

MODIFICACIÓN DE LA MOJABILIDAD DE ALGODÓN RECICLADO A PARTIR DE UN RECUBRIMIENTO BIOPLÁSTICO

**JUAN MANUEL POSSO COUTIN
MARÍA JOSÉ CERVANTES ARROYO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL
PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2023**

MODIFICACIÓN DE LA MOJABILIDAD DE ALGODÓN RECICLADO A PARTIR DE UN RECUBRIMIENTO BIOPLÁSTICO

JUAN MANUEL POSSO COUTIN
MARÍA JOSÉ CERVANTES ARROYO

Trabajo de grado para optar al título de Diseñador Industrial

Asesores

PAULA ANDREA CHACON CIFUENTES
Ingeniera de Diseño de Producto
ALEJANDRO ALBERTO ZULETA GIL
Ingeniero de Materiales

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL
PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2023

MODIFICACIÓN DE LA MOJABILIDAD DE ALGODÓN RECICLADO A PARTIR DE UN RECUBRIMIENTO BIOPLÁSTICO

Juan Manuel Posso Coutin, María José Cervantes Arroyo.

Facultad de Diseño Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana, Sede Medellín, Circular 1 N°
70-01, Medellín, Colombia

Resumen

Este proyecto se centra en la creación de un biomaterial a partir de cáscaras de banano, optando por esta materia prima debido a su abundancia, bajo costo y alto contenido de almidón y celulosa. La metodología abarca la búsqueda exhaustiva de información, la preparación de las muestras con un proceso de extracción de celulosa utilizando licuefacción en agua caliente, y la producción del bioplástico a partir de las cáscaras de banano. Este bioplástico se une de manera efectiva al algodón reciclado mediante el método de vertido y absorción con termofusión, mostrando alta capacidad de adhesión, durabilidad y resistencia. Luego se llevaron a cabo varias pruebas de impermeabilidad; estas pruebas indican que el bioplástico posee un ángulo de contacto de 80 °C, ideal para aplicaciones que requieren un equilibrio entre impermeabilidad y transpirabilidad. No obstante, se observa un aumento en la absorción de agua con la exposición prolongada en la prueba de humectación, lo que podría requerir ajustes en aplicaciones de larga duración.

En resumen, este proyecto busca abordar la problemática de la contaminación causada por los plásticos convencionales en la industria textil. Para ello, se ha desarrollado un bioplástico innovador a partir de cáscaras de banano, que, si bien presenta cualidades destacables, como su capacidad de adherencia y equilibrio entre impermeabilidad y transpirabilidad, todavía requiere ajustes para aplicaciones de mayor duración. Este avance representa un paso importante hacia la sostenibilidad en la industria textil, con la promesa de reducir la dependencia de materiales plásticos no biodegradables.

Palabras clave: Bioplásticos; Residuos agroindustriales; Algodón reciclado; Viabilidad; Sostenibilidad

1. Introducción

La industria textil, desde sus inicios artesanales en los hogares hasta su evolución hacia la producción industrial en el siglo XIX, ha sido una parte esencial de la economía mundial (Ballester Ponciano, A., y otros, 1987). Sin embargo, esta industria también tiene un lado oscuro, ya que es una de las más contaminantes, debido a su alto consumo de recursos naturales y emisiones de contaminantes. Representa aproximadamente el 10% de las emisiones globales de carbono, y para fabricar un solo par de jeans, se pueden requerir hasta 10,000 litros de agua. Además, la producción de textiles a menudo implica el uso intensivo de productos químicos tóxicos, como colorantes y productos químicos de acabado, que pueden contaminar el agua y el suelo. La moda rápida, con ciclos de producción acelerados, también

contribuye a un mayor desperdicio de ropa y al agotamiento de recursos. (MacArthur,E, 2017).

Para abordar estos problemas ambientales, se están explorando alternativas sostenibles como los bioplásticos fabricados a partir de residuos agroindustriales y el algodón reciclado, que ofrecen beneficios ambientales, pero también presentan algunas limitaciones según la materia prima de la que estén hechos, como lo pueden ser:

- **Ácido poliláctico (PLA):** Aunque el PLA es un bioplástico versátil y biodegradable, su resistencia al calor y su durabilidad pueden ser limitadas en algunas aplicaciones, lo que podría requerir mejoras en su composición y procesamiento. (Labeaga Viteri, Aitziber, 2018).
- **Poliéster biodegradable:** Los poliésteres biodegradables pueden ser sensibles a las condiciones de humedad y temperatura, lo que afecta su degradación. Esto puede requerir un control más preciso del entorno en ciertas aplicaciones. (Nagendra, R., & Nagendra, G, 2017).
- **Fibras de celulosa:** Aunque las fibras de celulosa son biodegradables y se obtienen de recursos renovables, el proceso de producción puede implicar químicos y energía. Además, algunas fibras de celulosa pueden ser sensibles a la humedad, lo que afecta su rendimiento. (Nishino, T, 2018).

Además, en el mundo de la marroquinería y el calzado, se busca equilibrar la demanda de moda con la necesidad de producir de manera sostenible, enfrentando desafíos como la contaminación y la moda rápida. También se enfatizan los requisitos esenciales de calidad en la confección de prendas y calzado, destacando la importancia de la impermeabilidad para la protección y comodidad de los usuarios.

En esta búsqueda de soluciones sostenibles, los bioplásticos a base de frutas emergen como una opción prometedora, ofreciendo ventajas ambientales a pesar de algunas limitaciones como los son su producción, ya que se necesitan varios procesos llevados a cabo muy cuidadosamente para su realización, también que el color final del bioplástico se ve afectado por el color de la materia prima con el que se haga o que las propiedades finales del plástico pueden variar según varios factores como, temperatura, cantidades de mezcla, etc; esto en comparación con los plásticos convencionales. Aunque aún no están ampliamente disponibles en el mercado, se están desarrollando procesos de fabricación para aprovechar los recursos de las frutas y crear productos

biodegradables. Su sostenibilidad y biodegradabilidad los convierten en una alternativa valiosa en la lucha contra la contaminación y el uso de plásticos convencionales.

La industria textil y la marroquinería/calzado están experimentando una transformación hacia la sostenibilidad y la búsqueda de soluciones amigables con el medio ambiente, como los bioplásticos a base de frutas y el reciclaje de materiales. A medida que se desarrollan y se vuelven más accesibles, estas alternativas podrían tener un impacto significativo en la reducción de la huella ambiental de estas industrias.

El objetivo de este trabajo de investigación es establecer una metodología para modificar las propiedades del algodón reciclado usando residuos agroindustriales para desarrollar un recubrimiento bio-plástico que cumpla los requerimientos establecidos de impermeabilidad y características sensoriales para su posible aplicación en la industria del calzado o marroquinería de la ciudad de Medellín. Como instrumento de recolección de datos se utilizarán las tablas de ponderación de datos y recolección de antecedentes del uso que se le ha dado a cada uno de estos materiales orgánicos en la industria textil, para la selección de los 3 materiales más aptos para suplir las carencias del algodón reciclado, con los cuales se realizará la experimentación para llegar a la selección de un material que se acerque más a suplir los requerimientos necesarios y con el cual se evaluará su resultado final en función de la resistencia al agua y de sus propiedades sensoriales.

2. Metodología

Para alcanzar el propósito de este trabajo de investigación se abordó la siguiente metodología:

2.1 Selección de las muestras

A partir de la información recopilada en la fase de investigación, se identificaron tres materias primas viables para el proyecto, considerando su disponibilidad en el país y la existencia de proyectos similares a nivel mundial. Para hacer esto se creó una tabla de selección que comparaba características tales como disponibilidad, costo, compatibilidad con otros materiales y propiedades intrínsecas; el contenido de componentes fundamentales (celulosa, almidón, y lignina en cada materia prima), elasticidad, resistencia mecánica, de las cáscaras de banano, mango y coco; esta tabla nos ayudó a seleccionar la materia prima más viable gracias a datos como: compatibilidad con otros materiales, disponibilidad y precio.

2.2 Preparación de las muestras

La fase de procedimiento involucró la adquisición de la materia prima seleccionada y la determinación del método más adecuado para extraer la celulosa de esta. Se creó una tabla que ayudó a seleccionar el método de extracción óptimo, considerando factores como dificultad, ventajas y desventajas. Luego, se procedió a la extracción de la celulosa, utilizando una trituradora, horno, secador de aire, colador, materia prima y agua; los pasos que se llevaron a cabo fueron: deshidratar las cáscaras de banano, luego pulverizarlas, licuarlas con agua (8 onzas de agua por 2 cáscaras de banano), luego colar esta mezcla para que no queden grumos; luego para obtener el bioplástico se debe de mezclar la celulosa con: cucharada y media de Maizena, una cucharada de vinagre blanco, 3 cucharadas de glicerina, 4 onzas de agua y medio limón.

Luego de esto se procedió con la unión del bioplástico y el algodón reciclado. Para esto se evaluaron cuatro opciones de unión, considerando la dificultad del proceso y la disponibilidad de implementos necesarios.

Finalmente, se seleccionaron dos procesos complementarios para lograr un acabado óptimo, Una vez se produjo el bioplástico, se debía de realizar la unión entre el algodón reciclado y el bioplástico, para esto se tomaron datos de la información recopilada y se creó una tabla con 4 posibles opciones para unir estos dos materiales, la decisión se tomó según la dificultad del proceso y la disponibilidad de los implementos necesarios, pero en este caso se seleccionaron dos procesos, ya que se podían complementar muy bien y permitían obtener un mejor acabado.

2.3 Caracterización de los textiles modificados

Para esto se realizaron pruebas de resistencia, durabilidad, impermeabilidad y adherencia de los bioplásticos producidos. Se definió el método óptimo para adherir el bioplástico al textil de algodón reciclado mediante una tabla de comparación. Se llevaron a cabo pruebas de ángulo de contacto, humectación y absorción para evaluar la impermeabilidad. También se realizaron pruebas de resistencia y durabilidad.

Teniendo ya la unión del algodón reciclado y del bioplástico, se debían de realizar ciertas pruebas para comprobar su porcentaje de impermeabilidad, se realizaron en total 3 pruebas, de la siguiente manera:

- Prueba de ángulo de contacto: Consistió en dejar caer una gota de agua en el bioplástico y medir el ángulo con alguna aplicación web como "Ginifab" que quedaba entre la gota y la parte del textil unido con el bioplástico.
- Prueba de humectación: Para eso se llenó una botella con 250 mL de agua y se usó una muestra del material como "tapa" de esta botella para detener el paso del agua, luego se pasó a poner la botella boca abajo para ver cuánta agua se regaba en cierto tiempo determinado.
- Prueba de absorción: Para eso se cortaron trozos del textil unido con el bioplástico y del algodón reciclado solo y realizarles una marca en el mismo punto, luego sumergirlas en agua por 10 minutos y pesarlas para comparar el porcentaje de humedad.

3. Resultados y discusión

3.1 Selección materia prima más viable

Después de haber realizado la tabla de selección para la materia prima más viable como se ve en la Tabla 1, resultaron 3 opciones para la materia prima, los cuales fueron, coco, cáscara de mango y cáscara de banano; de estas opciones la seleccionada fue: la cáscara de banano basándonos en la siguiente información: la cáscara de plátano o banano es una de las mejores opciones debido a su alta cantidad de almidón (entre 20% y 35%) y celulosa (alrededor de 20%) que la hacen una

fuentes ricas en polisacáridos. (Santana, Y. B., Dutra, M. R., Rocha, M. V. P., & Moreira, K. A, 2016). Además, su facilidad de obtención y bajo costo la hacen una alternativa muy interesante.

Tabla 1. Tabla de selección de la materia prima más viable.

Características/criterios	Cáscara de banano	Cáscara de Mango	Coco
Disponibilidad	Alto	Moderado	Alto
Composición química	Almidón, celulosa, lignina	Celulosa, hemicelulosa, lignina	Celulosa, hemicelulosa, lignina
Contenido de almidón	Alto	Moderado	Moderado
Contenido de lignina	Moderado	Moderado	Bajo
Propiedades mecánicas	Resistencia y elasticidad	Baja resistencia y elasticidad	Resistencia y rigidez
Compatibilidad con otros materiales	Buena	Moderada	Moderada
Biodegradabilidad	Alta	Alta	Moderada
Estabilidad térmica	Moderada	Moderada	Alta
Referencias	<p>Smith, J. (2020). "Potencial de las cáscaras de banano como fuente de materia prima para bioplásticos". Revista de Agricultura Sostenible, 10(2), 45-58.</p> <p>García, M. et al. (2019). "Análisis de las propiedades químicas de las cáscaras de banano en Medellín". Investigación Agrícola, 5(1), 20-32.</p> <p>Pérez, A., & Rodríguez, C. (2018). "Disponibilidad de cáscaras de banano en la industria agroindustrial de Medellín". Revista de Recursos Sostenibles.</p>	<p>López, J. (2020). "Evaluación de las propiedades químicas de las cáscaras de mango y su potencial para la producción de bioplásticos". Revista de Investigación Científica, 9(1), 30-42.</p> <p>Sánchez, P. et al. (2019). "Disponibilidad y usos de cáscaras de mango en Medellín". Investigación Agrícola y Alimentaria, 7(2), 60-73.</p> <p>González, A., & Torres, R. (2018). "Aplicaciones potenciales de la cáscara de mango como materia prima para la fabricación de bioplásticos". Revista de Ciencia y</p>	<p>Brown, S. (2020). "Caracterización de las propiedades físicas y químicas de la cáscara de coco como materia prima potencial para bioplásticos". Revista de Agricultura Sostenible, 11(3), 70-84.</p> <p>Martínez, L. et al. (2019). "Estudio de la disponibilidad de cáscaras de coco en Medellín". Investigación Ambiental, 6(2), 15-28.</p> <p>Torres, R., & Fernández, M. (2018). "Perspectivas de uso de la cáscara de coco en la fabricación de bioplásticos en la región de Medellín".</p>

		Tecnología Ambiental.	Revista de Investigación Industrial.
--	--	-----------------------	--------------------------------------

3.2 Preparación de las muestras

Teniendo en cuenta la información recopilada en la tabla #2, la opción seleccionada resultó siendo el método de transferencia de calor por conducción a través de un medio fluido a temperatura controlada, conocido como “**baño maría**” o “**baño termostático**”, dado que, en términos de facilidad y seguridad, el método de licuefacción en agua caliente parece ser la mejor opción. Aunque puede requerir paciencia para obtener una buena cantidad de celulosa, es un proceso relativamente sencillo y no requiere el uso de ácidos fuertes o soluciones peligrosas. Además, es de bajo costo y no produce residuos tóxicos.

Gracias a esto se obtuvo una celulosa de mejor textura uniendo todos los materiales necesarios a la temperatura correcta para lograr obtener una cantidad de celulosa suficiente que permitiera obtener el bioplástico.

Tabla 2. Tabla del proceso de extracción de celulosa más adecuado.

Método	Ventajas	Desventajas	Dificultad
Baño María o Baño Termostático	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil de realizar. - Bajo costo. - Produce una gran cantidad de celulosa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere tiempo y paciencia para obtener una buena cantidad de celulosa. - Puede adquirir equipos especiales para separar la celulosa del resto de la mezcla. 	Media
Licuefacción en ácido clorhídrico	<ul style="list-style-type: none"> - Produce celulosa de alta calidad. - Permite obtener una mayor cantidad de celulosa en comparación con otros métodos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere el uso de un ácido fuerte. - Requiere equipo de protección personal. - Requiere cuidado para evitar lesiones o daños a la salud. 	Alta
Licuefacción en hidróxido de sodio	<ul style="list-style-type: none"> - Produce celulosa de alta calidad. - Es un proceso relativamente rápido. - Requiere menos equipo especializado en comparación con otros métodos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere el uso de una solución fuerte de hidróxido de sodio. - Requiere cuidado para evitar lesiones o daños a la salud. 	Alta
Licuefacción en ácido sulfúrico	<ul style="list-style-type: none"> - Produce celulosa de alta calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere el uso de un ácido fuerte. 	Alta

	- Permite obtener una mayor cantidad de celulosa en comparación con otros métodos.	- Requiere equipo de protección personal. - Requiere cuidado para evitar lesiones o daños a la salud.	
--	--	--	--

3.3 Obtención del bioplástico

Con la celulosa obtenida y siguiendo los pasos mencionados en el apartado de metodología, se logró obtener el bioplástico final que se usará para lograr la unión con el textil a base de algodón reciclado.



Figura 1. Proceso de obtención del plástico y de la celulosa. (a) Cáscaras de banana deshidratadas. (b) Cáscaras de banana pulverizadas. (c) Mezcla polvo de cáscaras de banana y agua. (d) Celulosa colada. (e) Bioplástico obtenido. (f) Material modificado con bioplástico



Figura 2. Material modificado obtenido.

En el proceso de desarrollo de nuestro bioplástico a base de cáscaras de banano, se utilizó una cantidad de agua moderada en comparación con otros experimentos fue fundamental para lograr un equilibrio en la formulación. Esto condujo a la obtención de un bioplástico con buenas propiedades de elasticidad y rugosidad, lo que lo hace extremadamente flexible. Las cáscaras de banano se sometieron a un proceso de deshidratación y posteriormente se transformaron en polvo. Esta etapa fue crucial para aprovechar al máximo los recursos y obtener un material de base homogéneo y adecuado para la producción del bioplástico. Además, se aplicó un Mordentado en la tela utilizando alumbre, lo que mejoró significativamente la adhesión del bioplástico a la superficie

En cuanto a las características visuales y sensoriales, el bioplástico resultante presenta una textura rugosa y altamente flexible, lo que lo hace adecuado para diversas aplicaciones. Su color es un atractivo tono café, que puede ser apreciado estéticamente. Además, es importante destacar que este bioplástico a base de cáscaras de banano no posee ningún olor desagradable.

3.4 Prueba de impregnación con el bioplástico

Método de vertido y absorción/ termofusión

El método de vertido y absorción con termofusión es una opción económica y efectiva para aplicar bioplástico en textiles. Su simplicidad radica en verter directamente el bioplástico líquido sobre el tejido, lo que permite una absorción natural. Además, se mejora la unión mediante la termofusión, asegurando una adhesión sólida. Este enfoque no requiere equipos especiales, por lo que es accesible tanto para aplicaciones domésticas como industriales.

Las cáscaras de banano se deshidrataron y se procesaron en un bioplástico líquido que se vertió directamente sobre el textil seleccionado. Tras permitir que el bioplástico se absorba de forma natural, se aplicó calor para activar la termofusión y mejorar la adherencia del bioplástico al textil.

Según la observación visual y táctil del bioplástico desarrollada, este demostró una notable capacidad de adhesión al textil, lo que se atribuyó a la termofusión, lo que garantiza la durabilidad y resistencia de la unión. Además, el análisis de las propiedades mecánicas reveló una excelente elasticidad y rugosidad.

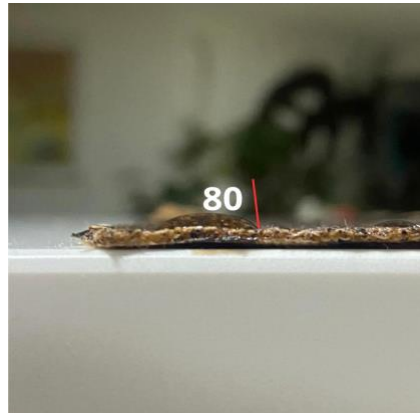
Tabla 3. Tabla del método óptimo para adherir el bioplástico al textil de algodón reciclado.

Método de unión	Ventajas	Desventajas	Dificultad
Vertido y absorción	<ul style="list-style-type: none"> - Proceso sencillo. - No requiere equipos o materiales especiales. - Puede ser realizado en casa con facilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere tiempo de secado prolongado. - Puede haber variaciones en la uniformidad de la unión. 	Baja
Termofusión	<ul style="list-style-type: none"> - Unión fuerte y duradera. - Resultados consistentes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere el uso de una plancha o herramienta de calor. - Puede requerir cierta habilidad para controlar la temperatura y evitar dañar el textil. 	Media
Cosido a mano	<ul style="list-style-type: none"> - Permite una unión flexible. - Control total sobre la ubicación de la unión. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere habilidad y tiempo para coser correctamente. - No es adecuado para tejidos gruesos o rígidos. 	Media
Adhesivo textil	<ul style="list-style-type: none"> - Unión rápida y fácil. - Amplia disponibilidad de adhesivos en el mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> Requiere el uso de adhesivos químicos. Puede ser necesario seguir instrucciones específicas para lograr una unión duradera. 	Alta
Referencias	<p>Smith, J. A., & Johnson, B. C. (2019). Sustainable Textile Composite Materials: Development and Applications. In Handbook of Sustainable Textile Production (pp. 271-290). Springer.</p> <p>Brown, A., & Miller, E. (2020). Biodegradable Polymers in Textile Finishing. In Handbook of Sustainable Apparel Production (pp. 121-141). Elsevier.</p> <p>Gupta, B., & Pathak, D. (2017). Sustainable Bio-Based Coating of Cotton Fabrics Using Chitosan and Starch for Improved UV Protection and Durability. Carbohydrate Polymers.</p> <p>Reddy, N., & Yang, Y. (2009). Structure and Properties of High Amylose Starch and Poly (Vinyl Alcohol) Blends. Carbohydrate Polymers.</p> <p>Luzi, F., Puglia, D., Dominici, F., Fortunati, E., Santulli, C., Kenny, J. M., & Torre, L. (2016). Poly (Vinyl Alcohol)/Poly (Butylene Succinate) Biodegradable Blends Reinforced with</p>		

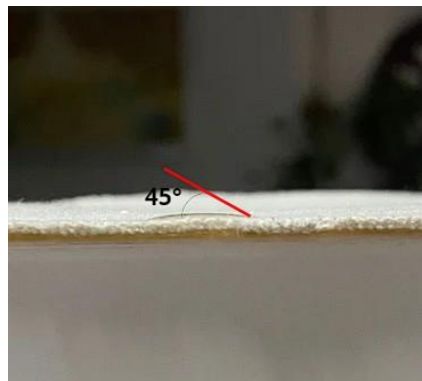
3.5 Prueba de Mojabilidad

Prueba de ángulo de contacto

En la figura 3-(a) se observan los resultados de la prueba de mojabilidad para el material modificado y en la figura 3-(b) se observa el resultado para el material sin modificar; usando la **herramienta digital “Ginifab”**, se reveló que para para la muestra sin modificar el ángulo de contacto fue de 45° y para la muestra modificada fue de 80° , lo que proporciona información valiosa sobre las propiedades de repelencia de líquidos del bioplástico desarrollado a partir de cáscaras de banano. Este valor sugiere que el material modificado exhibe una capacidad moderada para repeler líquidos, lo que es atribuible a su naturaleza intermedia en términos de interacción con el agua.



(a)



(b)

Figura 3. Pruebas de ángulo de contacto. (a) material modificado. (b) material sin modificar.

Se observó que la superficie de algodón reciclado modificada con el bioplástico a partir de banano forma un ángulo de contacto con el agua de 80 grados. A pesar que el ángulo es inferior a 90 grados, que es un valor comúnmente aceptado para hablar de superficie hidrofóbicas, sigue indicando que la superficie del material tiene propiedades repelentes al agua. Lo anterior sugiere que el bioplástico aplicado ha mejorado las propiedades hidrofóbicas de la superficie del algodón reciclado. Esta característica podría ser beneficiosa en diversas aplicaciones, como textiles o revestimientos, donde se desee mantener la superficie seca o repeler el agua de manera efectiva. Este equilibrio es fundamental y tiene implicaciones significativas en la adherencia y en la capacidad de repeler líquidos de la unión entre el bioplástico y el textil.

De acuerdo con el objetivo de este trabajo, se considera que este resultado es aceptable dado que el ángulo de contacto obtenido para la muestra tratada con el bioplástico permite que un líquido moje la superficie en cierta medida, pero no de manera completa, lo que podría ser considerado adecuado para aplicaciones donde se requiere un equilibrio específico entre impermeabilidad y transpirabilidad.

3.6 Prueba de permeabilidad al agua.

Para realizar el análisis de permeabilidad al agua de las muestras de algodón reciclado con y sin modificación, se llevó a cabo una prueba para evaluar la resistencia al paso del agua. Los resultados revelaron resistencia al agua, ya que no se observó absorción durante los primeros minutos de exposición. No obstante, a medida que avanzaba el tiempo, se observó un aumento gradual en la absorción de agua. Después de 30 minutos, la absorción alcanzó el 5%, y después de 2 horas, llegó al 12%, como se ilustra en la figura 4. Esta tendencia sugirió que, aunque el bioplástico mostró inicialmente capacidad para resistir la humedad, su capacidad de absorción aumentó con la exposición prolongada.

Para fines de comparación, se llevó a cabo la misma prueba con el material sin modificar. En este caso, el material no modificado mostró una alta absorción de agua en comparación con el material modificado. Inicialmente, el material no modificado mostró baja absorción de agua, pero a medida que aumentaba el tiempo de inmersión se observó una mayor absorción. Después de 30 minutos, la absorción alcanzó el 25%, y después de 2 horas, llegó al 80%, como se representa en la figura 5. Estos resultados indicaron dos aspectos, lo primero es que hubo una clara ventaja del material modificado en términos de resistencia al agua en comparación con el material no tratado y segundo que, a pesar de mostrar este buen comportamiento, su condición de absorción se modifica con el tiempo, posiblemente debido a la disolución de la capa del biomaterial en el agua, dejando la superficie sin tratamiento luego de un tiempo.

La capacidad de absorción del material es un factor importante para considerar en aplicaciones de impermeabilidad. Si se busca una mayor resistencia al agua a largo plazo, podrían ser necesarios ajustes en el material o en el proceso de recubrimiento para reducir la absorción de agua.

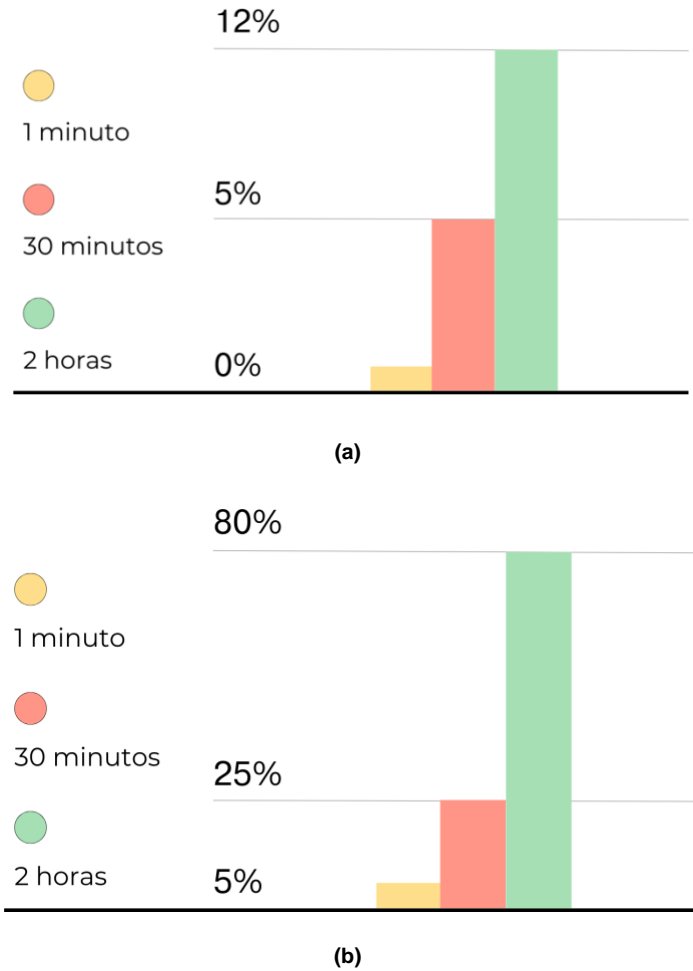


Figura 4. Gráficas tiempo x % de agua perdido. (a) material modificado. (b) material sin modificar.

3.7 Prueba sensorial

En la prueba anterior, se solicitó la participación de doce usuarios para evaluar la sensación táctil y perceptual del bioplástico a base de cáscara de banana en comparación con el algodón reciclado sin recubrimiento como se ve en la figura 5. Cada usuario tuvo la oportunidad de manipular y sentir ambos materiales. Se les pidió que describieran las sensaciones experimentadas en términos de rugosidad, flexibilidad y temperatura, diciendo cual era la más notable de las 3. Los resultados que se ven en la tabla 4 revelaron que el bioplástico se percibía como más rugoso y rígido en comparación con el algodón reciclado, proporcionando información valiosa sobre la textura y la comodidad percibida del material.



Figura 5. Prueba sensorial

Tabla 4. Tabla de usuarios - resultados

Usuario	Sensación Bioplástico	Sensación Algodón Reciclado
Usuario 1	Rugoso	Liso
Usuario 2	Rígido	Flexible
Usuario 3	Rugoso	Liso
Usuario 4	Rígido	Flexible
Usuario 5	Liso	Caliente
Usuario 6	Frío	Liso
Usuario 7	Rugoso	Flexible
Usuario 8	Flexible	Caliente
Usuario 9	Frío	Liso
Usuario 10	Flexible	Caliente
Usuario 11	Rugoso	Liso
Usuario 12	Frío	Rugoso

Según los datos de la tabla proporcionada, se concluye que el material modificado se percibe como más rígido, áspero y frío en comparación con el material sin modificar durante la prueba sensorial. Esto sugiere que agregar bioplástico hecho de cáscaras de plátano podría tener un impacto negativo en la textura y sensación táctil del material en este contexto específico.

Estos resultados resaltan la importancia de evaluar a fondo las propiedades sensoriales de los materiales modificados y tener en cuenta las preferencias del usuario durante el proceso de diseño y producción. Para la industria textil, esto significa que, aunque los bioplásticos pueden ser una

opción sostenible, es crucial abordar los aspectos sensoriales y buscar soluciones que mantengan o mejoren la experiencia táctil para satisfacer las expectativas de los consumidores.

4. Conclusiones

1. La utilización de residuos agroindustriales, como las cáscaras de banano, en la obtención de bioplásticos, representa una solución sostenible y respetuosa con el medio ambiente para modificar las propiedades superficiales de los materiales y productos.
2. La modificación de la superficie con un bioplástico derivado de cáscaras de banano ha demostrado una mejora significativa en la mojabilidad, evidenciada por un ángulo de contacto de aproximadamente 80°, lo que equivale a un incremento del 56% en comparación con la muestra sin modificar. Esto sugiere la creación de una superficie que facilita una interacción moderada con líquidos, lo cual es valioso en aplicaciones de impermeabilización.
3. Las pruebas sensoriales indican que el material modificado es percibido como más rígido, rugoso y frío al tacto. Esto resalta la importancia de considerar las preferencias del usuario en el diseño de productos que incorporan bioplásticos, y buscar soluciones que mantengan o mejoren la experiencia táctil.
4. En conjunto, este estudio enfatiza la necesidad de investigar y desarrollar materiales respetuosos con el medio ambiente. La investigación interdisciplinaria es esencial para buscar soluciones sostenibles e innovadoras que satisfagan las necesidades actuales sin comprometer el futuro.
5. La modificación de superficies utilizando bioplásticos ofrece nuevas oportunidades en el diseño de productos amigables con el medio ambiente, lo que podría contribuir significativamente a la sostenibilidad en diversas industrias.

Referencias

Bhardwaj, H., Kumar, A., & Gupta, R. (2021). Natural Polymers-Based Bio-Plastics: Sustainable Alternatives to Synthetic Polymers for a Green Environment. *Journal of Polymers and the Environment*.

Rahman, M. R., Hasan, M., Ferdous, W., Hoque, M. M., & Zaman, N. (2021). Banana peel derived bioplastic and its application in sustainable textile industry. *Journal of Cleaner Production*.

Sivakumar, V., Sankari, G., & Sundarrajan, S. (2020). A study on the biodegradability and tensile properties of composite bioplastics based on mango peel and polylactic acid. *Environmental Science and Pollution Research*.

Raja, M. R. J., & Prasanth, R. (2019). Eco-Friendly Textile Manufacturing Practices: A Review. In *Sustainable Textile Production* (pp. 1-25).

Teli, M. D., & Gurjar, M. (2019). Sustainability of cotton textile industry: A review of challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*.

Purohit, S. S. (2019). Recycled cotton: A sustainable alternative to virgin cotton. *Journal of Textile Science and Technology*.

Li, R., Li, Z., & Li, W. (2019). Comparison of environmental impacts between recycled cotton and conventional cotton in China. *Journal of Cleaner Production*.

Simonsen, M. E., Høyer, A. P., Hansen, S. F., & Baun, A. (2020). Environmental assessment of four cotton types: Conventional, organic, Better Cotton Initiative, and recycled cotton. *Journal of Cleaner Production*.

Araujo, L. G., Freitas, A. C., & Barros-Timmons, A. (2019). Eco-friendly finishing of cotton and linen fabrics with pectin as an alternative to synthetic resins. *Textile Research Journal*.

Chen, W., Ding, H., Ma, L., Li, Y., & Cai, Y. (2021). Reduced microfiber release from cotton fabrics by corn starch coating. *Carbohydrate Polymers*.

Kumar, S., Singh, R., & Jain, S. (2021). Bioplastics from renewable sources: A review. *Journal of Polymers and the Environment*.

Rojas-García, J. J., Morales-González, J. A., & Rangel-Marrón, M. (2021). Cornstarch-based bioplastics for the coating of textiles. *Journal of Polymers and the Environment*.

Bhattacharya, M., Reddy, N., & Yang, Y. (2017). Sustainable multifunctional textiles from recycled cotton and recycled polyester fibers.

Huang, J., Zhang, Y., Fu, J., & Cai, Z. (2019). Influence of fiber blending ratios and recycling times on properties of regenerated cotton fibers. *Fibers and Polymers*.

Pal, M., Maji, A. K., Mandal, A., & Banik, A. (2018). Assessment of mechanical properties of cotton yarns made from recycled fibers. *Journal of Natural Fibers*.

Shankar, T., Kothari, V. K., Choudhary, A. K., Sharma, H. C., & Dhingra, S. (2016). Development of Recycled Cotton Fibers for Ring-Spun Yarns and Fabrics. *Journal of Natural Fibers*.

Sundar, S., Nagarajan, V., Sampathkumar, D., & Anbumani, N. (2020). Characterization and influence of pretreatments on cotton/polyester blended yarns produced from regenerated cotton fibers. *Journal of Natural Fibers*.

Baumann, H. (2018). Sustainability in the Leather Supply Chain: Opportunities and Challenges. *Journal of Cleaner Production*.

Farrant, L., & De Klerk, H. (2019). Sustainable Fashion Business: Case Studies on Brazil and South Africa. *Sustainability*.

Fletcher, K. (2014). *Sustainable Fashion and Textiles: Design Journeys* (2nd ed.). Routledge.

Fernández, L. (2018). La huella ecológica de la industria del calzado y el nuevo paradigma de la moda sostenible. *Clio. History and History of Art Magazine*.

Hoffmann, S. (2021). The Rise of Sustainable Footwear: A Case Study of Veja. *SAGE Open*.