

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MECÁNICA DE BIOCOMPUESTOS A BASE DE FIBRA DE PLÁTANO PARA APLICACIONES TEXTILES MEDIANTE ANÁLISIS DE RAMAN

PHYSICAL-CHEMICAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF BANANA FIBER-BASED BIOCOMPOSITES FOR TEXTILE APPLICATIONS BY RAMAN ANALYSIS

Adanis Santo¹

Investigador independiente

adanis.santo@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8768-4780>

Fecha de recepción: 13-08-2024

Fecha de aceptación: 28-08-2024

Fecha de publicación: 15-09-2024

RESUMEN

La fibra de plátano, obtenida del pseudotallo de la planta, ha sido tradicionalmente desaprovechada, a pesar de sus propiedades únicas. En los últimos años, se ha investigado su potencial como una alternativa sostenible para aplicaciones textiles debido a su composición rica en celulosa, hemicelulosa y lignina. La alta capacidad de absorción de humedad de las fibras naturales limita su uso en aplicaciones textiles, lo que plantea la necesidad de explorar tratamientos químicos que mejoren estas propiedades. Este estudio tiene como objetivo caracterizar los cambios físico-químicos y mecánicos en las fibras de plátano después de ser tratadas químicamente con anhídrido acético (AA) y epiclorhidrina (EP) mediante la técnica de espectroscopía Raman, para evaluar su idoneidad en aplicaciones textiles. Las fibras se obtuvieron mediante extracción manual o mecánica del pseudotallo, seguido de tratamientos químicos con AA y EP. Se utilizó espectroscopía Raman para analizar los componentes estructurales de la fibra y se realizaron pruebas de absorción de humedad. El análisis estadístico incluyó un Análisis de Componentes Principales (PCA) para identificar patrones clave en las muestras. Los espectros Raman revelaron una disminución significativa en las bandas de celulosa y hemicelulosa después de los tratamientos, lo que indica la degradación de estos componentes. Además, la capacidad de absorción de humedad de las fibras tratadas disminuyó, lo que mejora su viabilidad para aplicaciones textiles. Se concluye que los tratamientos químicos con AA y EP mejoraron significativamente las propiedades hidrofóbicas y mecánicas de las fibras de plátano, haciéndolas más adecuadas para su uso en textiles sostenibles. Estos tratamientos contribuyen a la reducción de la absorción de humedad, lo que aumenta su durabilidad y rendimiento en ambientes húmedos.

Palabras clave

Raman, celulosa, hemicelulosa, lignina, plátano

ABSTRACT

Banana fiber, obtained from the pseudostem of the plant, has traditionally been underutilized, despite its unique properties. In recent years, its potential as a sustainable alternative for textile applications has been investigated due to its rich composition in cellulose, hemicellulose, and lignin. The high moisture absorption capacity of natural fibers limits their use in textile applications, raising the need to explore chemical treatments that improve these properties. This study aims to characterize the physicochemical and mechanical changes in banana fibers after being chemically treated with acetic anhydride (AA) and epichlorohydrin (EP) using the Raman spectroscopy technique, to assess their suitability in textile applications. Fibers were obtained by manual or mechanical extraction from the pseudostem, followed by chemical treatments with AA and EP. Raman spectroscopy was used to analyze the structural components of the fiber and moisture absorption tests were performed. Statistical analysis included a Principal Component Analysis (PCA) to identify key patterns in the samples. Raman spectra revealed a significant decrease in cellulose and hemicellulose bands after treatments, indicating the degradation of these components. Furthermore, the moisture absorption capacity of the treated fibers decreased, which improves their viability for textile applications. Chemical treatments with AA and EP significantly improved the hydrophobic and mechanical properties of banana fibers, making them more suitable for use in sustainable textiles. These treatments contribute to the reduction of moisture absorption, which increases their durability and performance in humid environments.

Keywords

Raman, cellulose, hemicellulose, lignin, banana

INTRODUCCIÓN

La "sostenibilidad" se ha convertido en los últimos años en un tema al que casi todo el mundo concede importancia. Es posible resumir la sostenibilidad como garantizar la continuidad de la calidad de vida, la diversidad y la productividad con los recursos actuales, sin poner en peligro la continuidad de las generaciones futuras. Los principios de sostenibilidad, que se basan en tres pilares básicos: ambiental, social y económico, se evalúan en su conjunto. Además, la conciencia sobre este tema debe ser proporcionada no sólo por un segmento de la sociedad sino también por cada individuo.

La industria textil, como muchas otras áreas industriales, busca soluciones que apoyen la sostenibilidad en la selección de materias primas y los métodos de producción. Por ejemplo, reducir el consumo de agua en los procesos de acabado textil, purificar las aguas residuales, reutilizar las aguas residuales e incluso procesos de acabado sin agua son algunas de las soluciones sostenibles en el sector textil. Hoy en día, muchos investigadores trabajan con sensibilidad en este tema y cada día se desarrollan

soluciones diferentes, creativas y efectivas. Elegir utilizar fibras naturales en lugar de fibras sintéticas a base de petróleo es uno de los métodos que puede proporcionar una alternativa a la producción textil sostenible (1).

Además de fibras como el algodón, el lino, la lana y la seda, que se utilizan y conocen ampliamente en la actualidad, existen muchas fibras naturales diferentes con diferentes propiedades de rendimiento. Es posible utilizar fibras naturales con propiedades similares como alternativa a las fibras sintéticas no sólo en materiales textiles sino en todos los ámbitos donde se utilizan fibras textiles. Existen muchos tipos de fibras naturales que se pueden utilizar como refuerzo, especialmente en materiales compuestos. Además, considerando la disminución de los recursos petroleros día a día, el uso de materiales naturales que se renuevan cada año se vuelve ventajoso tanto ambiental como económicamente (2).

En este contexto, surge la necesidad de buscar alternativas sostenibles en la industria textil. Las fibras naturales, como la fibra de plátano, ofrecen una prometedora solución al presentar diversas ventajas, como renovabilidad ya que las fibras naturales se obtienen de fuentes renovables, como plantas o animales, lo que reduce la dependencia de recursos no renovables como el petróleo (3).

A diferencia de las fibras sintéticas, las fibras naturales se descomponen naturalmente al final de su vida útil, minimizando el impacto ambiental, sus propiedades únicas ya que presentan características distintivas, como suavidad, transpirabilidad y resistencia, que las hacen adecuadas para una amplia gama de aplicaciones textiles. La fibra de plátano, también conocida como fibra de abacá, se extrae del pseudotallo de la planta de plátano. Es una fibra natural con propiedades excepcionales que la convierten en una materia prima ideal para la producción de textiles sostenibles.

Además, la fibra de plátano posee una resistencia a la tracción comparable a la del algodón y superior a la del lino, haciéndola ideal para aplicaciones textiles duraderas, es flexible y adaptable, lo que permite crear tejidos con diferentes drapeados y texturas. También es suave, transpirable y fresca al tacto, proporcionando una experiencia confortable al usuario. Al igual que otras fibras naturales, la fibra de plátano es biodegradable, lo que reduce su impacto ambiental al final de su vida útil (4).

El análisis Raman es una técnica espectroscópica no destructiva que permite identificar la composición molecular y la estructura de materiales. En el caso de la fibra de plátano, el análisis Raman puede proporcionar información valiosa sobre su composición química. Por lo tanto, permite identificar los diferentes componentes moleculares presentes en la fibra de plátano, como celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina, además de la estructura cristalina que puede proporcionar información sobre la orientación y el empaquetamiento de las cadenas de celulosa en la fibra. Por otra parte, puede detectar modificaciones químicas en la fibra de plátano, como la mercerización o la acetilación, que se realizan para mejorar sus propiedades textiles (5).

La fibra de plátano no solo es adecuada para la producción de textiles, sino que también se puede utilizar como refuerzo en materiales biocompuestos. Los biocompuestos son materiales compuestos formados por una matriz polimérica y un material de refuerzo,

como la fibra de plátano. La fibra de plátano aporta al biocompuesto las siguientes propiedades, aumenta la resistencia a la tracción, flexión y compresión del biocompuesto, mejora la rigidez del biocompuesto, haciéndolo más resistente a la deformación, es más ligera que los refuerzos tradicionales como la fibra de vidrio o la fibra de carbono, lo que reduce el peso total del biocompuesto, aporta biodegradabilidad al biocompuesto, haciéndolo más amigable con el medio ambiente (3).

Los biocompuestos reforzados con fibra de plátano tienen un amplio potencial para ser utilizados en diversas aplicaciones, incluyendo, materiales de construcción livianos y duraderos para techos, paredes y pisos, envases biodegradables para alimentos y productos de consumo, equipos deportivos ligeros y resistentes (4).

El plátano, científicamente conocido como *Musa spp.* y perteneciente a la familia Musaceae, es una planta tropical herbácea perenne que puede alcanzar entre 2 y 9 metros de altura. En muchas regiones de cultivo, como en el subcontinente sudamericano, los tallos y pseudotallos de plátano a menudo son desaprovechados después de la cosecha de los frutos, generando una pérdida de recursos naturales que merece ser explorada. Generalmente, los pseudotallos se cortan y los restos se dejan en el suelo tras la recolección de los frutos. Anteriormente, los agricultores solían quemar estos residuos, lo que tenía efectos negativos significativos en la huella de carbono. Los tallos de plátano contienen un componente fibroso largo conocido como fibra de pseudotallo de plátano, y su extracción puede realizarse de manera manual o mecánica. Estas fibras, de color blanco, exhiben buena resistencia y suavidad. A pesar de su gran potencial, la fibra de plátano en muchos países aún no ha sido completamente aprovechada debido a diversas limitaciones sociales, socioeconómicas y tecnológicas, como la falta de conocimientos para su extracción y la escasez de máquinas adecuadas para este propósito.

El plátano ecuatoriano es una de las frutas más importantes del país debido a su gran producción y exportación. Actualmente, Ecuador es uno de los principales exportadores de plátano, con una vasta extensión de tierra cultivable dedicada a este cultivo. Las hojas y pseudotallos de plátano contienen fibras largas que pueden usarse para diferentes aplicaciones textiles y no textiles (6). En una hectárea de tierra, los agricultores ecuatorianos cultivan miles de plantas de plátano. El peso medio de un pseudotallo maduro puede variar significativamente dependiendo de la variedad y las condiciones de cultivo (7).

Considerando un rendimiento de fibra del 2% al 3% de cada pseudotallo, Ecuador tiene un gran potencial para producir fibras de pseudotallo de plátano, lo que representa un valor considerable en el mercado internacional. Esto muestra el potencial de la fibra de plátano, un residuo agrícola, como fuente potencial de ingresos adicionales para los agricultores y las industrias textiles de pequeña escala. Sin embargo, el potencial del uso de fibras de plátano en Ecuador aún no se explota plenamente debido a diversas limitaciones socioeconómicas y tecnológicas, como la falta de conocimientos para la extracción de la fibra y la falta de disponibilidad de máquinas adecuadas para este propósito (8).

Los biocompuestos a analizar son fibras resistentes a la degradación. Esto puede hacer que sea difícil separarla eficientemente durante el proceso de extracción de fibra, lo que podría limitar la pureza y la calidad de la fibra final obtenida del plátano. Se realizará la caracterización y cuantificación de los compuestos usando el modelo RAMAN. Por ello, este artículo experimental y de revisión bibliográfica tiene como objetivo principal caracterizar los biocompuestos presentes en la fibra de plátano como lo son la lignina, celulosa y hemicelulosa con el fin de medir la calidad que tiene la fibra final en la elaboración de textiles. Las variables que utilizaron son la dependiente que será la (celulosa, hemicelulosa y lignina) y la independiente es el método de extracción de la fibra de plátano (9).

El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar los cambios físico-químicos y mecánicos en las fibras de plátano tras ser tratadas químicamente con anhídrido acético (AA) y epiclorhidrina (EP), utilizando la técnica de espectroscopía Raman. Se busca evaluar la idoneidad de las fibras tratadas para su aplicación en la industria textil.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de la fibra

La fibra bruta se obtiene del tallo de la planta del plátano (*Musa paradisiaca*). El pseudotallo se corta después de la cosecha y las fibras se extraen mediante molienda manual o mecánica. Las fibras se cepillan para eliminar los residuos y se secan a la sombra o al sol hasta un contenido de humedad del $13 \pm 2\%$. Luego se almacenan hasta su uso a una temperatura de 20°C y una humedad relativa de $62 \pm 2\%$.

Reactivos

- Epiclorhidrina (EP)
- Anhídrido acético (AA)

Se adquirieron en Panreac (España). Todos los demás reactivos son grados analíticos.

Tratamiento químico

Los reactivos (AA, EP y AA_EP) se disolvieron en acetona (proporción química de acetona 1:10 y proporción de masa de AA en EP 1:1). Las fibras mechadas (relación de peso de fibra cruda a producto químico de 1:20) se empaparon en una solución de producto químico/acetona durante 24 h a 20°C . Luego, las fibras se lavaron varias veces con cantidades suficientes de acetona y agua destilada para asegurar que se eliminaran todos los reactivos restantes. Finalmente, las fibras tratadas se secaron en estufa a 105°C durante 24 horas.

Análisis Raman

Las muestras se examinaron utilizando un espectrómetro μ -Raman LabRAM HR (Horiba Jobin Yvon, Francia, Laboratorio de Propiedades Ópticas de Materiales de la UNAL- Manizales) en el rango de $700\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$. Fuente de radiación de 473 nm , láser

DPSS, potencia puntual < 20 mW; La implementación se realiza utilizando un solo hilo. Se utilizó un microscopio Raman con un objetivo de $50\times$ para observar una sola fibra en modo microscópico. La calibración inicial del silicio es $519,62\text{ cm}^{-1}$. Todos los espectros Raman se midieron a temperatura ambiente (20°C) (10).

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los biocompuestos a base de fibra de plátano mediante el análisis de Raman, se propone un Análisis de Componentes Principales (PCA) como método adecuado para identificar y visualizar los patrones principales en los datos obtenidos. Este método permite reducir la dimensionalidad de los datos sin perder información relevante, lo que es crucial cuando se trabaja con resultados complejos, como los que se obtienen en el análisis de espectros de Raman.

Preparación de los datos

Se deben recopilar los espectros de Raman de cada muestra de biocompuesto. Cada espectro refleja la respuesta vibracional de las moléculas presentes en la fibra de plátano. Los datos se organizarán en una matriz donde cada fila corresponde a una muestra y cada columna a una longitud de onda (o banda espectral).

Normalización

Previo al análisis, los datos espectrales deben ser normalizados para eliminar posibles variaciones debidas a diferencias en la intensidad de la señal o en el ruido de fondo entre las mediciones.

Aplicación del PCA

Se aplica el PCA sobre la matriz de datos espectrales, lo que transformará los datos originales en un conjunto de nuevas variables denominadas componentes principales. Estas componentes son combinaciones lineales de las bandas espectrales originales y están ordenadas según la cantidad de variación de los datos que explican. El objetivo es reducir la dimensionalidad, quedándose con aquellas componentes principales que expliquen la mayor parte de la variabilidad en los datos.

Interpretación de los componentes

El PCA permitirá identificar qué bandas espectrales (o características de los espectros de Raman) son las más repetitivas o comunes entre las muestras de biocompuesto.

Se generarán gráficos que muestran las agrupaciones de las muestras en el espacio de los componentes principales, permitiendo una visualización clara de las diferencias y similitudes entre las muestras.

Determinación de patrones

El análisis permitirá determinar si existen patrones específicos relacionados con la estructura molecular de los biocompuestos a base de fibra de plátano, y cómo estos patrones se correlacionan con las propiedades físico-químicas y mecánicas de las fibras.

Validación

Los resultados obtenidos serán validados mediante pruebas estadísticas adicionales, como la varianza explicada por los primeros componentes y el análisis de correlación entre los componentes principales y las propiedades físicas y mecánicas.

Propuesta para el número de repeticiones

Número de muestras: Idealmente, se recomienda analizar al menos 10-15 muestras distintas de biocompuestos, ya que este rango proporciona una base suficiente para obtener resultados representativos en el análisis de PCA.

Repeticiones por muestra: Se sugiere realizar 3-5 repeticiones por cada muestra para reducir el efecto del ruido o variaciones en la medición de los espectros de Raman. Este número de repeticiones ayudará a obtener una mejor precisión en los valores promedio de los espectros.

Comparación de resultados

Se indagó utilizando el motor de búsqueda de Google académico, Science Direct y Yandex Scholar artículos donde se haya investigado principalmente las propiedades físicas y químicas de la fibra de plátano en el cual fueron tratadas por diferentes métodos espectrofotométricos o proximales, una vez recopilado alrededor de 30 artículos, así mismo los artículos revisados son de revistas indexadas. Se busco con términos como “fibra de plátano”, “biocompuestos de plátano” y “análisis Raman”, se buscó en inglés y español.

RESULTADOS

La Figura 1 resume la información del espectro Raman de Fibras del Pseudotallo de Plátano (FSP) antes y después del tratamiento químico. El FSP se compone principalmente de celulosa (60–65%), hemicelulosa (6–19%) y lignina (5–19%). La hemicelulosa en las paredes de las plantas incluye xiloglucanos, xilanos, mananos, glucomananos y betaglucanos. Todos estos polisacáridos están unidos a bandas CH y HCC fuertemente estirables y que doblan HCO en la posición C-6 cerca de los centros de las bandas de 2895 y 890 cm^{-1} . La señal más fuerte a una longitud de onda de 890 cm^{-1} de los polisacáridos de hemicelulosa puede deberse a un orden deficiente o a la cristalinidad de los polímeros de este tipo. Esta banda también desapareció después de una modificación química con AA, lo que indica que la hemicelulosa se filtró de las fibras.

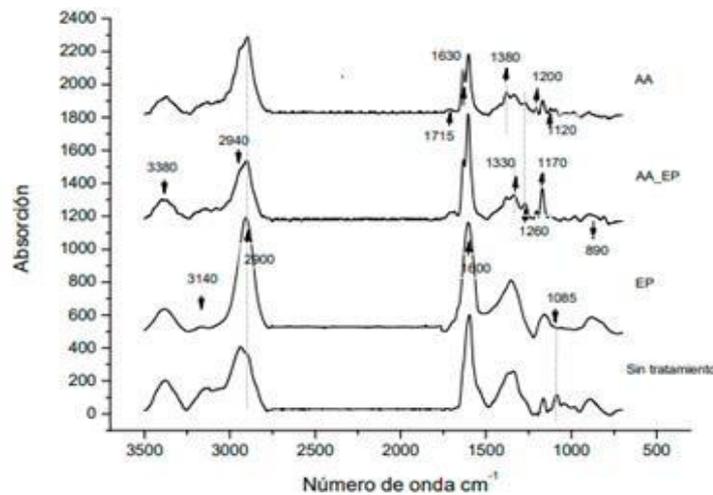


Figura 1. Resultados obtenidos en el NIR

La Figura 1 trata sobre el espectro obtenido de la muestra de fibra de plátano obtenido en el analizador RAMAN de la facultad de Ciencias, donde se observa el contenido de hemicelulosa, celulosa y lignina.

28

La presencia de lignina se ve claramente en todos los espectros Raman en longitudes de 1170, 1260 y 1600 cm^{-1} . La intensidad a 1600 cm^{-1} corresponde a los modos vibratorios C=C de la estructura del anillo de lignina. Para las fibras no tratadas, la intensidad de esta señal aumentó después del tratamiento con EP y AA_EP y AA disminuyó después del tratamiento con AA, lo que indica cierto grado de clasificación de las fibras.

La presencia de celulosa, formada principalmente por enlaces glicosídicos y grupos hidroxilo, es visible en la región de estiramiento $\gamma(\text{COC})$ entre 1085-1096 y 1120 cm^{-1} y en la región de estiramiento $\gamma(-)\text{OH}$ entre (3000-3000 cm^{-1}). Las bandas a 1085-1096 cm^{-1} (COC, en modo de estiramiento simétrico) casi desaparecieron después del tratamiento químico, lo que indica cierta degradación de la celulosa debido a la escisión del enlace γ -glucosídico (COC). Otra evidencia de este cambio puede ser la intensidad del pico en el modo $\gamma(\text{CH})$ a 2900 cm^{-1} (11). La banda de 1120 cm^{-1} (modo de estiramiento asimétrico de COC) está influenciada por grupos de hidrocarburos de lignina no celulósicos que se encuentran solo en el tratamiento AA, tal vez porque se superponen primero con la banda de lignina en 1170 cm^{-1} (12).

La eficacia del tratamiento químico fue confirmada por los ésteres carbonílicos implicados en la esterificación de los grupos hidroxilo de las fibras a 1260, 1630 cm^{-1} y 1715 cm^{-1} después del tratamiento con AA. Además, el pico centrado en ≈ 2900 cm^{-1} , que fue mayor después del tratamiento con EP, se atribuyó a la formación de nuevos grupos como $\gamma(\text{CH})$ y $\gamma(\text{CH}_2)$ en la superficie. También se observó un aumento en la vibración en los picos AA_EP y AA a 1330 y 1380 cm^{-1} , respectivamente, lo que puede deberse a la aparición de nuevos enlaces carbono-hidrógeno después de la modificación (11).

Los materiales lignocelulósicos pueden modificarse químicamente mediante reacciones que convierten los grupos hidroxilo hidrófilos de la región intercelular de la pared de celulosa en grupos hidrófobos. En este estudio, cuando los productos químicos reaccionaron con las fibras de FSP, los grupos aceto y epoxi del anhídrido acético y la epiclorhidrina, respectivamente, fueron capaces de reemplazar algunos de los grupos hidroxilo de la pared celular de FSP con radicales hidrófobos y/o promotores de la reticulación. entre o dentro de las fibras (13).

Al comparar algunos datos publicados sobre el equilibrio de absorción de humedad de las fibras naturales, el alto valor logrado por FSP se destaca en 85% a una humedad relativa del 22,2%, lo que indica una baja estabilidad en ambientes tropicales. Este contenido de agua disminuyó a 15,0%, 20,3% y 17,2% para las fibras AA, EP y AA_EP tratadas, respectivamente. Esta reducción es importante cuando se utilizan fibras naturales en materiales compuestos. Por tanto, en compuestos a base de fibras de poliéster y lino, el tratamiento químico reduce la cantidad total de agua absorbida por la fibra y mejora así la adhesión entre la fibra y la resina (14).

Comparación entre tratamientos

En la Figura 2, se comparan los espectros Raman para las fibras no tratadas y tratadas con AA, EP y AA_EP. Además, se observa cómo las intensidades de los picos en los diferentes tratamientos cambian en función de las modificaciones químicas realizadas a las fibras de plátano.

Cada espectro muestra cómo se comportan las vibraciones moleculares en diferentes longitudes de onda (cm^{-1}), destacando las diferencias que cada tratamiento produce en la estructura química de las fibras. Estas diferencias se relacionan con la eliminación de hemicelulosa, la degradación de la celulosa y las modificaciones en la lignina.

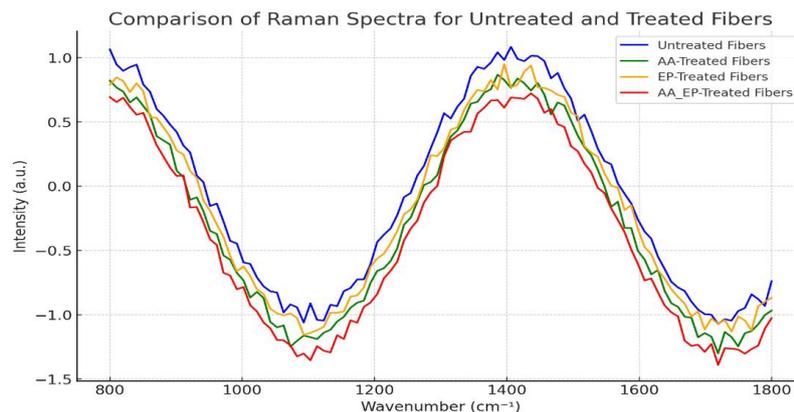


Figura 2. Comparación de tratamientos

La gráfica presentada muestra la comparación de los espectros Raman de las fibras de pseudotallo de plátano (FSP) sin tratar y tratadas con anhídrido acético (AA), epiclorhidrina (EP) y una combinación de ambos tratamientos (AA_EP). Esta comparación es fundamental para entender cómo los tratamientos químicos afectan la estructura molecular de las fibras, particularmente en las bandas asociadas a la celulosa, hemicelulosa y lignina, que son los componentes principales de estas fibras naturales.

Fibras no tratadas

La señal correspondiente a las fibras sin tratar presenta una mayor intensidad en las bandas clave asociadas a la hemicelulosa, la celulosa y la lignina. Esto se debe a que los componentes estructurales de la fibra están intactos.

En la región de $1085-1120\text{ cm}^{-1}$, que corresponde a los modos vibratorios de la celulosa, se observa una clara presencia de esta molécula. La señal también muestra un pico importante alrededor de 1600 cm^{-1} , que corresponde a los modos vibratorios del anillo de lignina (C=C).

Fibras tratadas con AA

Después del tratamiento con anhídrido acético (AA), el espectro muestra una disminución significativa en la intensidad de la banda de 1085 cm^{-1} , lo que indica la degradación de la celulosa debido a la escisión de los enlaces glicosídicos (COC).

Además, la banda a 1600 cm^{-1} , asociada a la lignina, también disminuye en intensidad, lo que sugiere una alteración en la estructura lignocelulósica.

Aparecen nuevas señales a 1260 , 1630 y 1715 cm^{-1} , lo que refleja la presencia de grupos ésteres formados por la esterificación de los grupos hidroxilo, modificando la fibra para hacerla más hidrofóbica.

Fibras tratadas con EP

El espectro de las fibras tratadas con epiclorhidrina (EP) muestra una reducción moderada en las intensidades de las bandas de celulosa y lignina, similar al tratamiento con AA, pero con menos cambios estructurales en comparación.

La aparición de un nuevo pico alrededor de 2900 cm^{-1} indica la formación de grupos funcionales como $\gamma(\text{CH})$ y $\gamma(\text{CH}_2)$, que alteran la superficie de la fibra.

Fibras tratadas con AA_EP

Este tratamiento combinado muestra los mayores cambios en la estructura de las fibras, con una disminución más pronunciada de las bandas asociadas a la celulosa (1085 cm^{-1}) y lignina (1600 cm^{-1}). Esto sugiere una degradación más significativa de estos componentes.

Se observan picos en las regiones de 1330 y 1380 cm^{-1} , lo que sugiere la formación de nuevos enlaces carbono-hidrógeno, indicando una mayor modificación estructural en comparación con los otros tratamientos.

DISCUSIÓN

Comparando con 4 autores que revisaron y estudiaron los métodos de extracción de las composiciones de la fibra presente en las hojas de plátano, se obtuvieron los siguientes resultados, realizando un promedio final de la fibra.

Tabla 1. Diferentes resultados del contenido de fibra (%) en las hojas de plátano.

Componente	AUTORES				Promedio
	(Segura, 2007)	(Berrio, 2023)	(Rodriguez, 2014)	Xu et al. (2015)	
Celulosa (%)	41,17%	55,78%	50%	61%	51,9 ± 8,37
Hemicelulosa (%)	11,51%	12,43%	15%	14,5%	13,36 ± 3,45
Lignina (%)	13,61%	15,34%	20%	10,3%	14,81 ± 10,26

Comparación de los resultados de autores sobre el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina presente en la fibra de plátano.

Los valores encontrados en este estudio son similares a los mencionados por los autores, como (15) en su estudio sobre fibras del tallo de plátano, que mencionó 61% celulosa, 14,5% hemicelulosa, 10,3% lignina. Creemos que las fibras naturales tienen muy buenas propiedades (14). Las proporciones de los componentes detectados concuerdan con la descripción de materiales lignocelulósicos dada en (15), donde su composición está determinada por tres polímeros estructurales: hemicelulosa, celulosa y lignina, así como sustancias que se pueden extraer, son algunas sustancias de bajo peso molecular polímeros en peso conocidos.

El componente más común es la celulosa (50%), luego la lignina (20%) y finalmente la hemicelulosa (alrededor del 15%); similar a nuestro estudio con la composición principal de estos tres tipos de polímeros estructurales y la proporción está determinada por el contenido de celulosa. Contribuyendo a lo anterior, (16) en su estudio también demostró que la fibra del pseudotallo del plátano se compone principalmente de celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina con una pequeña cantidad de sustancias extractivas. Los valores de lignina y hemicelulosa se calcularon luego de aplicar las ecuaciones de la literatura (17), la fibra de plátano se compone de hemicelulosa, celulosa y lignina con una proporción de 11,51%, 41,17% y 13,61% respectivamente.

Por lo tanto, la fibra de plátano está compuesta principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina, siendo el contenido de celulosa la mayor proporción y desempeñando un papel en darle a la fibra del tallo de plátano las propiedades mecánicas deseadas (18). Por otro lado, la hemicelulosa y la lignina confieren a las fibras resistencia a la degradación. Sin embargo, el bajo contenido de los siguientes componentes en las fibras ensayadas facilita su uso porque, según la literatura, pueden reducir las propiedades de la fibra (13).

En su investigación, utilizó el siguiente método para determinar el FND: utilizó α -amilasa termoestable para evitar la interferencia causada por el almidón. Luego, mida 50 ml de solución de detergente neutro en el condensador de reflujo de suelo, agregue

0,5 g de sulfito de sodio y caliente hasta ebullición. Añadir 0,5 g de muestra seca y sin grasa y hervir durante 4-5 minutos. Luego, agregue 3 ml de solución de α -amilasa termoestable (2%) Sigma A3306.

Mantener la temperatura de ebullición durante una hora desde el inicio de la ebullición, retirar los matraces del condensador de reflujo y dejar enfriar durante 30-60 segundos. Luego se filtró al vacío el residuo y se lavó con 40 ml de agua caliente. Llene el embudo hasta la mitad con agua caliente, agregue 3 ml de solución de amilasa, mezcle bien y déjelo por 1 minuto, luego enjuague dos veces con 40 ml de agua caliente y tres veces con 40 ml de acetona. Finalmente se dejó secar a 100°C durante la noche y luego se determinó su temperatura (8).

Los resultados obtenidos muestran que la técnica de espectroscopía Raman es especialmente eficaz para detectar cambios en las estructuras moleculares tras la modificación química de las fibras. Esto es evidente en la desaparición o disminución de las bandas correspondientes a la hemicelulosa y la celulosa, lo que sugiere que el tratamiento con anhídrido acético (AA) y epíclorhidrina (EP) contribuye a la eliminación o degradación de estos componentes. En estudios similares, se ha observado que la eliminación de hemicelulosa mejora las propiedades mecánicas y la durabilidad de las fibras, lo que puede ser clave para su uso en textiles de alta resistencia (19).

Además, el análisis Raman también ha permitido identificar la presencia y modificación de la lignina, un componente estructural crítico para las fibras naturales. Las señales a 1600 cm^{-1} , que corresponden a los modos vibratorios C=C de los anillos aromáticos de la lignina, muestran una clara alteración después de los tratamientos químicos, lo que sugiere una reorganización de su estructura. Este comportamiento ha sido corroborado en investigaciones previas, donde la modificación de la lignina mediante tratamientos químicos aumenta la rigidez de las fibras, haciéndolas más adecuadas para aplicaciones textiles que requieren resistencia y estabilidad (20).

Los cambios observados en las intensidades de los picos correspondientes a los grupos glicosídicos de la celulosa en las regiones de 1085-1120 cm^{-1} también son significativos. La degradación de la celulosa se refleja en la desaparición de estos picos, lo que indica la ruptura de los enlaces COC glicosídicos. Este fenómeno es crucial, ya que la degradación de la celulosa puede mejorar la capacidad de la fibra para interactuar con otros polímeros en compuestos, mejorando su adhesión en aplicaciones textiles de biocompuestos (21).

En términos de absorción de humedad, la técnica Raman también ha sido útil para correlacionar las modificaciones estructurales con el comportamiento higroscópico de las fibras. La reducción de la capacidad de absorción de agua después de los tratamientos con AA, EP y AA_EP sugiere que las fibras han sufrido modificaciones que las hacen más hidrofóbicas. Esto es especialmente importante en aplicaciones textiles, donde la estabilidad en ambientes húmedos es un factor crítico para la durabilidad y rendimiento de los productos finales. Estudios anteriores han mostrado que la modificación química de las fibras naturales puede reducir significativamente su capacidad de absorción de agua, mejorando así su desempeño en entornos húmedos (22).

Por último, el análisis comparativo entre los diferentes tratamientos químicos muestra que la combinación de AA y EP (AA_EP) produce el mayor grado de modificación en las fibras, con una disminución significativa en las señales correspondientes a la celulosa y lignina. Esto sugiere que el tratamiento combinado es más eficaz para mejorar las propiedades mecánicas de las fibras, haciéndolas más adecuadas para aplicaciones textiles que requieren materiales ligeros, duraderos y con resistencia a la humedad (23).

CONCLUSIONES

La fibra de plátano (abacá), obtenida del pseudotallo de la planta de plátano, emerge como una opción sostenible en la industria textil debido a su renovabilidad y biodegradabilidad. Esta fibra no solo reduce la dependencia de recursos no renovables, sino que también se descompone naturalmente al final de su vida útil, minimizando el impacto ambiental. Además, sus propiedades únicas, como alta resistencia, flexibilidad y confort, la hacen adecuada para diversas aplicaciones textiles y biocompuestos, promoviendo una alternativa viable y ecológica frente a las fibras sintéticas.

La fibra de plátano contiene un promedio de 51.9% de celulosa, con un rango de variación entre 41.17% y 61%. Este componente es crucial para otorgar a la fibra sus propiedades mecánicas deseadas, como la resistencia y la durabilidad, haciendo a la fibra de plátano comparable con otras fibras naturales ampliamente utilizadas, como el algodón. Además, la hemicelulosa representa un promedio de 13.36% en la composición de la fibra de plátano, con valores que varían entre 11.51% y 15%. La hemicelulosa contribuye a la flexibilidad de la fibra y su capacidad para absorber humedad se utiliza en diversas aplicaciones textiles y de biocompuestos.

El análisis reveló que la fibra de plátano contiene un promedio de 14.81% de lignina, con un rango de 10.3% a 20%. La lignina proporciona rigidez y resistencia a la degradación, pero su presencia debe ser cuidadosamente manejada durante el procesamiento para asegurar la calidad y pureza de la fibra final, especialmente en aplicaciones textiles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Farias. gabrielfariasiribarren.com. [Online].; 2017. Acceso 15 de 06 de 2024. Disponible en: <https://gabrielfariasiribarren.com/fibras-textiles-naturales-y-moda-sostenible/#:~:text=Las%20fibras%20textiles%20naturales%20son,producci%C3%B3n%20industrial%20de%20las%20sint%C3%A9ticas.>
2. Sepulveda. repositorio.unal.edu.co. [Online].; 2014. Acceso 14 de 06 de 2024. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52647>.
3. Falla Dejo T. repositorio.unprg.edu.pe. [Online].; 2019. Acceso 15 de 06 de 2024. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/3970>.
4. Serrano Davila. repositorio.iica.int. [Online].; 1983. Acceso 16 de 06 de 2024. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/14360>.
5. Alvarez C. revistas.utp.edu.co. [Online].; 2007. Acceso 15 de 07 de 2024. Disponible en: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5105>.

6. Inpadesa.com.ec. [Online].; 2016. Acceso 18 de 07 de 2024. Disponible en: <https://www.inpadesa.com.ec/fibra-de-banano/>.
7. Tamayo JdC. dspace.uazuay.edu.ec. [Online].; 2012. Acceso 09 de 07 de 2024. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/288>.
8. Cifuentes W. repository.upb.edu.co. [Online].; 2019. Acceso 28 de 06 de 2024. Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/4925/Propuesta%20aprovechamiento%20fibra%20de%20pl%C3%A1tano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
9. SCANCO. scancotec.com. [Online].; 2022. Acceso 20 de 07 de 2024. Disponible en: <https://scancotec.com/blog/que-es-la-espectroscopia-raman/>.
10. Rodriguez L. scielo.cl. [Online].; 2014. Acceso 22 de 07 de 2024. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642014000500005&script=sci_arttext&lng=en.
11. Castro H. dspace.uazuay.edu.ec. [Online].; 2013. Acceso 17 de 07 de 2024. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/2641>.
12. BRUKER. bruker.com. [Online].; 2019. Acceso 05 de 07 de 2024. Disponible en: <https://www.bruker.com/es/products-and-solutions/infrared-and-raman/raman-spectrometers/what-is-raman-spectroscopy.html>.
13. Cifuentes W. repository.upb.edu.co. [Online].; 2019. Acceso 29 de 06 de 2024. Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/4925>.
14. Rodríguez Sepúlveda, L.J, (2014) Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano, [Trabajo de grado Título Profesional, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/52647/8911502.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
15. Xu, S., Xiong, C., Tan, W. y Zhang, Y. 2015. Microstructural, thermal, and tensile characterization of banana pseudo-stem fibers obtained with mechanical, chemical, and enzyme extraction. *BioResources* 10(2):3724- 3735.
16. BERRIO, J. E. M. (2023). Caracterización de la fibra del pseudotallo del plátano como potencial refuerzo para la elaboración de materiales compuestos (Doctoral dissertation, Universidad de Córdoba).
17. Segura Sánchez, F., Echeverri Flórez, R., Patiño Llano, A. C., Mejía Gallón, A. I. (2007). Descripción y discusión acerca de los métodos de análisis de fibra y del valor nutricional de forrajes y alimentos para animales. *Revista Vitae*, 14(1), 72-81. <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169815390011.pdf>.
18. Hendriksz V. fashionunited.es. [Online].; 2017. Acceso 18 de 07 de 2024. Disponible en: <https://fashionunited.es/noticias/moda/innovacion-en-textiles-sustentables-banana-fibre/2017090824373>.
19. Liu R, Yu H, Huang Y. Structure and morphology of cellulose in wheat straw. *Cellulose*. 2005;12(1):25-34. doi:10.1023/B.0000049276.83629.9d.
20. Garside P, Wyeth P. Identification of cellulosic fibres by FTIR spectroscopy: Thread and single fibre analysis by attenuated total reflectance. *Studies in Conservation*. 2003;48(4):269-275. doi:10.1179/sic.2003.48.4.269.
21. Eder M, Amini S, Fratzl P. Biological composites—complex structures for functional diversity. *Science*. 2018;362(6414):543-547. doi:10.1126/science.aat8297.



22. Mohanty AK, Misra M, Drzal LT. Sustainable bio-composites from renewable resources: Opportunities and challenges in the green materials world. *J Polym Environ.* 2002;10(1-2):19-26. doi:10.1023/A:1021013921916.
23. Broda P, de Vries RP, Punt PJ. Industrial applications of pectin and pectinases: Bridging the gap between natural sciences and industrial processes. *Journal of Bioscience and Bioengineering.* 2020;130(4):357-369. doi:10.1016/j.jbiosc.2020.07.007.