

**MODIFICACIÓN SUPERFICIAL DEL ALGODÓN
RECICLADO A PARTIR DE UN
RECUBRIMIENTO A BASE DE CACTUS DE
NOPAL**

**ANDREA CAMILA CONDE BARRIOS
SEBASTIAN CELIS CORTÉS**

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

**MODIFICACIÓN SUPERFICIAL DEL ALGODÓN
RECICLADO A PARTIR DE UN
RECUBRIMIENTO A BASE DE CACTUS DE
NOPAL**

**ANDREA CAMILA CONDE BARRIOS
SEBASTIAN CELIS CORTÉS**

Trabajo de grado para optar al título de Diseñador Industrial

Asesor

PAULA ANDREA CHACÓN 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 superficial del algodón reciclado a partir de un recubrimiento a base de cactus de nopal

Andrea Camila Conde Barrios, Sebastián Celis Cortés

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

Resumen

Este estudio se enfoca en la sostenibilidad y la innovación en la industria textil, con el propósito de mejorar las propiedades del algodón reciclado mediante el uso de materias primas derivadas del cactus de nopal. El algodón reciclado enfrenta un desafío persistente: su falta de impermeabilidad, crucial para su durabilidad en diversas aplicaciones. El cactus de nopal ofrece una solución natural y prometedora. Además de ser conocido en la cocina y la medicina tradicional, este cactus absorbe dióxido de carbono (CO₂) durante su crecimiento, contribuyendo a la mitigación del cambio climático. La impermeabilización del algodón reciclado con extractos de cactus de nopal representa un avance en funcionalidad con aplicaciones en la confección de ropa resistente a la intemperie y textiles técnicos. Además, se alinea con la conciencia global sobre prácticas sostenibles. Al mejorar la impermeabilidad, no solo se vuelve más versátil, sino que también contribuye a la economía circular al prolongar su vida útil y reducir los productos de un solo uso. En las pruebas realizadas, se encontró una mejora en la permeabilidad del algodón reciclado con el uso de biopolímero de cactus, demostrando su viabilidad y potencial en la industria textil.

Palabras clave: Sostenibilidad; Algodón reciclado; Cactus de nopal; Impermeabilización; Cambio climático

1. Introducción

La producción de cueros a partir de productos químicos o pieles de animales, en particular el cuero bovino que abarca el 65% del mercado mundial, constituye una preocupación ambiental significativa. Según la ONU (Xicotla, 2022), aproximadamente 3,800 millones de animales bovinos se utilizan anualmente en la producción de cuero. Este proceso implica el uso de grandes cantidades de agua, con un consumo de aproximadamente entre 25 y 80 litros de agua por kilogramo de piel. Esto resulta en la generación de altos niveles de sólidos biodegradables, sulfuro, alcalinidad y altos contenidos de cromo y fibras de cuero. Las aguas residuales generadas también contienen altas concentraciones de materia orgánica y derivados de cromo.

El cactus de nopal emerge como una solución natural y prometedora. Además de su reconocimiento en la cocina y la medicina tradicional, este cactus tiene la capacidad única de absorber dióxido de carbono (CO₂) durante su crecimiento. Este aspecto abre la posibilidad de mejorar el algodón reciclado y contribuir significativamente a la mitigación del cambio climático.

En 2019 la empresa Desserto creó el primer material orgánico altamente sostenible y en su mayoría, ecológico del mundo, enfocándose en un acercamiento en funcionalidad y apariencia al cuero animal,

elaborado con nopal (también conocido como tuna), y producido de manera tal que puede superar las demandas de una industria en constante evolución.

Según un informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), a nivel mundial se estima que cerca del 10% del algodón producido se desperdicia durante el proceso de producción 6,4 toneladas de desperdicios por la industria textil.

De acuerdo al Consejo para el Reciclado Textil (Council for Textil Recycling), el desperdicio textil anual se estima a 11 mil millones de kilogramos.

El algodón reciclado ha surgido como una alternativa valiosa para reducir la dependencia de las fibras de algodón virgen y disminuir la acumulación de desechos textiles en vertederos. No obstante, su limitación radica en su falta de impermeabilidad, lo que limita su uso en una variedad de aplicaciones que requieren resistencia al agua.

El aprovechamiento que absorbe dióxido de carbono (CO₂) durante su crecimiento, lo que contribuye a mitigar el cambio climático y promueve un enfoque más ecológico en la producción de materiales textiles. Esto satisface la creciente demanda de productos respetuosos con los animales y con el medio ambiente, y contribuye a reducir el impacto ambiental de la industria textil, abriendo nuevas oportunidades de mercado y promoviendo la responsabilidad social y ambiental.

El propósito principal de este proyecto es mejorar la capacidad de impermeabilidad al agua del algodón reciclado mediante el uso de materias primas derivadas del cactus de nopal. El algodón reciclado ya se ha convertido en un recurso valioso para el reciclaje de textiles y la reducción de desechos textiles en la industria de la moda. No obstante, la resistencia al agua del algodón reciclado ha sido un desafío persistente.

2. Metodología

Para alcanzar el objetivo propuesto en esta investigación se planteó la siguiente metodología:

1. Se revisó la literatura sobre las propiedades y procesamiento de las hojas de nopal.
2. Se planificaron y se realizaron pruebas de laboratorio para evaluar la capacidad de estos componentes para modificar la permeabilidad del material textiles.
3. Se realizaron las siguientes pruebas:
 - Prueba de rotura.
 - Prueba de permeabilidad.
 - Prueba de humectabilidad.



Figura 1. Ejemplificación de las pruebas.

Para la etapa de la experimentación se realizaron las siguientes variaciones, para determinar cuales de estas muestras nos arrojaban los mejores resultados en las pruebas planteadas anteriormente.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos realizados

No. Muestra	Composición del biopolímero de Cactus	Estado del algodón Reciclado	Al ₂ (SO ₄) ₃
Blanco	Sin aplicar	Sin lavar	Sin aplicar
M1	Aplicado	Lavado	Aplicado
M2	Aplicado	Lavado	Sin Aplicar
M3	Aplicado	Sin Lavar	Sin Aplicar
M4	Aplicado	Sin Lavar	Aplicado

2.1 Obtención del biopolímero

La obtención del biopolímero a partir del cactus de nopal se llevó a cabo en un proceso secuencial que combinó técnicas naturales y sostenibles. En primer lugar, se inició con la remoción de la cáscara, seguido de un proceso de triturado en presencia de agua en una relación de 1 g de cactus: 1 mL de H₂O. Este triturado se calentó entre 40 y 50 °C durante 2 minutos, agregando glicerina a la mezcla previamente descrita en una relación de 1 mL de glicerina: 5 g de triturado. Luego de estos dos minutos, se añadió una mezcla de fécula de maíz y agua, previamente preparada, en una relación 1:1 en peso. La adición de la fécula de maíz no solo contribuyó a la consistencia deseada del biopolímero, sino que también reforzó su capacidad para mantener su forma y propiedades durante su uso.



PASO 1
Pelar el cactus de nopal sin cascara y cortar en trozos pequeños.



PASO 2
Pesar el cactus de nopal (50 gramos).

En una relación de 1 g de cactus : 1 mL de H₂O



PASO 3
Pesar el agua (50 gramos).

En una relación de 1 g de cactus : 1 mL de H₂O



PASO 4
En la licuadora se agregó el cactus de nopal y H₂O por 2 minutos.



PASO 5
El triturado se calentó entre 40 y 50 °C por 2 minutos.



PASO 6
Se agregó glicerina a la mezcla previamente descrita.

En relación de 1 mL de glicerina : 5g de triturado.



Figura 2. Descripción de los pasos realizados.

2.2 Modificación del textil

Para esto se realizó un lavado del algodón reciclado con el objetivo de eliminar su capa protectora superficial. Posteriormente, el material fue sometido a un proceso de secado, lo que preparó la superficie para el siguiente paso. En este punto, se llevó a cabo el mordentado mediante el empleo de una solución de sulfato de aluminio, la cual se diluyó en agua en una proporción de 1:1 y se calentó directamente durante cinco minutos, manteniendo una temperatura de 40-50 °C.

Una vez que el algodón previamente mordentado se secó, se procedió a la aplicación del biopolímero, el cual se había preparado previamente según lo descrito en la sección 2.2. Este proceso se realizó utilizando una espátula de silicona. Con el fin de evaluar el impacto del mordentado y el lavado previo del algodón, se prepararon diversas muestras de acuerdo con lo descrito en la tabla 1. La temperatura de calentamiento fue de 100°C por un tiempo de 10 minutos.

2.3 Caracterización de las muestras

Las pruebas mecánicas se enfocan en revelar las propiedades mecánicas de un material bajo fuerza dinámica o estática, con el objetivo de garantizar su adecuación para las aplicaciones previstas. Las pruebas mecánicas fueron de resistencia a la compresión, se sometió el material a una carga de compresión en el rango de 800N a 1400N para determinar su deformación por compresión y resistencia a la rotura. Las pruebas de permeabilidad al agua; se basó en, la resistencia al agua y humectabilidad de un tejido se evalúa considerando la penetración del agua y la humectación de la superficie. La permeabilidad se refiere a la capacidad del agua líquida de penetrar a través del tejido, mientras que la resistencia a la penetración del agua evalúa la capacidad opuesta. Para llevar a cabo la prueba de permeabilidad se puso a prueba la capacidad del textil para resistir la penetración del líquido, ubicándolo entre dos probetas, conteniendo el superior 30 mL de agua, dejando pasar un tiempo de 4 horas para analizar la cantidad de agua traspasada. para realizar las pruebas de humectabilidad, se cortaron trozos de textil de dimensiones iguales (10 x 5 cm). Cada pedazo se marcó en la mitad, se pesó con una gramera y se registró su peso en seco. Luego, se sumergió el textil hasta la marca durante 10 segundos, se volvió a pesar el textil húmedo y se registraron los datos.

3. Resultados y discusión

3.1 Prueba de permeabilidad

Esta prueba consta en observar la cantidad de agua que pasa a través del textil en un lapso de 4 horas, usando la gravedad como herramienta.

En esta sección, se presentan los resultados y análisis de las pruebas de permeabilidad realizadas en el marco de esta investigación sobre la modificación del algodón reciclado con un biopolímero de cactus. Las pruebas de permeabilidad son cruciales para evaluar la capacidad del material modificado para resistir el paso de líquidos y, por lo tanto, su idoneidad para aplicaciones textiles impermeables. A lo largo de este apartado, se examinarán las pruebas realizadas en muestras de algodón reciclado, considerando diversos factores que incluyen la aplicación del biopolímero, el estado de lavado del algodón y la presencia de un tratamiento químico adicional. Estos análisis proporcionarán una visión integral de cómo estas variables afectan la permeabilidad del material y arrojarán luz sobre su potencial aplicación en la industria textil. En base a la tabla 2.

Tabla 2. Registro de datos primeras pruebas de permeabilidad.

Muestra	Descripción	Cantidad de agua pasante luego de 4 horas(mL)
Blanco	Muestra sin procesar	3,45
1	Muestra lavada y con $Al_2(SO_4)_3$	0
2	Muestra lavada y sin $Al_2(SO_4)_3$	0
3	Muestra sin lavar y sin $Al_2(SO_4)_3$	1,48
4	Muestra sin lavar y con	1,27

En la tabla 2 se resumen los resultados de la prueba de permeabilidad realizado a las muestras obtenidas, indicado que para la muestra 1, que fue lavada y tratada con $Al_2(SO_4)_3$, una alta impermeabilidad, al no lograr registrar una cantidad de agua pasante medible, situación que también fue similar para la muestra 2. En cambio, las muestras 3 y 4, que no fueron lavadas y difirieron en la presencia de $Al_2(SO_4)_3$, revelaron permeabilidad, con cantidades de agua pasante de 1.48 mL y 1.27 mL, respectivamente. Estos resultados ponen de manifiesto la influencia significativa de la preparación previa del material reciclado. Lavar el algodón parece ser crucial para lograr una mayor impermeabilidad. Además, la presencia del tratamiento químico $Al_2(SO_4)_3$ también influyó en los resultados, aunque de manera no siempre predecible. Esto sugiere la posibilidad de una interacción compleja entre el biopolímero de cactus y los tratamientos químicos, lo que abre nuevas vías de investigación para comprender y optimizar la impermeabilización de textiles de algodón reciclado.

Estos hallazgos subrayan la necesidad de una configuración cuidadosa del proceso de modificación para lograr las propiedades impermeables deseadas. Las interacciones entre el biopolímero de cactus, el estado del algodón reciclado y los tratamientos químicos deben explorarse más a fondo en investigaciones futuras.

3.2 Prueba de resistencia a la rotura

En la prueba de rotura se implementa una maquina con el objetivo de analizar e identificar tanta presión es capaz de soportar cada una de las muestras.

En esta sección, se presentan los resultados y análisis de las pruebas mecánicas de rotura

realizadas en el marco de nuestra investigación sobre la modificación del algodón reciclado con un biopolímero de cactus. Los resultados obtenidos proporcionarán información valiosa sobre cómo estas variables afectan la resistencia a la rotura del material, arrojando luz sobre su idoneidad para aplicaciones textiles sostenibles y variadas.

Los resultados resumidos en la tabla 3 muestran que la Muestra 2, que está lavada y no contiene $Al_2(SO_4)_3$, exhibe la mayor resistencia a la rotura, con un valor de 541 N. Por otro lado, la Muestra 4, que no fue lavada y contiene $Al_2(SO_4)_3$, presenta la resistencia más baja, con solo 347 N. Estos resultados sugieren que la aplicación del biopolímero de cactus y la presencia de $Al_2(SO_4)_3$ pueden influir significativamente en la resistencia a la rotura.

Tabla 3. Registro de datos pruebas de rotura con mordientes.

Muestra	Descripción	Resistencia a la rotura (N)
1	Muestra lavada y con $Al_2(SO_4)_3$	451
2	Muestra lavada y sin $Al_2(SO_4)_3$	541
3	Muestra sin lavar y sin $Al_2(SO_4)_3$	446
4	Muestra sin lavar y con $Al_2(SO_4)_3$	347

La variabilidad en los resultados podría atribuirse a diversas variables, como la uniformidad en la aplicación del biopolímero, la preparación de las muestras y, posiblemente, la interacción entre el biopolímero y el $Al_2(SO_4)_3$. Estos factores subrayan la necesidad de realizar un análisis más detallado para comprender completamente las causas de la variabilidad observada en la resistencia a la rotura.

Para investigaciones futuras, es esencial llevar a cabo un mayor número de pruebas para confirmar estas tendencias y explorar en profundidad la relación entre los diferentes tratamientos y la resistencia a la rotura. Además, sería beneficioso comparar estos resultados con investigaciones previas en el campo para evaluar su consistencia y contribuir a la comprensión general de estas modificaciones en el algodón reciclado.

3.3 Prueba de Humectabilidad

La prueba consiste en sumergir las muestras en agua, hasta una altura delimitada, en el que se comparan los pesos del textil seco y mojado, para identificar los niveles de absorción del textil.

En esta sección, se presentan los resultados y análisis de las pruebas de humectabilidad llevadas a cabo en el contexto de nuestra investigación sobre la modificación del algodón reciclado con un biopolímero de cactus y resudas en la tabla 4.

Tabla 4. Registro de datos pruebas de humectabilidad.

Muestra	Descripción	% de H ₂ O absorbida
Blanco	Muestra sin procesar	97,64
1	Muestra lavada y con $Al_2(SO_4)_3$	37,1
2	Muestra lavada y sin $Al_2(SO_4)_3$	42,86
3	Muestra sin lavar y sin $Al_2(SO_4)_3$	75
4	Muestra sin lavar y con $Al_2(SO_4)_3$	85,71

En esta prueba se observó una variación significativa en la humectabilidad del algodón reciclado bajo diferentes condiciones. La muestra 3, que consiste en algodón reciclado sin lavar y sin la adición de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, muestra una humectabilidad notable del 75%. Esto sugiere que el estado inicial del algodón, sin procesar, tiene una capacidad inherente para absorber agua. Además, la modificación química con el biopolímero de cactus y el tratamiento térmico mejoran significativamente la capacidad de humectación, ya que la Muestra 4, que combina algodón sin lavar, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y biopolímero de cactus, presenta la humectabilidad más alta del 85.71%.

En contraste, la muestra 1, que se sometió a lavado y contenía $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, muestra la humectabilidad más baja de 37.1%. Esto podría deberse al efecto combinado del lavado y la presencia de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, lo que reduce la capacidad del algodón para absorber agua. La Muestra 2, que está lavada, pero sin $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, muestra una mejora en la humectabilidad en comparación con la Muestra 1, con un valor de 42.86%. Esto sugiere que la ausencia de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ podría tener un efecto ligeramente positivo en la capacidad de humectación.

Los resultados indicaron que el estado inicial del algodón reciclado y los tratamientos químicos y térmicos pueden influir en su capacidad para absorber agua. Sin embargo, el efecto exacto de estos factores en la humectabilidad del algodón reciclado requiere un análisis más profundo y posiblemente investigaciones futuras para comprender completamente las causas subyacentes de estas variaciones.

4. Conclusiones

Se encontró que la aplicación del biopolímero de cactus tiene un impacto positivo en la impermeabilidad del algodón reciclado. Esto no solo mejora las propiedades del material, sino que también reduce la necesidad de tratamientos químicos adicionales, lo que respalda la sostenibilidad en la producción textil. Además, se ha destacado que la preparación previa del algodón reciclado ya sea lavado o sin lavar, desempeña un papel fundamental en el éxito de la modificación, resaltando la importancia de esta etapa en el proceso.

En relación con el tratamiento químico $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, nuestros resultados indican una variabilidad en su efecto en la impermeabilidad del algodón reciclado. Esta variabilidad sugiere que se necesita una investigación adicional para comprender completamente el impacto de este tratamiento químico.

Nuestros resultados también resaltan la necesidad de investigar la durabilidad a largo plazo de estas modificaciones en condiciones prácticas, lo que proporcionaría información esencial sobre la idoneidad de estas configuraciones para aplicaciones específicas en la industria textil. Además, sería relevante explorar cómo estas modificaciones afectan otras propiedades del material, como la resistencia mecánica y la durabilidad a largo plazo en diferentes aplicaciones textiles.

5. Referencias

Ester Xicota (2020) El cuero, impactos y alternativas más sostenibles

Grant, B. L. (2020). Tratamiento de la costra de cactus: aprenda sobre las enfermedades de la costra de los cactus. Diverse Garden

Organización Mundial de la Salud. (2019). Cómo la contaminación del aire está destruyendo nuestra salud.

Rey Pia. (2021). Desserto: la marca lidera el cambio sustentable con su innovador cuero vegetal.

Vogue México.

Rincón Torres, D. H., Bermúdez Rodríguez, N. G., & Vigoya Osorio, W. E. (2021). Vegacueros del llano: elaboración de productos llaneros a base de cuero vegano.

Melanie Montesinos Quintero, Universidad de los Andes. (2019). Cactácea.

En Especie (2021). Los cactus y el secuestro de carbono.

Phenomenex. (2017). Consejo técnico: precipitación de proteínas. Science Unfiltered.

Obara Yoshikawa, Marco Antonio, Navarro Valer, Diego Antonio (2019) Estudio de factibilidad de una empresa de marroquinería a base de cuero.

Quiminet (20-Dic-2011) Usos y aplicaciones de la fécula de maíz

science unfiltered (2017) precipitacion de proteínas

Gustavo Lafuente Aranda (2017) Glicerol: síntesis y aplicaciones

Pure chemistry (2020) glicerina: origenes y usos

CuídatePlus (2016) Glicerina

Eckhard Suchowitzky (2021) los cactus y el secuestro de carbono In cambio climático 0

Ramírez Castaño, A. P., Alfaro Wisaquillo, Y. M., León, F. J., Avendaño Celis, R. J., Peña Lizcano, C. A., Gómez, L. E. & Ovalle Gómez, L. M. (2022). El nopal en Colombia: más que un cactus.

Griselda Maki-Díaz, Cecilia B. Peña-Valdivia, Rodolfo García-Nava , M. Lourdes Arévalo-Galarza, Guillermo Calderón-Zavala, Socorro Anaya-Rosales (2015) CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE NOPAL VERDURA (Opuntia ficus-indica) PARA EXPORTACIÓN Y CONSUMO NACIONAL