



**UNIVERSIDAD TECNICA DE BABAHOYO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**



**ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA Y**  
**VETERINARIA**

**CARRERA DE AGROINDUSTRIA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Componente práctico del examen de carácter complejo, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo para obtener el título de:

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**TEMA:**

Residuos vegetales de Banano (*Musa x paradisiaca* L), coco (*Cocos nucifera* L) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) para la obtención de fibras textiles.

**AUTOR:**

Lorenzo Montoya Murillo

**TUTORA:**

Ing. Sheyling Segobia Muñoz, MSc.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2024

## RESUMEN

Las fibras textiles de origen vegetal provenientes de residuos comprenden una inmensa cantidad de material resultante de operaciones de cosecha o industrialización, dichos residuos pueden actuar como sustituyente a las fibras sintéticas de origen petroquímico, las cuales generan contaminación de cuencas hidrológicas y emisiones de gases de efecto invernadero, además de que tienen una lenta degradación. En este estudio se analizan los residuos de banano (*Musa x paradisiaca L*), coco (*Cocos nucifera L*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum L*) para obtener fibras textiles, resultando que a concentraciones inferiores al 10 % de NaOH en el proceso de obtención se mejoran las cualidades de las fibras, mientras que el mejor material lignocelulósico para obtener celulosa y posterior fabricación de hilo rayón es el raquis de banano. A su vez las fibras que presentan mayor versatilidad para la confección de accesorios es el bagazo dado el balance entre su rendimiento en obtención, resistencia mecánica y módulo de elasticidad, siendo estas dos últimas conferidas por su cantidad de celulosa, diámetro de fibra y AMF (ángulo microfibrilar); mientras que las fibras de coco se distinguen principalmente para aplicaciones en ambientes a la intemperie por su capacidad de resistencia conferida por su composición.

**Palabras claves:** Bagazo, propiedades, aplicaciones, celulosa, composición.

## SUMMARY

Textile fibers of vegetable origin from residues comprise an immense amount of material resulting from harvesting or industrialization operations; these residues can act as a substitute for synthetic fibers of petrochemical origin, which generate contamination of watersheds and greenhouse gas emissions, in addition to their slow degradation. In this study, banana (*Musa x paradisiaca* L), coconut (*Cocos nucifera* L) and sugar cane (*Saccharum officinarum* L) residues are analyzed to obtain textile fibers, resulting that at concentrations lower than 10 % NaOH the qualities of the fibers are improved, while the best lignocellulosic material to obtain cellulose and later manufacture rayon yarn is the banana rachis. In turn, the most versatile fibers for the manufacture of accessories is bagasse, given the balance between its performance in obtaining, mechanical strength and modulus of elasticity, the latter two being conferred by its amount of cellulose, fiber diameter and MFA (microfibrillar angle), while coconut fibers are distinguished mainly for applications in outdoor environments for its resistance capacity conferred by its composition.

**Keywords:** Bagasse, properties, applications, cellulose, composition.

**ÍNDICE**

RESUMEN .....	II
SUMMARY .....	III
ÍNDICE .....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	V
ÍNDICE DE FIGURA .....	VI
1. CONTEXTUALIZACIÓN .....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2. Planteamiento de la situación problemática .....	2
1.3. Justificación .....	3
1.4. Objetivos del estudio de caso .....	5
1.4.1. Objetivo general .....	5
1.4.2. Objetivos específicos .....	5
1.5. Línea de investigación .....	5
2. DESARROLLO .....	6
2.1. Marco conceptual .....	6
2.1.1. Industria textil .....	6
2.1.2. Fibra textil .....	6
2.1.3. Celulosa .....	7
2.1.4. Fibras naturales .....	7
2.1.5. Propiedades de las fibras textiles .....	9
2.1.6. Composición de las fibras naturales .....	10

2.1.7. Obtención de fibras a partir de la celulosa .....	11
2.2. Marco metodológico .....	11
2.3. Resultados .....	12
2.4. Discusión de resultados.....	16
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	18
3.1. Conclusiones.....	18
3.2. Recomendaciones.....	19
4. REFERENCIAS Y ANEXOS .....	20
4.1. Referencias bibliográficas.....	20
4.2. Anexos .....	25

<b>Tabla 1</b>	Ángulo microfibrilar de las fibras .....	8
<b>Tabla 2</b>	Proceso de obtención de hilo .....	12
<b>Tabla 3</b>	Rendimiento de las fibras.....	13
<b>Tabla 4</b>	Proceso de extracción de celulosa a partir de material vegetal.....	14
<b>Tabla 5</b>	Proceso para la síntesis de hilo rayón cuproamoniaca.....	15
<b>Tabla 6</b>	Propiedades físico mecánicas de las fibras .....	15

## ÍNDICE DE FIGURA

<b>Figura 1</b> Esquema de la estructura de las fibras naturales .....	7
<b>Figura 2</b> Categorización de las fibras de acuerdo a su origen .....	8

## 1. CONTEXTUALIZACIÓN

### 1.1. Introducción

La industria textil global es crucial para la economía mundial, con una red de producción, distribución y comercialización que emplea a millones de personas. En 2019, generó aproximadamente 1.3 billones de dólares en ingresos (Niinimäki et al., 2020).

La industria textil ecuatoriana, rica en historia y cultura desde la colonización española, es un sector económico que genera empleo. Abarca la elaboración de fibras naturales y sintéticas para confeccionar hilados, telas y prendas de vestir y de hogar (Valdivieso Bonilla et al., 2022).

Sin embargo, la generación de textiles sintéticos influye en la generación de materiales que no se degradan con facilidad, sobre todo porque la generación de estos es tan masiva que no da lugar a que se descomponga de manera paulatina, siendo consideradas las fibras de poliéster como un micro plástico que es fabricado mediante la reacción de dos derivados del petróleo a alta temperatura, el ácido tereftálico y el etilenglicol (Vázquez, 2019).

Además de que se estima que el océano alberga aproximadamente 80 millones de toneladas de desechos plásticos, con un incremento anual de 10 millones de toneladas, con lo cual para el año 2050 la cantidad de plástico en los océanos podría igualar la cantidad de peces (Vázquez, 2019).

Así mismo se estima que durante el periodo de tiempo comprendido entre 1950 hasta el 2015, se han originado 8 300 millones de toneladas de plástico virgen a nivel global y se han generado 6 300 millones de toneladas de residuos plásticos, cobrando gran importancia los micro plásticos por su impacto ambiental, mismo que son polímeros sólidos e insolubles a 20 °C con una dimensión comprendida entre 1 a 1 000  $\mu\text{m}$  (Muñante, 2020).

Por otro lado, cuando los residuos no se aprovechan, generan una contaminación ambiental considerable. En la agricultura y la industria alimentaria, los residuos vegetales,

como restos de cosechas, hojas, tallos y subproductos, así como desechos orgánicos urbanos, contribuyen a la contaminación del suelo.

La descomposición de grandes volúmenes de materia orgánica e inorgánica da lugar a la formación de lixiviados que contienen nutrientes y contaminantes que pueden infiltrarse en las aguas subterráneas, constituyendo una contaminación hidrológica (Ortiz Alvarez et al., 2023).

Del mismo modo los residuos vegetales al descomponerse liberan gases de efecto invernadero (GEI) como el metano y el dióxido de carbono, mayormente en condiciones anaeróbicas, como en vertederos, mientras que la quema de residuos vegetales libera grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y material particulado, contaminando el aire y afectando la calidad del aire local y regional (EPA, 2023).

A raíz del desaprovechamiento se genera una vertiente ecológica en las nuevas generaciones de sustentabilidad y sostenibilidad en el tiempo dado a la conciencia social que se ha promulgado en las últimas décadas.

## **1.2. Planteamiento de la situación problemática**

La generación de residuos está intrínsecamente ligada a las actividades antropogénicas propias de la producción agrícola e industrial. Estos residuos no solo representan un desafío significativo en términos de gestión, la industria textil también representa un importante foco de contaminación ambiental puesto que ciertos desechos textiles elaborados a base de poliamida y poliéster tardan en descomponerse unos 40 y 200 años o más respectivamente, siendo responsable cada año de liberar medio millón de micro fibras sintéticas al océano (Sánchez et al., 2021).

La industria textil es superada únicamente por la industria petrolera en términos de contaminación. El consumo excesivo y tendencias como la moda rápida, junto con las condiciones de fabricación de la ropa, posicionan a la industria textil en el segundo lugar en

consumo de agua. Esto resulta en un 20 % de agua residual y un 10 % de las emisiones de carbono globales (Sánchez et al., 2021).

La utilización eficiente de la ropa es una preocupación creciente, evidenciada por el hecho de que el promedio de veces que una prenda se utiliza antes de ser descartada ha experimentado una reducción del 36 % a nivel global en los últimos 15 años (Larios, 2019).

En el año 2022, hubo una recolección de 14 394 toneladas diarias de residuos sólidos a nivel nacional en promedio, de dicha cantidad 2 393,1 toneladas corresponden a una recolectaron de forma diferenciada, siendo el 50,5 % residuos inorgánicos (INEC, 2022).

A nivel mundial en las últimas dos décadas la actividad textil se ha duplicado, llegando a un máximo histórico de 111 millones de toneladas en 2 019, mientras que en labores de ecología se considera que apenas un 13 % se recicla y un 85 % acaban en vertederos o incinerados en parte porque la actividad de reciclaje es algo opcional en esta industria (Sánchez et al., 2021).

Por otro lado, la producción agrícola global ha aumentado significativamente en las últimas décadas para satisfacer la creciente demanda de alimentos, dichos sistemas alimentarios son responsables del 30 % de emisión de GEI y un tercio de los alimentos producidos en el mundo se pierde o se desperdicia (Banco Mundial, 2021).

## **Formulación del problema**

¿Qué capacidad de aplicación pueden tener los residuos de banano, coco y caña de azúcar como materia prima en la industria textil?

### **1.3. Justificación**

La razón de esta investigación radica en la búsqueda de alternativas más ecológicas para la industria textil, mediante la incorporación de fibras textiles de origen vegetal de tal manera que merme la generación de micro plásticos, lixiviados y GEI, a la vez que se les da una segunda vida a los residuos vegetales.

Además de que, durante el proceso de obtención de fibras sintéticas, se utilizan una variedad de productos químicos, incluyendo solventes, colorantes y agentes de acabado, muchos de los cuales pueden contaminar los cuerpos de agua (Huiman Cruz, 2022).

Ante la creciente preocupación por el impacto ambiental de las prácticas comerciales tradicionales, es necesario buscar cambios en la industria textil. Los residuos vegetales son una valiosa fuente de fibra textil. Estos residuos contienen materiales que se pueden convertir en fibra y proporcionan una solución ecológica para la producción de hilo.

El aprovechamiento de residuos lignocelulósicos no sólo reduce los residuos agrícolas y agroindustriales, sino que también promueve modelos de economía circular en la industria textil. Al convertir los productos de desecho en materias primas, se puede reducir la dependencia de los productos sintéticos y reducir los impactos ambientales resultantes de su producción y descomposición. Además, el valor añadido de estos productos puede proporcionar ingresos adicionales a los agricultores, aumentando su estabilidad económica (Aguar et al., 2022).

Ecuador produce aproximadamente 2,2 millones de toneladas anuales de residuos agroindustriales, en su mayoría lignocelulósicos o ricos en almidón. Esta abundante materia prima ofrece un gran potencial para la creación de nuevos productos sostenibles, biotecnológicos e innovadores. Gracias a sus características físicas, químicas y biológicas, estos residuos agroindustriales tienen un enorme potencial de aprovechamiento para diversas aplicaciones (Aguar et al., 2022).

El uso de residuos vegetales para la producción de fibras textiles reduce la cantidad de desechos agrícolas que necesitan ser gestionados, disminuyendo la carga ambiental. Mientras que al sustituir las fibras sintéticas por naturales reduce el consumo de recursos fósiles y la emisión de GEI.

## **1.4. Objetivos del estudio de caso**

### **1.4.1. Objetivo general**

Analizar los residuos vegetales de Banano (*Musa x paradisiaca L*), coco (*Cocos nucifera L*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum L*) para la obtención de fibras textiles.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Establecer el proceso de obtención de hilos a partir de las fibras vegetales de banano (*Musa x paradisiaca L*), coco (*Cocos nucifera L*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum L*).
- Describir las propiedades físico mecánicas que presentan las fibras obtenidas a partir de banano (*Musa x paradisiaca L*), coco (*Cocos nucifera L*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum L*).
- Contrastar las aplicaciones industriales de las fibras textiles.

## **1.5. Línea de investigación**

La presente investigación está enfocada dentro de los dominios de la Universidad Técnica de Babahoyo de Recursos agropecuarios, ambiente, biodiversidad y biotecnología. Pues, la temática de la presente investigación es “Residuos vegetales de Banano (*Musa x paradisiaca L*), coco (*Cocos nucifera L*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum L*) para la obtención de fibras textiles”, el mismo que se encuentra enfocado en la línea de: Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable y en la sublínea de: Seguridad y soberanía alimentaria.

## **2. DESARROLLO**

### **2.1. Marco conceptual**

#### **2.1.1. Industria textil**

Esta industria ha explorado el uso de residuos agrícolas como fuente alternativa de fibras textiles. Para ello, se han desarrollado diversos métodos físicos, químicos y biológicos con el fin de obtener fibras de alta calidad a partir de residuos (Jácome Pilco et al., 2023).

#### **2.1.2. Fibra textil**

La fibra textil es un material con alta flexibilidad, finura y expansión en comparación con su espesor transversal, lo que la hace ideal para muchas aplicaciones en la industria textil (Jácome Pilco et al., 2023).

##### **2.1.2.1. Características de las fibras textiles**

Las fibras textiles deben cumplir con ciertas cualidades para ser procesadas y convertidas en tejidos, como longitud, color, brillo, finura, elasticidad, y resistencia (al calor, solventes, luz, y reactivos químicos).

Por naturaleza, las fibras textiles no suelen ser largas, excepto la seda, mientras que algunas lanas pueden alcanzar hasta 350 mm, clasificando las como fibras discontinuas. Químicamente, se pueden fabricar fibras textiles de longitud indefinida, similares a los filamentos de seda, que pueden recortarse para asemejarse a las fibras naturales. Además, estas fibras pueden obtenerse de tejidos vegetales convertidos en fibras textiles (Jácome Pilco et al., 2023).

##### **2.1.2.2. Características de la fibra textil a partir de residuos orgánicos**

Las fibras vegetales se refieren a conjuntos de células con alta resistencia mecánica, compuestas de lignina y celulosa, que proporcionan soporte estructural a las plantas. Su composición química, rica en celulosa, las hace menos susceptibles a la descomposición por microorganismos, lo que les confiere durabilidad. Además, el elevado contenido de lignina permite que estas fibras resistan las fuerzas de tensión (Jácome Pilco et al., 2023).

### 2.1.3. Celulosa

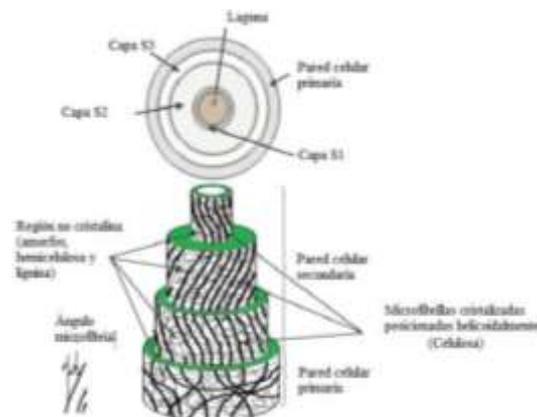
La celulosa es un polímero de carbohidrato compuesto por moléculas de  $\beta$ -glucosa unidas mediante enlaces  $\beta$ -1,4-glucosídicos. Los tres grupos hidroxilo presentes en cada unidad de glucosa permiten la formación de enlaces de hidrógeno entre las cadenas, otorgándoles una gran resistencia e insolubilidad en agua, este polímero es el más abundante en la tierra, presente en las paredes de plantas, diversas algas, tunicados y bacterias (Velasco et al., 2020).

### 2.1.4. Fibras naturales

La “figura 1” muestra los componentes estructurales de las fibras naturales de origen vegetal.

#### Figura 1

*Esquema de la estructura de las fibras naturales*



*Nota.* Fuente: Buelvas & Díaz (2023).

Las fibras naturales, provenientes de plantas, animales y minerales, son filamentos biológicos con propiedades químicas, físicas y mecánicas que les otorgan cualidades como apariencia, textura, longitud, resistencia y flexibilidad. Estas fibras están compuestas por microfibrillas de celulosa en una matriz de lignina y hemicelulosa. Se dividen en dos tipos principales: lignocelulósicas, con un 85% de celulosa, hemicelulosa y lignina, y no celulósicas, sin lignina (Buelvas & Díaz, 2023).

Cada fibra tiene una pared primaria delgada y una pared secundaria más gruesa, con microfibrillas en la capa intermedia de la pared secundaria dispuestas en hélice. La resistencia de las fibras depende de las largas cadenas de celulosa que forman las tres capas de la pared secundaria. El ángulo microfibrilar y el grosor de la pared secundaria son cruciales para la resistencia mecánica, con un mayor contenido de celulosa correlacionado con una mayor resistencia a la tracción y un mayor módulo de Young (Buelvas & Díaz, 2023).

La “tabla 1” hace mención al ángulo microfibrilar de las fibras vegetales, lo cual influye en las características mecánicas que cada fibra presenta ante pruebas de tracción y resistencia.

**Tabla 1**

*Ángulo micro fibrilar de las fibras*

Fibra	AMF (Grados)
Coco	30 - 49
Bagazo	14 - 15
Banano	10 - 12

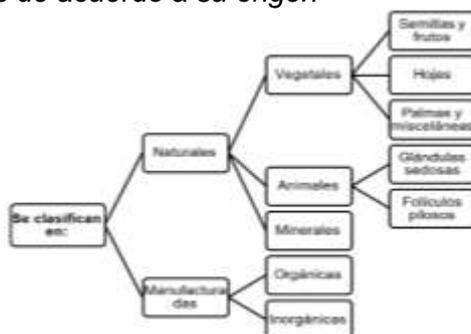
*Nota.* Fuente: Cifuentes, W., & Cifuentes, E. (2019); Cunalata, E., & Jiménez, C. (2019).

#### 2.1.4.1. Clasificación de las fibras.

La “figura 2” muestra la clasificación de las fibras según su origen de acuerdo a una categorización establecida por la ARCOSA.

**Figura 2**

*Categorización de las fibras de acuerdo a su origen*



*Nota.* Fuente: INEN (2009).

### **2.1.4.2. Fibra vegetal**

En las plantas superiores, las fibras se componen de fibrillas de celulosa que se alinean a lo largo de la fibra, lo que les confiere una notable resistencia a la tracción y rigidez (Zhapán & Mosquera, 2019).

Las fibras de origen vegetal están compuestas de celulosa, hemicelulosa, lignina, ceras y compuestos hidrosolubles. En cambio, las fibras de origen animal, como la lana y la seda, contienen proteínas que las hacen resistentes a los ácidos orgánicos. Las fibras vegetales actúan como elementos estructurales en todas las plantas, consistiendo en ligamentos fibrosos con fibras de celulosa incrustadas en una matriz de lignina. Estas fibras están alineadas a lo largo del hilo, proporcionando resistencia a la tracción y a la flexión, lo que les confiere rigidez y amplia utilidad industrial (Buelvas & Díaz, 2023).

La ductilidad de las fibras vegetales varía según la orientación de las microfibrillas, una orientación en espiral con respecto al eje de las fibras las hace más dúctiles, mientras que una orientación paralela las hace rígidas, inflexibles y con alta resistencia a la tracción (Buelvas & Díaz, 2023).

No obstante, las propiedades de cada una de las fibras textiles dependen de la hebra del vegetal que sean extraídos y del grado de unión entre ellos (Jácome Pilco et al., 2023).

## **2.1.5. Propiedades de las fibras textiles**

### **2.1.5.1. Propiedades físicas**

La longitud y el diámetro o tamaño, la longitud de las fibras se refiere a la distancia que estas abarcan, medida en milímetros. Por su parte, el diámetro o tamaño de las fibras se mide en micras (milésimas de milímetro) (Zhapán & Mosquera, 2019).

### **2.1.5.2. Propiedades mecánicas**

La elongación es la medida del estiramiento que las fibras pueden soportar antes de romperse, expresada como un porcentaje de su longitud original (Zhapán & Mosquera, 2019).

La resistencia a la rotura se evalúa sometiendo el textil a una fuerza máxima para determinar su capacidad de resistir la ruptura. También conocida como resistencia a la tracción, esta propiedad indica la máxima fuerza de tracción que puede soportar el material antes de romperse al ser estirado (Vallejo, A., 2024).

## **2.1.6. Composición de las fibras naturales**

### **2.1.6.1. Banano**

El pseudotallo del plátano está compuesto por una serie de vainas superpuestas dispuestas en espiral alrededor de un núcleo central o médula. Su composición incluye celulosa (56 - 60 %), hemicelulosa (43 %), lignina (19 - 20 %), pectina, ceras y sustancias solubles en agua. El núcleo tiene una forma cilíndrica con un diámetro que oscila entre 5 y 6 cm aproximadamente (Castañeda-Niño et al., 2024).

### **2.1.6.2. Coco**

Esta fibra es conocida por su dureza y menor longitud en comparación con otras fibras vegetales, compuesta principalmente de lignina, celulosa y hemicelulosa, la fibra de coco destaca por sus excelentes propiedades de absorción y retención de agua

En comparación con otras fibras vegetales que contienen lignina, celulosa y hemicelulosa, la fibra de coco destaca por sus excelentes propiedades de absorción, retención de agua, dureza y corta longitud. (Vaca-Cardenas et al., 2021).

En términos de composición química, contiene aproximadamente 12 % de agua, 8 % de hemicelulosa, 46 % de celulosa, 33 % de lignina y 1 % de ceniza. Cabe destacar que el contenido de celulosa de la fibra de coco es inferior al 60 %, mientras que el contenido de celulosa de muchas otras fibras naturales es igual o incluso superior a este porcentaje (Gomez et al., 2020).

Dicha composición de celulosa y lignina le confiere baja conductividad térmica y resistencia frente a impactos, bacterias y agua (Buelvas & Díaz, 2023).

### **2.1.6.3. Bagazo de caña de azúcar**

El residuo resultante del prensado de los tallos tiene aplicaciones como la fabricación de papel, la producción de combustibles para generar vapor en calderas, y la obtención de etanol de segunda generación. Dichos residuos presentan en su composición química un 34,5 % de celulosa, 22,4 % de hemicelulosa, 18,9 % de lignina y un 20,7 % de xilano (Vargas Isaza et al., 2019).

### **2.1.7. Obtención de fibras a partir de la celulosa**

Las especies vegetales contienen principalmente celulosa, la cual se puede extraer para obtener diversos compuestos, principalmente se consume celulosa para la elaboración de productos no alimentarios como papel y cartón, en segundo lugar, para obtener fibras textiles como el rayón (Cárdenas et al., 2022).

Uno de los métodos para producir rayón es el proceso del cuproamónio, donde la celulosa se disuelve en una disolución amoniacal de hidróxido cúprico conocido como reactivo Schweitzer. El complejo cobre-amoniaco-celulosa se descompone, precipitando la celulosa en forma de hilatura o filamentos. Estos filamentos reciben el nombre de rayón cuproamoniaco (Cárdenas et al., 2022).

## **2.2. Marco metodológico**

Este estudio es una revisión bibliográfica, para la cual se ha indagado en información perteneciente a textos actualizados, revistas, bibliotecas virtuales y sobre todo artículos científicos. La información recabada se procesó mediante técnicas de análisis, síntesis y resumen a fin de constituir un estudio prolijo. Las búsquedas se efectuaron de revistas como ScienceDirect, Web of Science, BIOSIS Previews, Elsevier, Biological Abstracts, Scielo, Scopus, Latindex, World Wide Science, PubMed, Dialnet y gestores bibliográficos como Mendeley y Zotero.

Se analizó la información y se la distribuyó de la siguiente manera:

- Procesos de extracción de las fibras vegetales de banano, coco y bagazo.
- Proceso de obtención de celulosa a partir de los residuos vegetales.
- Proceso de obtención de hilo rayón por el método cupreaamoniacal.
- Descripción de las propiedades fisicomecánicas de las fibras textiles.
- Descripción de las aplicaciones de las fibras a partir de las cualidades y propiedades de cada una de ellas.

### 2.3. Resultados

La “tabla 2” muestra las etapas en el proceso de obtención de las fibras textiles, las cuales presentan diferencia en la concentración, temperatura y tiempo de actuación del álcali empleada para su extracción, además de presentar diferencia también en el secado.

**Tabla 2**

*Proceso de obtención de hilo*

<b>Etapa</b>	<b>Coco</b>	<b>Banano</b>	<b>Bagazo</b>
Recolección	...	...	...
Limpieza	...	...	...
Corte	...	...	...
Tratamiento con álcali	NaOH al 6 %	NaOH al 9 %	NaOH al 6 %
Calentamiento	80 °C por 4 h	90 °C por 1,16 h	80 °C por 1 h
Filtrado y lavado	...	...	...
Neutralización con CH <sub>3</sub> COOH al 1 %	...	...	...
Lavado	...	...	...
Secado	70°C por 36 h	70°C por 30 h	70°C por 48 h
Escarmenado	...	...	...
Cepillado	...	...	...
Torsión manual	...	...	...

*Nota.* Fuente: Zhapán & Mosquera (2019).

La “tabla 3” muestra el rendimiento porcentual en masa de las fibras tras un proceso de secado, siendo obtenida a partir de la diferencia de masa debido a la disminución de la humedad.

**Tabla 3**

*Rendimiento de las fibras*

<b>Fibra</b>	<b>fibra húmeda (g)</b>	<b>residuo seco (g)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
Pseudotallo	1294	72	11,18
Coco	501	120,67	16,25
Bagazo	500	311,41	50,10

*Nota.* Fuente: Gonzáles Alarcón (2019); Zhapán & Mosquera (2019).

### **Proceso de obtención de hilo rayón o hilo de celulosa**

En la “tabla 4” se muestran las etapas que constituyen el proceso de obtención de celulosa a partir de las distintas materias primas, teniendo en consideración que se emplean distintas temperaturas, tiempos y concentraciones de hidróxido de sodio y ácido sulfúrico, mismas que se detallan en dicha tabla.

**Tabla 4***Proceso de extracción de celulosa a partir de material vegetal*

<b>Etapa</b>	<b>Bagazo</b>	<b>Raquis</b>	<b>Coco</b>
Triturado	Reducción	...	5 min a 490 rpm
Deshidratado	2 h a 70 °C	...	168 h a 60 °C
Tratamiento álcali NaOH	Al 10 % en 220 g	Al 15 % P/V	Al 3 % por 1 h con ultrasonido
Calentamiento	Ebullición por 25 min	80 °C por 120	...
Enfriamiento y lavado	Se deja enfriar y se lava	Se deja enfriar y se lava	...
Secado	24 h	24 h	...
Tratamiento ácido H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Al 0,4 %	Al 6 %	65 wt % con ultrasonido 4h
Calentamiento	Ebullición por 10 min	80 °C por 80 min	...
Enfriamiento	1 h	1 h	...
Lavado	ph 7	pH 7	pH 7
Tratamiento Blanqueador	NaClO comercial	NaClO al 10%	...
Calentamiento	Ebullición 1h	70 °C por 2 h	...
Lavado y secado	Se lava y se deja secar	Se lava y seca a 35°C por 24 h	Se deja secar

*Nota.* Fuente: Angulo et al. (2023); Cárdenas et al. (2022); Pinos & Braulio. (2019).

La “tabla 5” detalla el proceso de obtención de hilo rayón a partir de celulosa obtenida a partir de material lignocelulósico.

**Tabla 5**

*Proceso para la síntesis de hilo rayón cuproamoniacal*

<b>Etapa</b>	<b>Descripción</b>
Preparación de la solución de cobre amoniacal	Disolución de 5 g de $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ en 50 ml de $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y se agita hasta la formación de $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4(\text{OH})_2$
Adición de celulosa	Se añade 1 g de celulosa al cobre amoniacal y se agita hasta obtener gel bajo condiciones inertes
Formación de las fibras	Se toma la solución viscosa con una jeringa y se vierte $\text{H}_2\text{SO}_4$ 1M, lo que forma fibras de rayón cuproamoniacal

*Nota.* Fuente: Cárdenas et al. (2022).

### **Propiedades físico mecánicas de las fibras**

La “tabla 6” es elaborada conforme a la norma ASTM D3822, que describe un método estándar para las propiedades de tracción de fibras textiles individuales, sin importar el origen de la fibra. Mientras que se emplea la metodología estándar ASTM D1577-7B para la obtención de la densidad lineal se logra con el método de pesado de fibra individual.

**Tabla 6**

*Propiedades físico mecánicas de las fibras*

<b>Propiedad físico mecánica</b>	<b>Bagazo</b>	<b>Pseudotallo</b>	<b>Coco</b>
Diámetro (mm)	0,24	$0,293 \pm 0,047$	$0,307 \pm 0,118$
Densidad lineal (text)	...	$1,73 \pm 0,58$	$36,6 \pm 1,11$
<i>Resistencia mecánica (MPa)</i>	196,4	$232,40 \pm 88,86$	$120,85 \pm 67,24$
<i>Módulo de elasticidad (GPa)</i>	16,4	$9,35 \pm 3,50$	$1,83 \pm 0,91$
<i>Longitud (mm)</i>	26	...	...

*Nota.* Fuente: Castañeda-Niño et al. (2024) ; Gomez et al. (2020).

### **Aplicaciones de las fibras**

Las fibras textiles pueden utilizarse directamente para confeccionar una variedad de accesorios en diferentes sectores. En la moda, se emplean para fabricar joyería, bolsos,

carteras, cinturones, sombreros y gorras. En el ámbito del hogar, estas fibras se utilizan principalmente en la decoración, aportando estilo y funcionalidad a los espacios. Además, en la industria automotriz, las fibras se aplican en la producción de cubre asientos.

Por otra parte, la posibilidad de fabricar ropa y accesorios a partir de hilo rayón es muy amplia a diferencia del uso de las fibras de manera directa, principalmente por el confort que resulta del contacto con la piel.

Mientras que el bagazo de caña es adecuado para textiles que requieren mayor durabilidad y resistencia, como lonas, sacos y otros textiles industriales, la fibra de coco es adecuada para aplicaciones que no requieren una alta resistencia mecánica pero sí flexibilidad, como rellenos, colchones y ciertos tipos de tapicería.

La fibra de pseudotallo es ideal para aplicaciones que requieren un equilibrio entre fuerza y flexibilidad, como textiles para ropa, cuerdas y redes, debido a su alta resistencia y moderada elasticidad.

#### **2.4. Discusión de resultados**

Según señala Zhapán & Mosquera (2019), la fibra de coco de manera distinguida presenta mayor resistencia frente a la fibra de banano y bagazo, no obstante, los resultados obtenidos por Gomez et al. (2020), esta no presenta no presenta gran resistencia mecánica frente a las otras, además de que es mucho menos flexible frente a las demás de acuerdo a los resultados obtenidos en su módulo de elasticidad.

Esta discrepancia puede darse en parte porque según señala Gonzáles Alarcón (2019) cuando se realiza tratamientos con NaOH al 1% su resistencia mecánica en tracción es superior frente a las fibras no tratadas, mientras que en con concentraciones de 4, 6, 8 y 10% presentan resistencia en tracción ligeramente inferior, debido a que la alta concentración de NaOH genera deslignificación excesiva.

Además de que según Gomez et al. (2020), Cuando la fibra presenta altos niveles de celulosa y un ángulo microfibrilar reducido, su resistencia se incrementa significativamente. Por el contrario, cuando el ángulo microfibrilar es elevado y la cantidad de celulosa es baja, la fibra exhibe una mayor ductilidad. Lo cual concuerda con la literatura dado que el coco es el que presenta mayor AMF (30 – 49 grados) respecto a las otras fibras y el contenido de celulosa.

Mientras que las fibras de banano y bagazo presentan un AMF de 10 a 12 y 14 a 15 grados respectivamente, y el contenido de celulosa es de 56 a 60% para el banano y 34,5 % la fibra de bagazo, lo cual les confiere sus buenas propiedades mecánicas.

Del mismo modo Gomez et al. (2020), señala que las fibras con un mayor diámetro tienen mayor incidencia en microdefectos y grietas, por lo cual la fibra de coco tiene un comportamiento mecánico inferior.

Según señala Arreola et al. (2022) Entre mayor sea el contenido de celulosa en la estructura del material lignocelulósico, mayor contenido será posible de extraer, por ello el material del cual se puede extraer mayor cantidad es a partir del banano, no obstante, el rendimiento en la extracción de celulosa depende de otros factores como la concentración del álcali, puesto que una concentración al 30% demuestra mayor rendimiento en la extracción a partir del raquis del banano

Por otra parte, señala Ardila-Arias et al. (2022) señala que el porcentaje de agua en el pseudotallo de alrededor del 92%, con lo cual solo queda un 8% para la extracción de nanocelulosa posterior al secado del sustrato, con lo cual la alternativa más viable que se presenta sería el bagazo de caña.

Dentro de las aplicaciones de las fibras estas indican un posible uso de ambientes húmedos como cabos o tapetes, no obstante, Revelo et al. (2019), señala que las fibras lignocelulósicas ganan varias veces su peso seco en ese tipo de ambiente.

### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1. Conclusiones

El estudio sobre el rendimiento de fibras vegetales para uso textil muestra diferencias sustanciales en la eficiencia de extracción, la fibra de bagazo destaca por su alta eficiencia de extracción, alcanzando un rendimiento del 50,10 %, lo que la convierte en la opción más eficiente y sostenible. A su vez esta fibra presenta un mayor módulo de elasticidad de (16,4 GPa), en comparación con otras fibras lo que indica una mayor resistencia.

Mientras que la fibra de pseudotallo destaca por tener la mayor resistencia mecánica, con un valor de  $232,40 \pm 88,86$  MPa, no obstante, se considera que la que presenta mayor versatilidad es la del bagazo, sobre todo por que presenta el mejor balance en cuanto resistencia, rigidez y rendimiento de obtención de fibra.

Por otra parte, para la obtención de celulosa y posterior fabricación de hilo rayón el material menos apto es el coco por ser el que presenta una estructura fibrosa característica, mientras que el banano se presenta como la mejor alternativa seguida del bagazo.

En cuanto la aplicación de las fibras destaca sobre todo para la confección de accesorios y sogas, destacando a la fibra de coco para aplicaciones a la intemperie por su resistencia a la degradación por microorganismos.

### 3.2. Recomendaciones

Se realiza las siguientes recomendaciones en concordancia a las conclusiones planteadas anteriormente:

- Realizar mayor testeo en la obtención de celulosa a partir de estos materiales vegetales con diferentes concentraciones del álcali para determinar la cantidad idónea en cada tipo residuo vegetal y cada una de sus partes.
- Procurar realizar mayor cantidad de estudios para la obtención de celulosa a partir de diferentes partes de los residuos vegetales, tales como como el raquis del banano u otras partes que reporte la literatura mayor concentración de celulosa.
- Para ambientes externos emplear fibras de coco dado que presenta mayor resistencia a la intemperie.

## 4. REFERENCIAS Y ANEXOS

### 4.1. Referencias bibliográficas

- Aguiar, S., Enríquez Estrella, M., & Uvidia Cabadiana, H. (2022). Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento. *AXIOMA*, 1(27). <https://doi.org/10.26621/ra.v1i27.803>
- Angulo Ruela, A. B., & Rendon León, E. A. (2023). Extracción de nanocristales de celulosa a partir de bagazo de caña y fibras de coco para el refuerzo de geopolímeros basados en zeolita natural ecuatoriana. *ESPOL. FCNM*.
- Ardila-Arias, A. N., Johana-Restrepo, H., Valencia-Duarte, J. S., Arriola-Villaseñor, E., Bedoya-Betancur, S., & Valencia-González, J. D. (2022). Evaluation of the extraction of cellulose fibers from banana pseudostems with potential use in the paper industry. *Renewable Energy, Biomass & Sustainability*, 3(1). <https://doi.org/10.56845/rebs.v3i1.33>
- Arreola, M. M. S., González, E. J. G., Barbosa, L. E. R., & Rodríguez, G. O. (2022). Extracción y caracterización de celulosa a partir de la planta del plátano. *Brazilian Journal of Development*, 8(12). <https://doi.org/10.34117/bjdv8n12-130>
- ASTM D3822/D3822M-14(2020), Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020.
- Banco Mundial. (2021). *Agricultura y alimentos*. Banco Mundial.
- Buelvas, Y., & Díaz, L. (2023). Caracterización de fibras del mesocarpio del coco como potencial refuerzo para la elaboración de materiales compuestos.

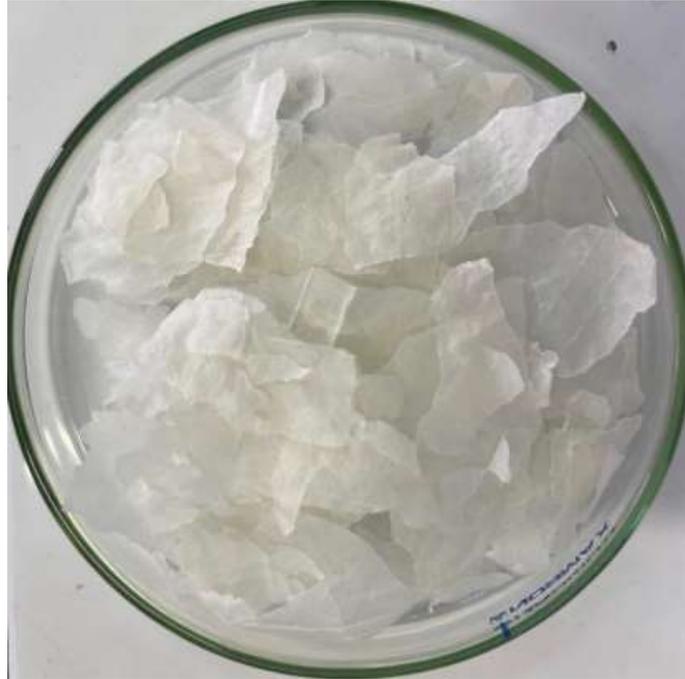
- Cárdenas, C. V., Burelo, P. de la C., López, G. I. B., & Carmona, M. Á. V. (2022). Obtención de rayón a partir de residuos lignocelulósicos no maderables. *Journal of Agricultural Sciences Research (2764-0973)*, 2(8). <https://doi.org/10.22533/at.ed.973282222075>
- Castañeda-Niño, J. P., Mina Hernandez, J. H., & Solanilla Duque, J. F. (2024). Potential of Plantain Pseudostems (Musa AAB Simmonds) for Developing Biobased Composite Materials. *Polymers*, 16(10), 1357. <https://doi.org/10.3390/polym16101357>
- Castañeda-Niño, J. P., Mina Hernandez, J. H., & Solanilla Duque, J. F. (2024). Potential of Plantain Pseudostems (Musa AAB Simmonds) for Developing Biobased Composite Materials. *Polymers*, 16(10), 1357. <https://doi.org/10.3390/polym16101357>
- Cifuentes, W., & Cifuentes, E. (2019). Propuesta de aprovechamiento de la fibra de plátano en la región del Ariari departamento del Meta (Master's thesis, Escuela de Ingenierías).
- Cunalata, E., & Jiménez, C. (2019). Caracterización de un material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de yute precargada mediante moldeo por compresión.
- Cunalata, E., & Jiménez, C. (2019). Caracterización de un material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de yute precargada mediante moldeo por compresión (Bachelor's thesis, Quito, 2019.).
- EPA. (2023). *Descripción general de los gases de efecto invernadero*. La energía y el medioambiente.
- Gomez, T. S., Zuluaga Palacio, S., Salazar Marín, M. C., Peñuela, A. F., & Fernández Morales, P. (2020). Comportamiento mecánico de fibras y no tejidos de coco. Comparación entre parámetros de punzonado y adhesión química. *Avances Investigación en Ingeniería*, 17(1). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5255>

- González Alarcón, Y. (2019). Determinación de las propiedades mecánicas de las fibras de pseudotallo de plátano Cavendish. En *Universidad César Vallejo*.
- Huiman Cruz, A. (2022). Los residuos peligrosos generados en la industria textil peruana para el caso de la Alta costura, fibra de alpaca y curtiembre. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 25(49). <https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i49.21097>
- INEC. (2022). Documento Metodológico Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales Gestión de Residuos Sólidos 2022. *Ecuador en cifras*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2009). NTE INEN 1782: Textiles. Fibras. Clasificación. <https://archive.org/details/ec.nte.1782.2009/mode/1up>
- Jácome Pilco, C. R., Carrillo Davila, J. D., Taco Amangandi, N. M., & Pasto Tandapilco, M. V. (2023). Obtención de fibras textiles a partir de residuos orgánicos. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(1). <https://doi.org/10.56712/latam.v4i1.355>
- Larios, R. P. (2019). El reto de la sostenibilidad en la industria textil y moda. *Mundo Textil*, 159.
- Muñante, R. E. M. (2020). Microplastics: El enorme problema de las pequeñas partículas de plástico. *Revista de Química PUCP*, 34.
- Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T., & Gwilt, A. (2020). The environmental price of fast fashion. En *Nature Reviews Earth and Environment* (Vol. 1, Número 4). <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0039-9>

- Ortiz Alvarez, M. D., Barajas Ferreira, C., García Martínez, J. B., Barajas Solano, A. F., & Machuca Martínez, F. (2023). Análisis bibliométrico de cultivos de microalgas en lixiviados de relleno sanitario. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 25(2). <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i2.12444>
- Pinos, A., & Braulio, J. (2019). Modificación de la celulosa obtenida de la fibra de banano para el uso de polímeros biodegradables A. *Afinidad*, 76(585).
- Revelo, J. D., Osorio, O., Checa, O., & Vaquiro, H. A. (2019). Evaluación de la Pérdida de Calidad Mecánica de Tres Fibras Naturales como Alternativa de Tutorado en el Cultivo de Arveja (*Pisum sativum* L.). *Información tecnológica*, 30(5). <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000500101>
- Rojas, A. F., Rodríguez-Barona, S., & Montoya, J. (2019). Evaluación de Alternativas de Aprovechamiento Energético y Bioactivo de la Cáscara de Plátano. *Información tecnológica*, 30(5). <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000500011>
- Sánchez, E., Oviedo, N., Banda, L., Guerra, K., Burbano, Á., & Godoy, D. (2021a). Transformación de residuos textiles en fibras, mediante la construcción de una máquina desfibadora de tejidos textiles. *Ecuadorian Science Journal*, 5(3). <https://doi.org/10.46480/esj.5.3.145>
- Sánchez, E., Oviedo, N., Banda, L., Guerra, K., Burbano, Á., & Godoy, D. (2021b). Transformation of textile waste into fibers, through the construction of a shredding machine textile fabrics. *Ecuadorian Science Journal*, 5(3).
- Vaca-Cardenas, M., González, M., & Vaca, P. (2021). Caracterización de las propiedades físicas del residuo de fibra de coco con vista a su aprovechamiento agroindustrial. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 1(1).

- Valdivieso Bonilla, A. P., Siluk, J. C. M., & Michelin, C. de F. (2022). Análisis prospectivo estratégico del sector textil productivo ecuatoriano para incrementar la competitividad en las exportaciones. *Revista Sigma*, 09(02).
- Vallejo, A. (2024). Obtención de fibras textiles, a partir del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) generado en la industria panelera del cantón Echeandia (Bachelor's thesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo).
- Vargas Isaza, C. A., Urrego Yepes, W., Arbeláez Vergara, M. Y., & Sánchez Manosalba, C. J. (2019). Comportamiento fisicoquímico de compuestos de caucho natural al adicionar residuos agroindustriales como cargas reforzantes. *Revista EIA*, 16(32).  
<https://doi.org/10.24050/reia.v16i32.1214>
- Vázquez, G. (2019). Los microplásticos textiles (o la increíble historia de cómo tu suéter termina en el salero). *Novedades Científicas*.
- Velasco, L., Estrada, M., & Reza, C. (2020). Obtención de celulosa a base de plantas que crecen alrededor de las aguas de canal. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*, 6(6).
- Zhapán, M., & Mosquera, J. (2019). Obtención de fibras textiles a partir de residuos agrícolas. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9).

## 4.2. Anexos



**Anexo 1:** Celulosa extraída a partir de material lignocelulístico

**Fuente:** Guerrero, P. (2021).



**Anexo 2:** Hilo de fibra de banano

**Fuente:** Zhapán & Mosquera (2019).



**Anexo 3:** Hilo de fibra de coco

**Fuente:** Zhapán & Mosquera (2019).



**Anexo 4:** Hilo de fibra de bagazo

**Fuente:** Zhapán & Mosquera (2019).