Desarrollo de un material biobasado a partir del plátano en el departamento de Risaralda

Lizeth Natalia García Ramirez[1], Luisa Fernanda Herrera Quintero[2], Juan José Rodríguez Marín[3], Verónica Gil Garcia[4]

Recibido: 30 de julio de 2024 Aceptado: 17 de octubre de 2024 Actualizado: 19 de marzo de 2025

DOI: 10.17151/luaz.2024.58.8

Resumen: La presente investigación aborda la síntesis y caracterización de un material compuesto biobasado a partir de harina y fibras lignocelulósicas, obtenido de residuos de la pulpa y la cáscara del plátano (Musa paradisiaca), variedad Dominico Hartón, provenientes del departamento de Risaralda. Este estudio se enmarca en la búsqueda de alternativas sostenibles que reemplacen a los polímeros derivados del petróleo, cuyos problemas de degradación y reciclaje contribuyen a la contaminación ambiental. Se desarrolló un material biobasado obtenido por técnica de moldeo por compresión, en donde la formulación de los componentes de la mezcla, con los cuales se obtuvo la más alta resistencia mecánica, fue: una matriz base constituida por 34,5 % de harina de plátano, 55 % de agua, 10 % de glicerina y 0.5 % de ácido acético. Fueron evaluadas diferentes concentraciones de fibra (3, 5 y 7 %) con el fin de obtener características mecánicas (tracción y flexión). Los resultados de los ensayos mecánicos revelaron que las concentraciones de fibra afectan significativamente las características mecánicas del material, destacándose el refuerzo del 3 % por sus mejores propiedades en el ensayo a tracción, y por el lado del ensayo a flexión el refuerzo al 5 % presentó las mejores características. Se realizó el análisis fisicoquímico y térmico (espectroscopía IR y TGA/DSC). Se evaluó el comportamiento térmico de las muestras con la técnica de calorimetría de barrido diferencial, resultados de: 84.7°C y 4.62 J/g para gelatinización del almidón, con una humedad de 9.81 % y a 170°C, y una entalpía de 5.352 J/g para la transición vítrea de la matriz reforzada.

Palabras claves: fibras lignocelulósicas, dominico hartón, residuos agroindustriales, termocompresión.

Development of a bio-based material from plantain from the department of Risaralda.

Abstract: This research deals with the synthesis and characterization of a bio-based composite material from flour and lignocellulosic fibers obtained from banana (Musa paradisiaca) pulp and peel residues, variety Dominico Hartón, from the department of Risaralda. This study is part of the search for sustainable alternatives to petroleum-derived polymers, whose degradation and recycling problems contribute significantly to environmental pollution. A bio-based material obtained by compression molding technique was developed. The formulation of the components of the mixture with which the highest mechanical resistance was obtained was: A base matrix consisting of 34.5% banana flour, 55% water, 10% glycerin and 0.5% acetic acid. Different fiber concentrations (3, 5 and 7%) were evaluated in order to obtain mechanical characteristics (tensile and flexural). The results of the mechanical tests revealed that the fiber concentrations significantly affect the mechanical characteristics of the material, with the 3% reinforcement standing out for its better properties in the tensile test and in the flexural test, the 5% reinforcement presented the best characteristics. The physicochemical and thermal analysis (IR spectroscopy and TGA/DSC) was

carried out. The thermal behavior of the samples was evaluated with the differential scanning calorimetry technique with results of: 84.7°C and 4.62 J/g for starch gelatinization, with a humidity of 9.81% and at 170°C and an enthalpy of 5.352 J/g for the glass transition of the reinforced matrix.

Key Word: lignocellulosic fibers, domino cardboard, agro-industrial waste, thermo-compression

---

Introducción

En los últimos años la preocupación mundial por la contaminación ambiental y la dependencia de los polímeros derivados del petróleo han impulsado la investigación de materiales sostenibles. Los plásticos convencionales, siendo versátiles y ampliamente utilizados, contribuyen a la acumulación de residuos y contaminación de los ecosistemas. De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), cada año más de 280 millones de tongeladas de productos plásticos de vida corta terminan en la basura. En el año 2019, los plásticos generaron 1.800 millones de toneladas métricas de emisiones de gases de efecto invernadero, el 3,4 % del total mundial, (UNEP, 2019). Siendo la producción de plástico uno de los procesos de fabricación más intensivos en energía del mundo; un factor causante de la crisis climática. En este contexto, los materiales biobasados emergen como una solución prometedora para mitigar estos problemas. Estos materiales no solo son biodegradables, sino que también pueden ser sintetizados a partir de subproductos y residuos agrícolas y agroindustriales, promoviendo una economía circular y sostenible.

En el departamento de Risaralda, el cultivo de plátano, específicamente de la variedad Dominico Hartón, genera una gran cantidad de residuos ya que, por cada planta de plátano solo se aprovecha entre el 20 y el 30 %, dependiendo del rendimiento del cultivo, el restante es desechado hasta que se descompone (Ibarra y Márquez, 2022). Estos residuos no se aprovechan de manera eficiente, representando un desafío ambiental y económico, sin embargo, estos subproductos contienen almidón y fibras lignocelulósicas, componentes que pueden ser transformados en materiales compuestos de alto valor agregado. (Rojas y Ramírez, 2019)

La presente investigación surge con el propósito de aprovechar los residuos generados en la cadena de producción del plátano, residuos que actualmente son desperdiciados a pesar de su gran potencial. La motivación principal en este estudio es reducir el uso de plásticos convencionales y proporcionar a los pequeños productores una alternativa para la gestión de estos residuos, además de generar ingresos adicionales.

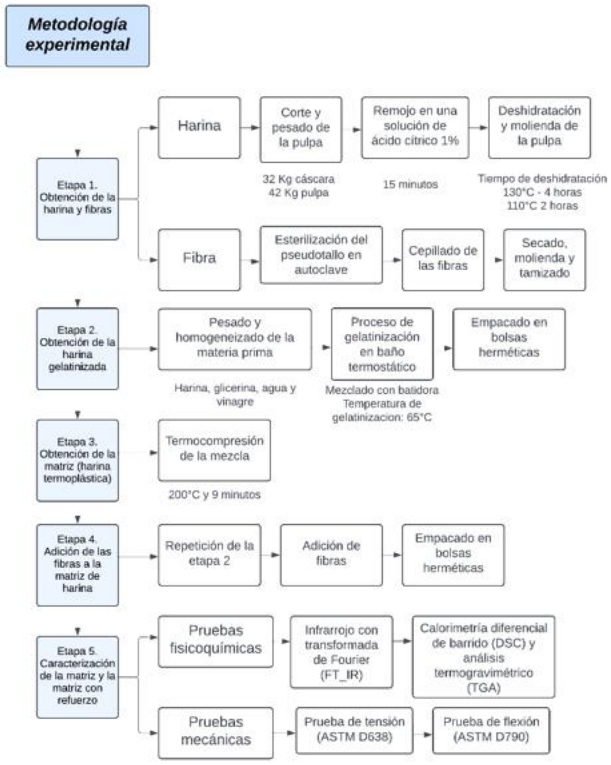
Esta investigación incluye una contextualización sobre el uso de plásticos y la problemática asociada, así como el empleo del plátano y sus residuos como una alternativa sostenible. A través de una metodología experimental, se evaluó la técnica de moldeo por compresión para la obtención de un material biobasado elaborado a partir de harina de plátano, reforzado con fibra de la cáscara y/o pseudotallo. Las formulaciones cambiaron los porcentajes de harina de plátano, glicerina, agua y ácido acético, y se analizaron los resultados mecánicos y fisicoquímicos para evaluar la capacidad del material biobasado y la influencia del refuerzo en la matriz.

El objetivo en esta investigación es demostrar la viabilidad de crear un material biobasado a partir de los residuos del plátano, capaz de sustituir a los polímeros derivados del petróleo en diversas

aplicaciones. Se espera que los resultados obtenidos resalten el potencial de estos residuos y promuevan su aprovechamiento en la creación de materiales sostenibles y de alto valor agregado.

Metodología

Figura 1. *Metodología experimental*



El compuesto está conformado por una matriz (fase continua) de harina extraída de la pulpa del plátano. Para su producción se empleó un cultivo de la región de Risaralda, para mantener constantes las variables fisicoquímicas del ambiente agrícola de producción.

El refuerzo del compuesto se constituirá por las fibras extraídas de la cáscara. Se utilizaron los residuos de cáscaras obtenidas del restaurante "Con gusto para servirle" de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Para evaluar y caracterizar de manera integral las propiedades y comportamiento del material en estudio, se realizaron las siguientes pruebas fisicoquímicas. **Infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR)**: Determinación estructural e identificación de especies orgánicas (Se aplica a la matriz y a las fibras). **Calorimetría diferencial de barrido (DSC) y análisis termogravimétrico analítico (TGA) (ASTM D3418)**: Comportamiento con respecto a los cambios térmicos (se aplica a la matriz y refuerzo).

Se analizaron las propiedades mecánicas del polímero biobasado en estudio, mediante una serie de pruebas destructivas, siguiendo los estándares de la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales ASTM. Estas pruebas son esenciales para comprender cómo este material responde a

diferentes tipos de esfuerzos, siendo crucial para su aplicación. Para ello, se llevaron a cabo los siguientes ensayos:

Prueba de tensión (ASTM D638-14): Mide la resistencia y deformación del material bajo tracción. Determina propiedades como módulo de elasticidad, límite elástico y alargamiento. **Prueba de flexión (ASTM D790-17):** Evalúa la resistencia a la flexión del polímero y proporciona datos sobre su módulo y resistencia.

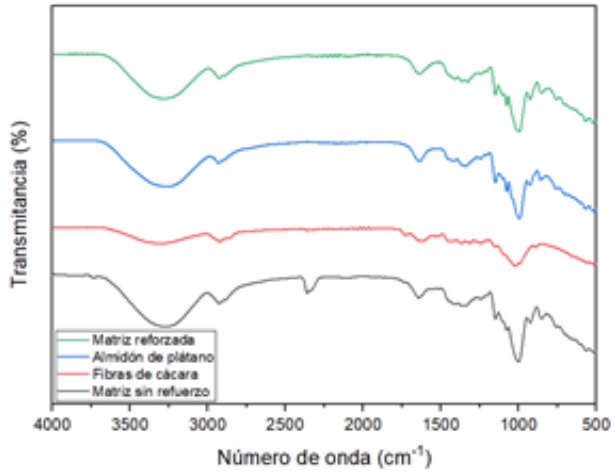
Resultados

Propiedades fisicoquímicas y térmicas del material biobasado

Espectroscopía Infrarroja de matriz de harina de plátano.

El análisis de espectroscopía de infrarrojo por transformadas de Furrier (FTIR) se realizó en un equipo marca Thermo Scientific modelo Nicolet Summit X, serie BGA2311804. Este fue realizado en el laboratorio de la escuela de química de la Universidad tecnológica de Pereira.

Figura 2. *Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para almidón, fibras, matriz reforzada y sin refuerzo de fibras de cáscara de plátano Dominico Hartón*



En los espectros IR se observan las bandas características para almidón, fibras de cáscara, matriz termoplástica y matriz termoplástica reforzada con fibras de cáscara. La señal ancha en el rango de 3100-3400 cm^{-1} es característica del estiramiento de enlaces hidroxilo (OH) (Álvarez, 2022), al igual que la señal en el rango de 1280-1450 cm^{-1}, que se asocia a la flexión de este grupo O-H. La señal en 2920 cm^{-1} se atribuye a vibración de enlaces C-H presente en la celulosa. El pico en 1650 cm^{-1} corresponde a las vibraciones de los grupos C=O, asociada a los enlaces hemiacetales del almidón. Se observan tres señales en la región de huella dactilar en 1000 cm-1, presentes en el almidón de plátano (Martínez y Méndez, 2014). Para la primera señal (1000 cm^{-1}) y segunda (1090 cm^{-1}) se relacionan con las vibraciones de los enlaces C-O (Goheen y Wool, 1991), para la tercera señal se relaciona con los grupos O-H por la presencia de agua en el almidón contenido en la matriz, además que estas señales pueden corresponder a las vibraciones C-O-C del anillo de la β-glucopiranosa constituyente de la celulosa (Arreola y Galeana, 2022).

Calorimetría diferencial de barrido (DSC) para almidón de plátano

Los análisis térmicos (DSC/TGA) fueron realizados en un equipo marca Discovery SDT 650. Estos fueron realizados en el laboratorio de la escuela de química de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Figura 3. *Termograma DSC de almidón de plátano Dominico Hartón*

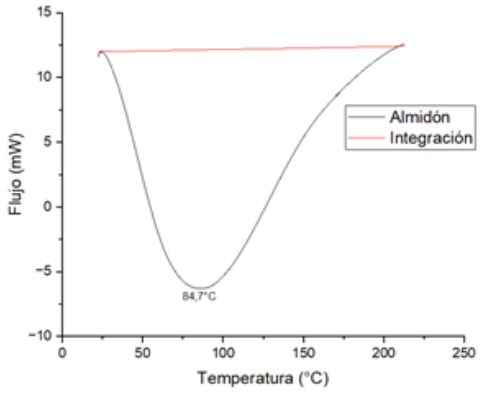


Tabla 1. *Procesos térmicos del almidón Dominico Hartón por DSC*

Pico	Temperatura (°C)	Entalpía (J/g)	Proceso
1	84,7	4,64	Gelatinización

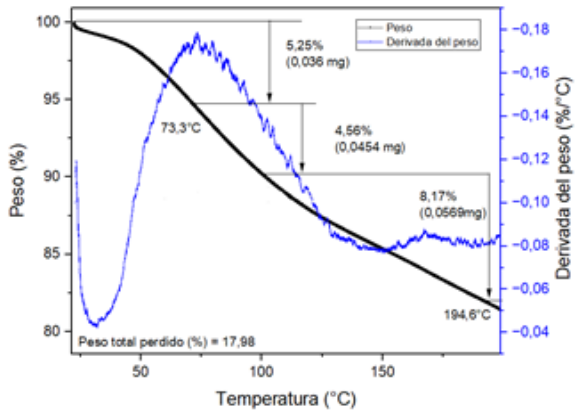
El almidón extraído de la harina de plátano presenta un pico endotérmico asociado a la temperatura de gelatinización, para la Figura 3 se observa un pico máximo de 84.7°C; este valor es mayor que los reportados por otros autores, donde el rango para el almidón de plátano se encuentra entre 68-76°C de acuerdo con la variedad de plátano (Vieira da Mota y Lajolo, 2000), 67.7°C (Montoya y Quintero, 2014), 63-79°C para almidón de plátano dominico hartón (Mantilla, 2021). Esta variación de temperatura se debe a varios factores como los genes de la fruta (Dufour y Gibert, 2009), el clima durante su cultivo y el momento específico de la cosecha. (Montoya y Quintero, 2014) Además, esta se asocia al mayor contenido de zonas semi-cristalinas, que brindan a la molécula de almidón estabilidad del grano (Imberty y Chanzy, 1988) al poseer mayor contenido de amilosa; por esta razón es necesaria una cantidad de energía mayor que otros almidones para su gelatinización (Hoyos y Jaramillo, 2012).

La entalpía de gelatinización del almidón extraído corresponde a 4.62 J/g, similar con respecto a los reportados por otros autores: 2.291J/g ((Montoya y Quintero, 2014), de 5–20 J/g (BeMiller y Whistler, 2009) y 17,5 J/g (Zhang y Hamaker) para almidón de plátano gelatinizado. La entalpía de gelatinización indica el momento en el que el almidón pierde su orden molecular, ya que la estructura semi-cristalina del almidón se desordena y transiciona a una forma amorfa (Tester y Morrison, 1990). Esta transición sucede cuando las dos hélices de la amilopectina se fusionan y la cristalinidad se pierde (Cooke y Gidley), una entalpía de gelatinización alta se asocia a la capacidad

de hinchamiento, el tiempo necesario para la transición se prolonga y se alcanzan temperaturas más altas, tanto de gelatinización como de descomposición (Niño y García, 2018).

Análisis termogravimétrico (TGA) para almidón de plátano

Figura 4. *Termograma TGA de almidón de plátano Dominico Hartón*



El pico de la Figura 4 es asociado a la pérdida de agua del almidón (Niño y García, 2018), (Cajiao y Bustamante, 2016), este porcentaje fue de 5.25 % (0.036 mg) del total de peso de la muestra, este comienza en 32.4°C y termina en 146.9°C.

Para conocer la humedad aproximada presente en el almidón de plátano se tomó el rango de 25°C hasta 100°C, obteniéndose una pérdida de peso de 9.81 %, valor similar a los obtenidos por otros autores que fueron: 8.7°C (Montoya y Quintero, 2014), 9.26°C (Lawal y Ogundiran, 2008) y 7.76°C (Pozo, 2019) para la misma variedad de plátano, Dominico Hartón.

Calorimetría diferencial de barrido (DSC) para matriz reforzada con fibra de cáscara

Figura 5. *Termograma DSC de matriz termoplástica reforzada con fibra de cáscara (3 %)*

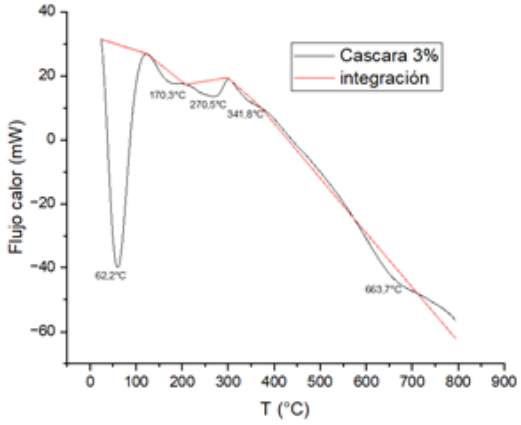


Tabla 2. *Proceso térmico de la matriz reforzada 3 % por DSC*

Pico	Temperatura(°C)	Entalpía (J/g)	Proceso
1	62,2	1046,3	Pérdida de humedad
2	170,3	5,352	Transición vítrea
3	270,5	5.352	Degradación de la celulosa
4	341,8	5,352	Degradación de componentes de bajo peso molecular
5	663,7	1319,2	Degradación polisacáridos de alto peso molecular

Al analizar la Figura 5, se pueden observar 5 picos endotérmicos, el primer pico a 62.2 °C con una entalpía de 1046.33 J/g, este pico es mayor a los reportados por otros autores para harina de plátano Dominico Hartón, a una temperatura de 73.8°C y una entalpía de 2.015 J/g (Montoya y Quintero, 2014), 70.7°C y 29.64 J/g (Castaño y Correa, 2019) asociadas a la gelatinización de la harina. Este aumento se debe al proceso de termo plastificación, ya que la glicerina puede formar puentes de hidrógeno con el agua de manera fácil, también con la amilosa/amilopectina presente en el almidón de la harina de plátano. El efecto de los plastificantes adicionados también está relacionado con la afinidad de estos a los componentes macromoleculares del polímero y las interacciones con los grupos polares para el presente estudio. La glicerina posee afinidad tanto para la harina como las fibras de cáscara, esta entalpía se relaciona a la pérdida de humedad (Niño y García, 2018), (Cajiao y Bustamante, 2016).

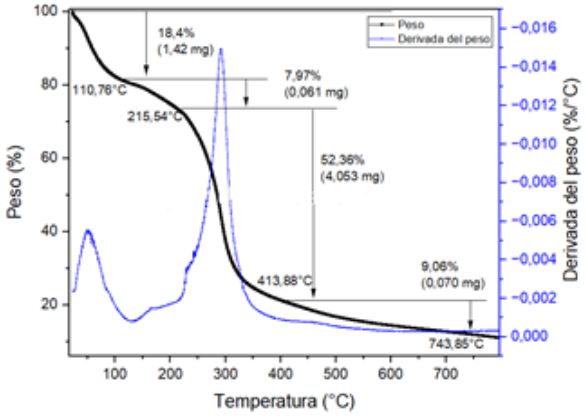
El segundo pico se encuentra en 170°C, que posee una entalpía de 5.352 J/g, correspondiente a la transición vítrea. La determinación de esta (Tg) suele ser complicada para materiales a base de almidón (Da Róz y Zmbon, 2011), esto se debe a que el cambio es mínimo o se está incluido en la línea base (Tester y Debon, 2000). La temperatura de transición vítrea para otros materiales fue de 114-150 (Cajiao y Bustamante, 2016), a partir de harina de yuca y fibra de fique, 150°C (Montoya y Quintero, 2014) para harina de plátano Dominico Hartón, 145 y 147°C (Godbole, S., Latkar, 2003) para películas biodegradables de almidón termoplástico, 160-200 °C (Mondragón, M., Arroyo, 2008) para biocompuestos a partir de almidón de maíz y sorbitol; esta temperatura puede variar por el contenido de hemicelulosa, glicerina, celulosa, lignina, entre otros, provocando que se requiera una cantidad mayor de energía para que ocurra la transición.

Tanto la glicerina como el agua ejercen el papel de plastificante, sprovocan que las macromoléculas de la harina aumenten su distancia entre sí, lo que aumenta los movimientos y también la elasticidad del material (Navia, 2015). Esta plastificación influencia la estabilidad térmica de la harina (Martínez y Aguilar, 2014) adicional a la previa gelatinización, provocando que esta estabilidad sea mayor (Kaewtatip y Thongmee, 2014), (Narkchamnan y Sakdaronnarong, 2013).

El tercer y cuarto pico en 270°C y 341.8°C corresponden a la degradación de la celulosa y compuestos de peso molecular bajo (Lucas y Velásquez, 2016), ya que la harina de plátano posee una alta cantidad de almidón y carbohidratos. Por otro lado, el pico en 663.7°C se asocia a los minerales presentes en la harina de plátano (Montoya y Quintero, 2014).

Análisis termogravimétrico (TGA) para matriz reforzada con fibra de cáscara

Figura 6. *Termograma DSC de matriz reforzada con 3 % de cáscara de plátano*



En la Figura 6 obtenida para el análisis termogravimétrico, se observan dos caídas de peso con respecto a la temperatura.

El primer pico (18.86 %, 1.4602 mg) en el rango de 35°C-120°C. Su pico máximo se encuentra en 50.54 °C, este valor se asemeja al obtenido por Elsa S. Caijao, que corresponde a 51.51 °C (Cajiao y Bustamante, 2016) para una matriz de almidón de yuca reforzada con fibra de fique; y los obtenidos por Lina J. Otálora, con un valor de 50.76°C (Niño y García, 2018) para almidón de residual de papa esterificado y para envases biodegradables, este se asocia a la pérdida de agua (Niño y García, 2018), además de algunos fragmentos de plastificante y almidón que pudieron haberse degradado al momento de realizarse la compresión (Cajiao y Bustamante, 2016)..

El segundo pico (52.36 %, 4.053 mg) se encuentra en el rango de 215-413 °C, con el pico máximo en 292°C. Este corresponde a la degradación del almidón, la celulosa y de otros componentes como carbohidratos y compuestos de peso molecular bajo (Lucas y Velásquez, 2016).

Propiedades mecánicas del material compuesto biobasado

Conocer las propiedades mecánicas de los materiales es fundamental para su adecuada selección y aplicación. Cada material tiene sus propias características que lo hacen adecuado para ciertas aplicaciones y no para otras.

El ensayo de tracción permite conocer si un material puede soportar cargas sin fallar, sea a través de la deformación plástica o fractura. Los datos obtenidos en el ensayo de tracción son vitales para la selección de diseño y materiales, compra y venta de productos, desarrollo de nuevos productos, control de calidad y seguridad del equipo.

En el estudio de materiales biobasados a base de harina de plátano gelatinizada, el ensayo de tracción es crucial para entender su ductilidad, comportamiento bajo tensión y resistencia a la flexión. Estos ensayos permiten evaluar el esfuerzo último, límite de fluencia y módulo elástico del material, determinando su viabilidad en diferentes aplicaciones prácticas.

Resultados ensayo a tracción

En el contexto del análisis de materiales biobasados, el ensayo de tracción, con base en la noma ASTM 638-14, ayuda a obtener la información sobre las propiedades mecánicas fundamentales como la resistencia, ductilidad y rigidez. En el caso del material de harina de plátano reforzado con fibra de cáscara, los datos del ensayo de tracción muestran que la adición de fibra mejora significativamente estas propiedades. La muestra con un 3 % de fibra de cáscara se destaca por su esfuerzo último, esfuerzo de fluencia y módulo elástico superiores, indicando una notable capacidad para soportar cargas y una mayor rigidez en comparación con la muestra base. Estos resultados subrayan que el refuerzo con un 3 % de fibra de cáscara optimiza el desempeño del material en términos de resistencia y rigidez, estableciendo un equilibrio efectivo para aplicaciones que requieren un alto rendimiento mecánico bajo condiciones de tracción.

Tabla 3. *Resumen de resultados de probetas a tracción*

Muestra	Esfuerzo último [kpa]	Esfuerzo de fluencia [kpa]	Módulo elástico [kpa]
BASE	441,060	283,957	1856,540
3 % C	536,203	429,396	2540,980
5 % C	528,565	426,442	2093,140
7 % C	501,235	381,233	2096,960

Los gráficos permiten visualizar de manera clara y concisa las variaciones en las propiedades mecánicas de diferentes muestras de material. Al presentar los resultados en forma de barras, se facilita la comparación directa de métricas clave como la resistencia máxima, el esfuerzo de fluencia y el módulo elástico entre diferentes concentraciones de refuerzo o tipos de material. Como se puede apreciar en las siguientes figuras:

Figura 7. *Resumen de esfuerzo último de probetas a tracción*

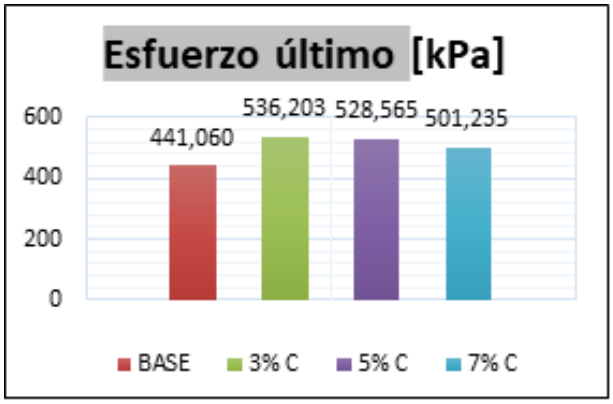


Figura 8. *Resumen de esfuerzo de fluencia de probetas a tracción*

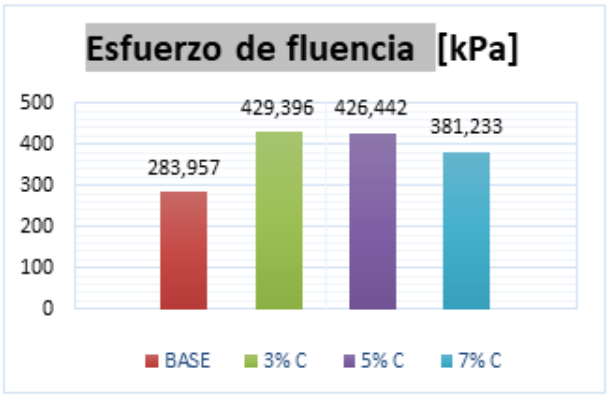
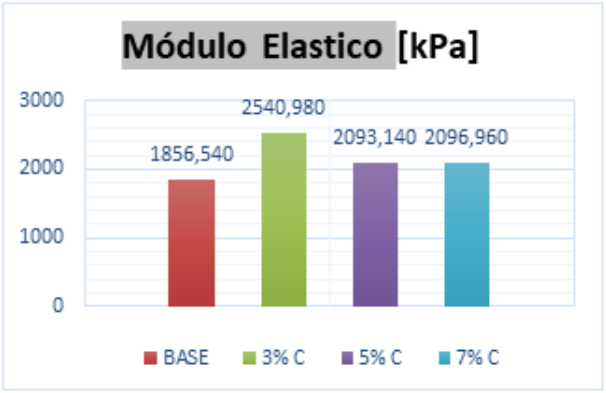


Figura 9. *Resumen del módulo elástico de probetas a tracción*



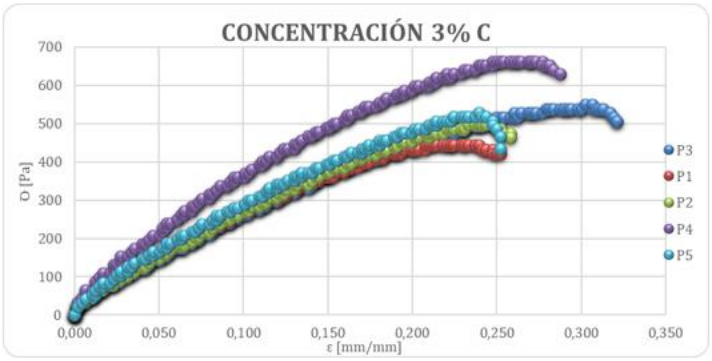
El material biobasado de harina de plátano reforzado con fibra de cáscara muestra que la adición de fibra mejora tanto el esfuerzo último como el esfuerzo de fluencia, con el 3 % de refuerzo proporcionando los mejores resultados en ambos aspectos. El módulo elástico es mayor en la

muestra con 3 % de fibra de cáscara, indicando una mayor rigidez, mientras que las muestras con 5 % y 7 % de refuerzo tienen módulos elásticos similares, que son intermedios entre la muestra base y la de 3 % de refuerzo.

En general, el refuerzo con fibra de cáscara mejora significativamente las propiedades mecánicas del material, especialmente en términos de esfuerzo último y rigidez, con un 3 % de refuerzo, mostrando las mejores características en estas métricas.

Para comprender el comportamiento de la mezcla base con una concentración del 3 % de fibra de cáscara, se representa en la Figura 10 Esfuerzo-deformación.

Figura 10. *Esfuerzo-deformación de probetas al 3 % de fibra de cascara*



Conclusiones

Se estableció una metodología para la obtención de un material biobasado a partir de harina de plátano, glicerina como plastificante y refuerzo con fibras de cáscara, mediante una matriz base constituida por 34,5 % harina de plátano, 55 % de agua, 10 % de glicerina y 0.5 % de ácido acético, reforzada con 3 % de fibras, por la técnica de termocompresión a 200°C y 9 minutos.

La gelatinización previa promueve que los componentes de la matriz interactúen, lo que mejora las propiedades térmicas, aumentando la temperatura de transición vítrea y la descomposición, además un aumento en la entalpía de pérdida de humedad sugiere que el material tiene propiedades térmicas asociadas al aislamiento.

Usando DSC, además de la presencia de una única temperatura de transición vítrea en el termograma obtenido por calorimetría diferencial de barrido, el aumento en la temperatura de transición vítrea, así como en su entalpía, indica la compatibilidad entre los componentes de la mezcla utilizada para la obtención del material. Esto tiene coherencia con respecto al análisis de los componentes por medio de sus espectros IR, donde sus picos principales y característicos son muy similares.

Los resultados del ensayo a tracción indican que la adición de la fibra de cascara de plátano mejora notablemente las propiedades mecánicas del material biobasado a base de harina de plátano. La concentración con mejores características del ensayo es la probeta con 3 % de fibra de cascara de

plátano, ya que proporciona el mayor incremento en el esfuerzo último, esfuerzo de fluencia y módulo elástico. A concentraciones superiores 5 % y 7 %, se observan mejoras en comparación con el material base, pero con una tendencia a la disminución en el esfuerzo último y el esfuerzo de fluencia respecto al 3 % de fibra de cascara de plátano, pero también en ocasiones por no tener una buena homogeneidad las fibras pueden convertirse en concentradores de esfuerzos.

Esta investigación evidencia que es posible utilizar los residuos del cultivo de plátano para diseñar materiales biobasados. Esto no solo proporciona una alternativa sostenible a los plásticos derivados del petróleo, sino que también aborda el problema de la gestión de residuos agrícolas y agroindustriales, promoviendo una economía circular.

La metodología experimental empleada, específicamente la técnica de moldeo por compresión resulta efectiva para la producción de material biobasado. De acuerdo con los resultados obtenidos, se indica que este método permite una integración adecuada de las fibras en la matriz.

Recomendaciones

La principal recomendación es optimizar la máquina termocompresora para mejorar la producción de biopelículas con mayor uniformidad y homogeneidad. Se propone la implementación de un sistema de control de temperatura más preciso para asegurar la consistencia térmica en toda la superficie de las biopelículas. Además, es fundamental incorporar una cámara de vacío en el proceso de compresión. Esta adición permitirá la eliminación efectiva de burbujas de aire atrapadas dentro del material durante el moldeo, lo cual es crucial para evitar defectos estructurales que comprometan las propiedades mecánicas y físicas del producto final.

La cámara de vacío debe estar equipada con sensores de presión y un sistema de control automático para mantener un vacío constante y uniforme. También se sugiere la utilización de materiales de alta conductividad térmica para los moldes, lo que favorecerá una distribución térmica más homogénea por toda la biomasa.

Referencias

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (25 de abril de 2023). *Todo lo que necesitas saber sobre la contaminación por plástico*. https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-contaminacion-por-plasticos

Ibarra Vallejo, M. A. y Márquez Muñoz, L. I. (2022). Identificación de usos potenciales para el aprovechamiento de los residuos generados en el proceso de beneficio del plátano (Musa paradisiaca) var. Hartón. *CEI Boletín Informativo*, 9(2). https://n9.cl/4kg8ag

Rojas, A. F., Rodríguez-Barona, S. y Montoya, J. (2019). Evaluación de alternativas de aprovechamiento energético y bioactivo de la cáscara de plátano. *Información tecnológica*, 30(5).

Montiel Álvarez, U. (2022). *Obtención de recubrimiento a base de almidón de plátano residual para la protección del plátano de exportación de la región de Urabá*. [Trabajo de grado, Universidad de Antioquia].

San Martín Martínez, E., Aguilar Méndez, M. A. y Sánchez Solís, H. (2014). Thermoplastic Biodegradable Material Elaborated From Unripe Banana Flour Reinforced With Metallocene Catalyzed Polyethylene. *Polymer Engineering and Science*, (4), 866-876. https://doi.org/10.1002/pen.23954

Goheen, S. y Wool, R. (1991). Degradation of Polyethylene–Starch Blends in Soil. *Applied Polymer Science,* 42, 2691-2701.

Sandoval Arreola, M. M., Galeana González, E. J., Roque Barbosa, L. E. y Ortiz Rodríguez, G. (2022). Extracción y caracterización de celulosa a partir de la planta del plátano. *Brazilian Journal of Development*, 8(12), 78810.78819. https://doi.org/10.34117/bjdv8n12-130

Vieira da Mota, R., Lajolo, F. y Cordenunsi, B. R. (2000). Composition and Functional Properties of Banana Flour from Different Varieties. *Starch-Starke*, 52, (2-3), 63-68.

Mantilla Porras, C. A. (2021). *Extracción de almidón de plátano Dominico Hartón y síntesis de biopolímeros para la evaluación de su comportamiento en pruebas de resistencia a la tracción y al agua* [Trabajo de grado, Universidad libre].

Dufour, D., Gibert, O., Giraldo, Á. y Sánchez, T. (2009). Differentiation Between Cooking Bananas and Dessert Bananas. 2. Thermal and Functional Characterization of Cultivated Colombian Musaceae (Musa sp.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(17), 7870-7876.

Montoya, J., Quintero, V. y Lucas, J. (2014). Evaluación fisicotérmica y reológica de harina y almidón de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca abb). *Temas Agrarios*,19(2), 214-233. https://doi.org/10.21897/rta.v19i2.736

Imberty, A., Chanzy, H., Pérez, S., Bulèon, A. y Tran, V. (1988). The Double-Helical Nature of the Crystalline Part of A-Starch. *Molecular Biology*, 201(2), 365-378.

Hoyos Leyva, J. D., Jaramillo Jiménez, P. A., Giraldo-Toro, Á., Dufour, D., Sánchez, T. y Lucas-Aguirre, J. C. (2012). Caracterización física, morfológica y evaluación de las curvas de empastamiento de musáceas (Musa spp.). *Acta Agronómica*, *61*(3).

BeMiller, J. y Whistler, R. (Eds.). (2009). *Starch Chemistry and Technology*. Food Science and Technology.

Zhang, P. y Hamaker, B. (2012). Banana Starch Structure and Digestibility. *Carbohydrate Polymers,* 87(2),1552,1558.

Tester, R. y Morrison, W. (1990). Swelling and Gelatinization of Cereal Starches. I. Effects of Amylopectin, Amylose, and Lipids. *Cereal Chemistry*, 67(6), 551-557.

Cooke, D. y Gidley, M. (1992). Loss of Crystalline and Molecular Order During Starch Gelatinisation: Origin of the Enthalpic Transition. *Carbohydrate Research*, 227, 103-112.

Niño Otálora, L. J., García Torres, A. M., Medina Vargas, O. J. y Rojas Morales, C. I. (2018). Biopelículas fotoactivas: material de empaque en alimentos sensibles a la oxidación. Revista U.D.C.A. *Actualidad y Divulgación Científica*, 21(2), 457-466. https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1080

Cajiao, E. S., Bustamante, L. E., Ceron, A. R. y Villada, H. (2016). Efecto de la gelatinización de harina de yuca sobre las propiedades mecánicas, térmicas y microestructurales de una matriz moldeada por compresión. *Información tecnológica*, 27(4), 53-62.

Lawal, O. S., Ogundiran, O. O., Awokoya, K. y Ogunkunle, A. O. (2008). The Low-Substituted Propylene Oxide Etherified Plantain (Musa paradisiaca normalis) Starch: Characterization and Functional Parameters. *Carbohydrate Polymers*, 74(3), 717-724.

Pozo Villota, L. V. (2019). *Extracción y caracterización del almidón de plátano verde (Musa paradisiaca) producido en el sector Untal, parroquia El Chical, y su potencial uso como aditivo en la elaboración de pan blanco* [Trabajo de grado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi]

Castaño Carvajal, M. F., Correa-Giraldo, D. y Agudelo-Laverde, L. M. (2019). Elaboración de productos tipo tallarín libres de gluten y evaluación de sus propiedades fisicoquímicas. Revista U.D.C.A. *Actualidad y Divulgación*, 22(1). https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1194

Da Róz, A., Zambon, M., Curvelo, A. y Carvalho, A. (2011). Thermoplastic Starch Modified During Melt Processing With Organic Acids: The Effect of Molar Mass on Thermal and Mechanical Properties. *Industrial Crops and Products*, 33(1), 152-157.

Tester, R. F. y Debon, S. J. (2000). Annealing of Starch-A Review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 27(1), 1-12.

Godbole, S., Latkar, M. y Chakrabarti, T. (2003). Preparation and Characterization of Biodegradable Poly-3-Hydroxybutyrate-Starch Blend Films. *Bioresour Technology,* 86(1), 33-37Mondragón, M., Arroyo, K. y Romero-García, J. (2008). Biocomposites of Thermoplastic Starch with Surfactant. *Carbohydrate Polymers,* 74(2), 201-208.

Navia Porras, D. P. (2015). *Desarrollo de un material para empaques de alimentos a partir de harina de yuca y fibra de fique* [Tesis de maestría, Universidad del Valle]. https://hdl.handle.net/10893/8845

San Martín Martínez, E., Aguilar Méndez, M. A., Sánchez Solís, A. y Vieyra, H. (2014). Thermoplastic Biodegradable Material Elaborated from Unripe Banana Flour Reinforced with Metallocene Catalyzed Polyethylene. *Polymer Engineering and Science,* 55(4), 866-876.

Kaewtatip, K. y Thongmee, J. (2014). Preparation of Thermoplastic Starch/Treated Bagasse Fiber Composites. *Starch – Starke,* 66(7-8).

Narkchamnan, S. y Sakdaronnarong, C. (2013). Thermo-Molded Biocomposite from Cassava Starch, Natural Fibers and Lignin Associated by Laccase-Mediator System. *Carbohydrate Polymers*, 96(1), 109-117.

Lucas-Aguirre, J. C., Velásquez-Herrera, J. D. y Quintero-Castaño, V. D. (2016). Evaluación de las propiedades térmicas y composicionales de almidones extraídos de 26 variedades de musáceas. Vitae, 23(Spl. 1).

---

1 Lizeth Natalia García Ramírez, Pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, lizeth.garcia1@utp.edu.co, https://orcid.org/0009-0005-8174-3141

2 Luisa Fernanda Herrera Quintero, Pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, luisa.herrera1@utp.edu.co, https://orcid.org/0009-0006-1531-5672

3 Juan José Rodríguez Marín, Magister, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, juanjose.rodriguez2@utp.edu.co, https://orcid.org/0009-0007-3280-7721

4 Verónica Gil García, Pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, https://orcid.org/0009-0001-6879-6821

Para citar este artículo: García Ramírez, L. N., Herrera Quintero, L. F., Rodríguez Marín, J. J., & Gil García, V. (2024). Desarrollo de un material biobasado a partir del plátano en el departamento de Risaralda. ***Revista Luna Azul, 58,*** 119-133. https://doi.org/10.17151/luaz.2024.58.8

Esta obra está bajo una Licencia de Creative Commons Reconocimiento CC BY

Código QR del artículo