bandas de absorción que se observan en 1 733 cm⁻¹ y 1 244 cm⁻¹ se relacionan con los estiramientos de enlaces C= O y C-O del grupo acetilo debido a la hemicelulosa. Los estiramientos asimétricos y simétricos del carbonilo C= O conjugado con el esqueleto del anillo aromático se observan en 1 602 y 1 509 cm⁻¹, los cuales se atribuyen a las características aromáticas de la

lignina. Las bandas de absorción de los picos $1\ 423$ y $1\ 367\ \text{cm}^{-1}$ están asociadas con la flexión simétrica $-\text{CH}_2$ que se encuentra en la lignina, hemicelulosa y celulosa.

El pico en $1\ 319\ \text{cm}^{-1}$ se atribuye a la deformación del plano $-\text{OH}$ de la celulosa (Das *et al.*, 2017). El pico particular de los enlaces β -glicosídicos de la celulosa se localiza en $1\ 155\ \text{cm}^{-1}$ y en $898\ \text{cm}^{-1}$, asignado al estiramiento simétrico C-O-C. Los picos de absorción en $1\ 103\ \text{cm}^{-1}$ y $1\ 028\ \text{cm}^{-1}$ se generan debido a la vibración esquelética del anillo de piranosa C-O-C de la celulosa y al estiramiento asimétrico de C-O-C en la celulosa y en la hemicelulosa. La banda ubicada en $655\ \text{cm}^{-1}$ corresponde a la deformación fuera del plano de C-OH en la celulosa (Cecci *et al.*, 2020).

La Figura 1b) muestra el análisis de XRD donde se puede observar un difractograma típico de celulosa (Prerna *et al.*, 2016), evidenciando reflexiones (picos) característicos en posiciones 2θ iguales a 15.9° , 21.9° y 32° correspondientes a los planos (110), (200) y (004). El índice de cristalinidad para la fibra de Musa se determinó sumando el área de los picos y dividiéndolo entre el área total del difractograma obteniendo un IC del 87.6%, este resultado muestra que la fibra de Musa presenta un alto grado de cristalinidad lo cual puede ser beneficioso para las propiedades mecánicas (Xu *et al.*, 2015).

Para analizar la estabilidad térmica de la fibra de Musa, se realizó un análisis termogravimétrico (TGA) y su derivada (DTG), como se mostró en la Figura 1c. La pérdida de peso de la fibra se observó en tres fases. La primera ocurrió en un rango de temperaturas de 21° a $110^\circ\ \text{C}$, con una pérdida de peso del 6.9%, atribuida a la evaporación del agua contenida en la fibra (Yousefi *et al.*, 2013).

La segunda fase, que representó una pérdida de peso del 56%, se presentó entre 150° a $380^\circ\ \text{C}$ y está relacionada con la pirólisis de la hemicelulosa y celulosa. Finalmente, la tercera fase mostró una pérdida de peso del 14.5%, correspondiente a la despolimerización de la lignina. En cuanto a la derivada del análisis, se observaron dos picos que reflejan las temperaturas de degradación máxima de la fibra: uno a $310^\circ\ \text{C}$, asociado con la hemicelulosa y celulosa y otro a $443^\circ\ \text{C}$, relacionado con la lignina. Estos rangos de descomposición han sido reportados en estudios previos, como el de Díez *et al.* (2020).

Efecto del contenido de fibra sobre las propiedades mecánicas

En el Cuadro 3 se muestran los resultados del módulo, resistencia a la tensión y elongación a la rotura evaluadas bajo diferentes contenidos de fibra. De los datos presentados en el Cuadro 3, se pudo observar como el contenido de fibra en la matriz polimérica del PLA no promueve un reforzamiento significativo, ya que los valores de módulo de tensión son muy similares a los del material blanco. Por otra parte, la elongación a la rotura y la resistencia a la tensión disminuye con los diferentes contenidos de fibra de Musa, pero no se logró evidenciar un comportamiento monótono con base al contenido de fibra.

Cuadro 3. Propiedades mecánicas de biocompuestos antes de ser sometidos al envejecimiento acelerado.

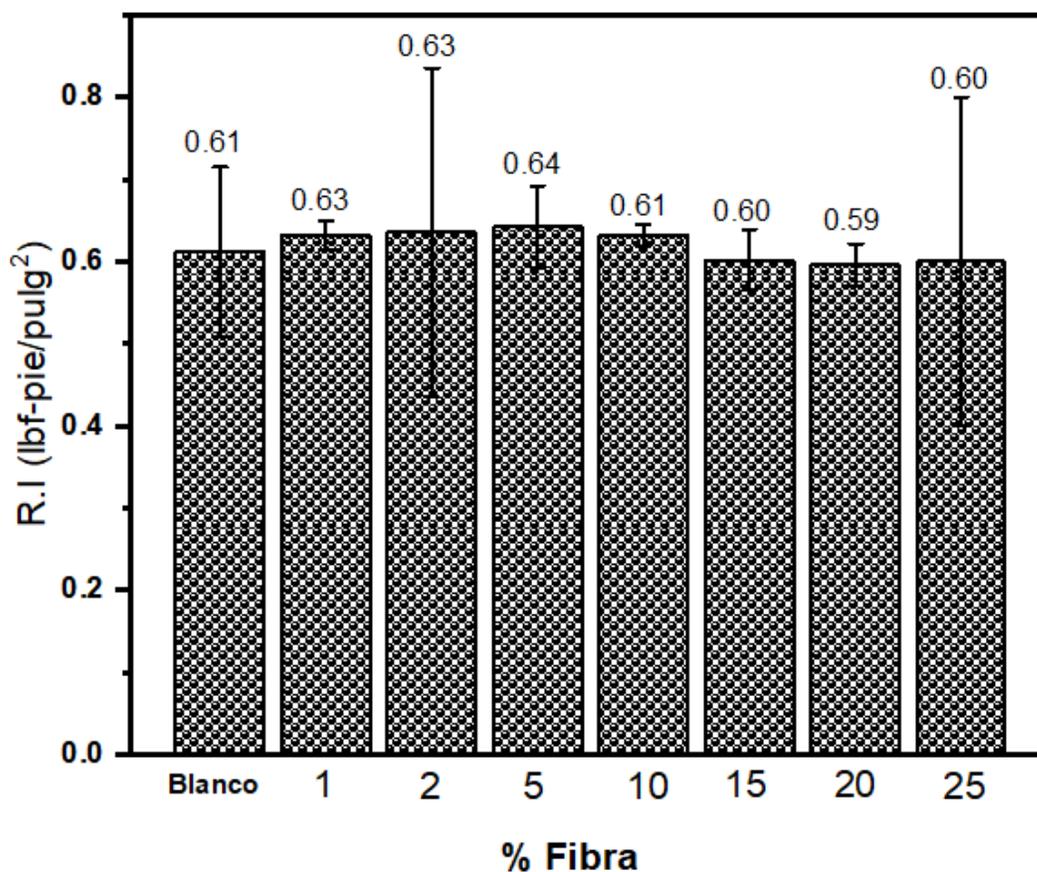
| Fibra (%) | Resistencia a la tensión (MPa) | Módulo de tensión (MPa) | Elongación a la rotura (%) |
|-----------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Blanco | 47.4 | 4 494.9 | 2.3 |
| 1 | 50.5 | 4 744.3 | 1.6 |
| 2.5 | 36.9 | 4 453.8 | 1.2 |
| 5 | 40.3 | 3 745.8 | 1.6 |
| 10 | 42.7 | 4 113.4 | 1.9 |
| 15 | 34.6 | 4 166.3 | 1.5 |
| 20 | 42.7 | 5 000.4 | 1.6 |
| 25 | 30.2 | 3 674.2 | 1.1 |

Estos resultados sugieren que el biocompuesto de PLA se volvió más frágil, este comportamiento es de esperarse y podrían indicar una mala adhesión matriz-fibra, otro posible factor pudiera estar

asociado con aglomeraciones de fibra en el PLA por una mala dispersión de la fibra, como ha sido reportado en otros estudios (Yaisun *et al.*, 2023; Oksman *et al.*, 2003). La mala adhesión ha sido relacionada con la poca hidrofiliidad y polaridad del PLA en comparación con las fibras de Musa (Chun *et al.*, 2012).

La Figura 2 representó los valores de resistencia al impacto, se puede observar un ligero aumento para con contenidos de fibra de 1, 2.5 y 5% en comparación con el material blanco. Para contenidos de fibra de 10, 15, 20 y 25%, los valores tienden a reducirse, mostrando un comportamiento similar al del material blanco. Esta tendencia, sumada a la alta variación mostrada en las desviaciones estándar, podría indicar una mala dispersión de la fibra en la matriz polimérica, que limita la transferencia de esfuerzos y, en consecuencia, impide una mejora sustancial en la resistencia al impacto del biocompuesto.

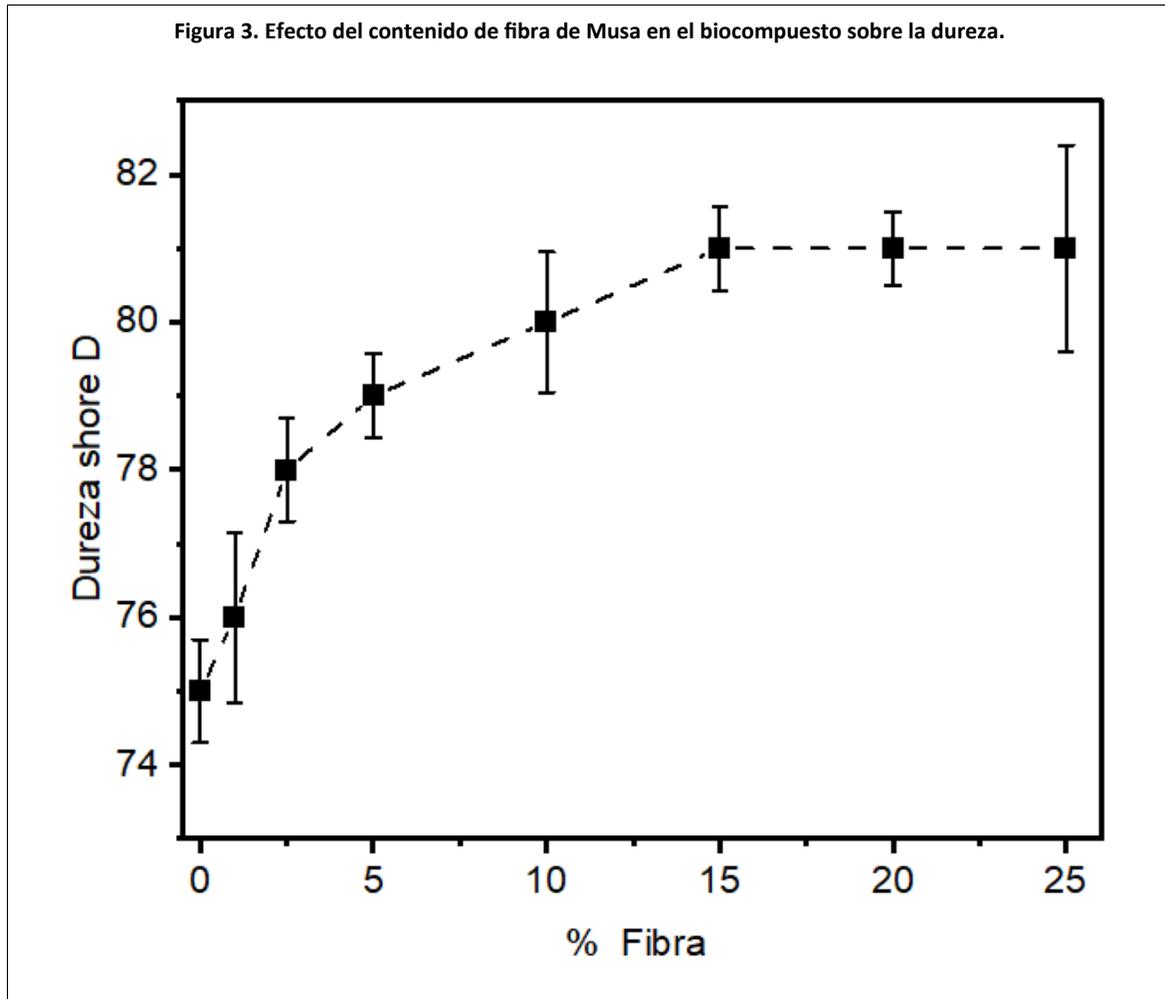
Figura 2. Resistencia al impacto de los biomateriales formulados con diferentes contenidos de fibra de Musa.



Existen dos mecanismos por los cuales las fibras pudieran perjudicar la resistencia al impacto del biocompuesto, el primero indica que las fibras tienden a inhibir la deformación y la movilidad dúctil de las moléculas de polímero, lo que reduciría la capacidad del compuesto para absorber energía durante la propagación de grietas, en el segundo las fibras también generan regiones de alta tensión que requieren menos energía para iniciar una grieta Dichas regiones pueden localizarse en los extremos de las fibras, áreas de mala adhesión interfacial y zonas donde las fibras entran en contacto entre sí (Park *et al.*, 1997). Para obtener buena resistencia al impacto, es necesario promover una unión óptima tal como lo menciona Servais *et al.* (2002).

La dureza muestra un incremento claro con el contenido de fibra (Figura 3), este comportamiento no se refleja en las propiedades tensiles (Cuadro 3). Esta diferencia puede atribuirse a que la dureza evalúa la resistencia superficial a la penetración, mientras que las propiedades tensiles dependen de la integridad estructural y la transferencia de esfuerzos en todo el biocompuesto. La presencia de fibras más rígidas que el PLA explica el aumento de dureza (Abbass *et al.*, 2020), pero la posible mala adhesión matriz-fibra y la dispersión no uniforme podrían afectar negativamente las propiedades tensiles (Oksman *et al.*, 2003; Chun *et al.*, 2012).

Figura 3. Efecto del contenido de fibra de Musa en el biocompuesto sobre la dureza.



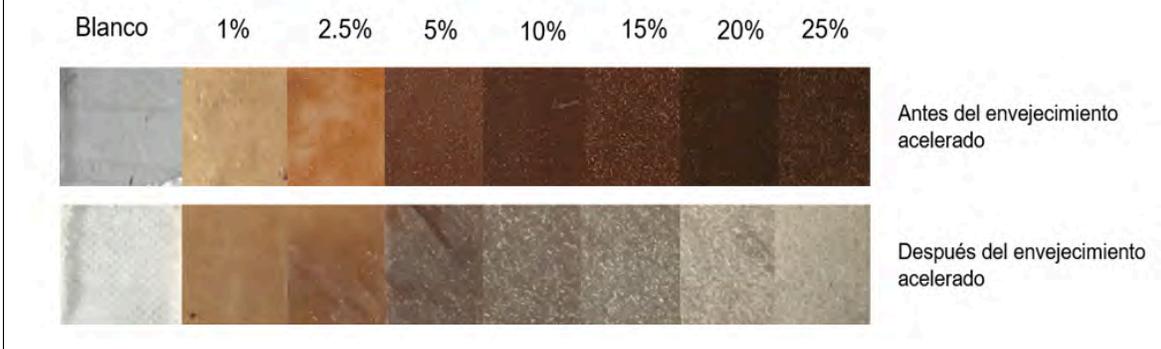
Análisis visual

Efectos del envejecimiento acelerado sobre las propiedades mecánicas

La Figura 4 muestra fotografías antes y después de exponer los biocompuestos con diferentes contenidos de fibra en la cámara de envejecimiento acelerado. Se observó como el aspecto físico de las muestras cambió completamente, se generó una textura más rugosa, además de evidenciar opacidad en la coloración en todos los casos.



Figura 4. Aspecto visual de biocompuestos antes y después de someterlos al envejecimiento acelerado.



Para mayores contenidos de fibra de 10-25%, se promueve una erosión superficial, exponiendo las fibras en la superficie como se muestra en la Figura 4. Los cambios químicos que se producen en la superficie de los diferentes biocompuestos son conocidos comúnmente como fotodegradación (Adhikary *et al.*, 2008; Zivkovic *et al.*, 2016).

El Cuadro 4 muestra cómo el envejecimiento acelerado afecta las propiedades mecánicas de los biocompuestos. La resistencia y el módulo a la tensión disminuyen notablemente hasta un 50% y 90%, respectivamente evidenciando una fragilización del material. No obstante, la elongación a la rotura aumentó en todos los casos, posiblemente por la degradación de las fibras que actúa como plastificante, según lo reportado por Samilpa *et al.* (2022); Islam *et al.* (2010). A pesar de la degradación, los biocompuestos conservaron mejores propiedades que el material base, lo que sugiere que las fibras de Musa podrían aportar beneficios mecánicos a largo plazo.

Cuadro 4. Propiedades mecánicas de biocompuestos después de ser sometidos al envejecimiento acelerado.

| % fibra | Resistencia a la tensión (MPa) | Módulo de tensión (MPa) | Elongación a la rotura (%) |
|---------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Blanco | 23.6 | 391.7 | 2.3 |
| 1 | 25.4 | 163.9 | 3.5 |
| 2.5 | 24.7 | 449.3 | 3 |
| 5 | 12.2 | 500.7 | 2 |
| 10 | 24.1 | 529.3 | 3 |
| 15 | 17.1 | 551 | 2.2 |
| 20 | 28.3 | 155.3 | 3.3 |
| 25 | 11.3 | 324.7 | 2.6 |

Conclusiones

Los biocompuestos de PLA reforzados con fibra de Musa mostraron un incremento en el módulo de tensión para contenidos del 1% y 20%, con mejoras del 5.5% y 11.2%, respectivamente, respecto al PLA puro. Para concentraciones de 2.5%, 5%, 10%, 15% y 25% se observó una reducción en la resistencia a la tensión, atribuible a una dispersión no homogénea del refuerzo y a una adhesión interfacial deficiente.

Tras 240 h de envejecimiento acelerado por radiación UV, la resistencia a la tensión se redujo entre un 50% y 90%; sin embargo, los compuestos con 1% y 20% de fibra mantuvieron valores superiores que el material blanco, evidenciando un efecto plastificante por degradación parcial de las fibras, lo que también se reflejó en un aumento de la elongación a la ruptura.

La dureza Shore D presentó una tendencia lineal con el incremento del contenido de fibra, alcanzando un aumento del 20% en el biocompuesto con 25%, asociado a la elevada cristalinidad

de la celulosa (IC= 87.6%). La resistencia al impacto se incrementó levemente en formulaciones con 1-5% de fibra, atribuida a la capacidad de las fibras para disipar energía. Estos resultados sugieren que contenidos bajos de fibra ofrecen un balance favorable entre rigidez, tenacidad y estabilidad frente al envejecimiento UV.

Agradecimientos

Expresamos nuestro sincero agradecimiento al personal de caracterización: Fabiola Castellanos Padilla, Luis Alfonso Mercado Silva, Guadalupe Telles Padilla y Jesús Lara Sánchez.

Bibliografía

- 1 Abbass, O. A.; Salih, A. I. and Al Hurmuzy, O. M. 2020. Study of the mechanical and physical properties of bio-composite material based on wheat starch and wheat straw fibers. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 745:1-12. Doi: 10.1088/1757-899X/745/1/012075.
- 2 Adhikary, K. B.; Pang, S. and Staiger, M. P. 2008. Dimensional stability and mechanical behaviour of wood-plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE). Compos B Eng. 39(5):807-815. Doi: 10.1016/j.compositesb.2007.10.005.
- 3 Berzin, F.; Amornsakchai, T.; Lemaitre, A.; Castellani, R. and Vergnes, B. 2019. Influence of fiber content on rheological and mechanical properties of pineapple leaf fibers-polypropylene composites prepared by twin-screw extrusion. Polym. Compos. 40(12):4519-4529. Doi: 10.1002/pc.25308.
- 4 Christian, S. J. 2016. Natural fibre-reinforced noncementitious composites (biocomposites). In Nonconventional and Vernacular Construction Materials. Elsevier. 111-126. Doi: 10.1016/b978-0-08-100038-0.00005-6.
- 5 Cecci, R. R. R.; Passos, A. A. and Aguiar-Neto, T. C. 2020. Banana pseudostem fibers characterization and comparison with reported data on jute and sisal fibers. SN Appl. Sci. 2:20. Doi: 10.1007/s42452-019-1790-8.
- 6 Chun, K. S.; Husseinsyah, S. and Osman, H. 2012. Mechanical and thermal properties of coconut shell powder filled polylactic acid biocomposites: effects of the filler content and silane coupling agent. J. Polym. Res. 19(5):1-. Doi: 10.1007/s10965-012-9859-8.
- 7 Das, D.; Hussain, S.; Ghosh, A. K. and Pal, A. K. 2018. Studies on cellulose nanocrystals extracted from *Musa sapientum*: structural and bonding aspects. Cellul Chem Technol. 52(9-10):729-739.
- 8 Das, D.; Mukherjee, M.; Pal, A. K. y Ghosh, A. K. 2017. Extracción de fibras de xilema de *Musa sapientum* y caracterización. Fibers Polym. 18(11):2225-2234.
- 9 Díez, D.; Urueña, A.; Piñero, R.; Barrio, A. and Tamminen, T. 2020. Determination of hemicellulose, cellulose, and lignin content in different types of biomasses by thermogravimetric analysis and pseudocomponent kinetic model (TGA-PKM Method). Processes. 8(9):1-21. Doi: 10.3390/pr8091048.
- 10 Elshaarani, M. T.; Yaakob, Z.; Dahlan, K. Z. M. and Mohammad, M. 2013. Jatropha deoiled cake filler-reinforced medium-density polyethylene biocomposites: effect of filler loading and coupling agent on the mechanical, dynamic mechanical and morphological properties. Polym Compos. 34(5):746-756. Doi: 10.1002/pc.22479.
- 11 Gholampour, A. and Ozbakkaloglu, T. 2020. A review of natural fiber composites: properties, modification and processing techniques, characterization, applications. J. Mater Sci. 55(3):829-892. Doi: 10.1007/s10853-019-03990-y.
- 12 Islam, M. S.; Pickering, K. L. and Foreman, N. J. 2020. Influence of alkali treatment on the interfacial and physico mechanical properties of industrial hemp fibre

- reinforced polylactic acid composites. *Polym. Degrad. Stabil.* 95(1):59-65. Doi: 10.1016/j.compositesa.2010.01.006.
- 13 Kharchi, N.; Barka, B.; Rouabah, F.; Mourad, A. H. I.; Dadache, D.; Magali, F.; Houicha, H. and Bencid, A. 2025. Citric acid treatment: a new approach to improving *Ampelodesma mauritanica* fibers-poly-lactic acid composites. *Ind. Crops Prod.* 223-Art-120143. Doi: 10.1016/j.indcrop.2024.120143.
 - 14 Khawas, P.; Das, A. J. and Deka, S. C. 2016. Production of renewable cellulose nanopaper from culinary banana (*Musa ABB*) peel and its characterization. *Ind. Crops Prod.* 86:102-112. Doi: 10.1016/j.indcrop.2016.03.028.
 - 15 Nouri, M.; Griballah, I.; Tahlaiti, M.; Grondin, F. and Beaugrand, J. 2021. Plant extraction and physicochemical characterizations of untreated and pretreated diss fibers (*Ampelodesmos mauritanicus*). *J. Nat. Fibers.* 18(8):1083-1093. Doi: 10.1080/15440478.2019.1687062.
 - 16 Oksman, K.; Skrifvars, M. and Selin, J. F. 2003. Natural fibres as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites. *Compos. Sci. Technol.* 63(9):1317-1324. Doi: 10.1016/S0266-3538(03)00103-9.
 - 17 Pereira, A. L. S.; Nascimento, D. M.; Filho, M. S.; Cassales, A. R.; Morais, J. P.; Paula, R. C. and Feitosa, J. P. 2014. Banana (*Musa* sp. cv. Pacovan) pseudostem fibers are composed of varying lignocellulosic composition throughout the diameter. *BioResources.* 9(4):7749-7763. Doi: 10.15376/BIORES.9.4.7749-7763.
 - 18 Pant, M. and Palsule, S. 2025. Synergistic effects of Areca and pineapple fiber reinforcements for sustainability of functionalized polypropylene hybrid composites. *Ind. Crops Prod.* 223-Art-120253. Doi: 10.1016/j.indcrop.2024.120253.
 - 19 Park, B. D. and Balatinecz, J. J. 1997. Mechanical properties of Wood fiber/toughened Isostatic polypropylene composites. *Polymer Composites.* 18(1):79-89.
 - 20 Servais, C.; Luciani, A. and Månson, J. A. E. 2002. Squeeze flow of concentrated long fibre suspensions: experiments and model. *Journal of Non-Newton Fluid Mechanics.* 104(2-3):165-184. Doi: 10.1016/S0377-0257(02)00018-6.
 - 21 Samilpa, A. R.; Ferreira, D. P. and Teixeira, M. A. 2022. Accelerated aging effect in physical and thermo-mechanical properties of maize starch biocomposites reinforced with *Agave salmiana* fibers from different leaf ages. *Fibers Polym.* 23(3):807-818. Doi: 10.1007/s12221-022-3151-2.
 - 22 Werchefani, M.; Lacoste, C.; Belguith, H.; Gargouri, A. and Bradai, C. 2020. Effect of chemical and enzymatic treatments of alfa fibers on polylactic acid bio-composites properties. *Journal of Composite Materials.* 54(30):4959-4967. Doi: 10.1177/0021998320941579.
 - 23 Wang, C. and Ying, S. 2014. A novel strategy for the preparation of bamboo fiber reinforced polypropylene composites. *Fibers and Polymers.* 15(1):117-125. Doi: 10.1007/s12221-014-0117-z.
 - 24 Xu, C.; Zhu, S.; Xing, C.; Li, D.; Zhu, N. and Zhou, H. 2015. Isolation and properties of cellulose nanofibrils from coconut palm petioles by different mechanical processes. *PLoS One.* 10(4):1-11. Doi: 10.1371/journal.pone.0122123.
 - 25 Yaisun, S. and Trongsatitkul, T. 2023. PLA based hybrid biocomposites: effects of fiber type, fiber content, and annealing on thermal and mechanical properties. *Polymers.* 15(20)-Art-4106. Doi: 10.3390/polym15204106.
 - 26 Yousefi, H.; Faezipour, M.; Hedjazi, S.; Mousavi, M. M.; Azusa, Y. and Heidari, A. H. 2013. Comparative study of paper and nanopaper properties prepared from bacterial cellulose nanofibers and fibers/ground cellulose nanofibers of canola straw. *Ind. Crops Prod.* 43(2):732-737. Doi: 10.1016/j.indcrop.2012.08.030.

- 27 Yusoff, R. B.; Takagi, H. and Nakagaito, A. N. 2023. A comparative study of polylactic acid (PLA)-based unidirectional green hybrid composites reinforced with natural fibers such as kenaf, bamboo and coir. *Hybrid Advances*. 3(1). Doi: 10.1016/j.hybadv.2023.100073.
- 28 Zwawi, M. A. 2021. Review on natural fiber bio composites, surface modifications and applications. *Molecules*. 26(2)-Art-404. Doi: 10.3390/molecules26020404.



Biocompuestos de PLA reforzados con fibra de musa y sus propiedades mecánicas

| |
|--|
| Journal Information |
| Journal ID (publisher-id): remexca |
| Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas |
| Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc |
| ISSN (print): 2007-0934 |
| Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias |

| |
|---------------------------------------|
| Article/Issue Information |
| Date received: 00 April 2025 |
| Date accepted: 00 July 2025 |
| Publication date: 15 October 2025 |
| Publication date: Sep-Oct 2025 |
| Volume: 16 |
| Issue: esp30 |
| Electronic Location Identifier: e4042 |
| DOI: 10.29312/remexca.v16i30.4905 |
| Article Id (other): 00005 |

Categories

Subject: Artículos

Palabras clave

Palabras clave

ácido poliláctico
fibra de musa
material compuesto

Counts

Figures: 4
Tables: 4
Equations: 0
References: 28