

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TEXTIL Y DE**  
**CONFECCIONES**



**“CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA EXTRAÍDA DEL PSEUDOTALLO DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*): EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE EXTRACCIÓN A TRAVÉS DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS, SAN PEDRO DE PUTINA PUNCO, SANDIA - 2024”**

**Bach. Rony Brayan Coaquira Pacheco**

**Bach. Yessica Yaneth Sucaticona Chambi**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO TEXTIL Y DE CONFECCIONES**

**Asesor: Dr. Fredy Bernardo Coyla Apaza**



**JULIACA, 2025**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TEXTIL Y DE**

**CONFECCIONES**



**“CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA EXTRAÍDA DEL PSEUDOTALLO DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*): EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE EXTRACCIÓN A TRAVÉS DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS, SAN PEDRO DE PUTINA PUNCO, SANDIA - 2024”**

**Bach. Rony Brayan Coaquira Pacheco**

**Bach. Yessica Yaneth Sucaticona Chambi**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO TEXTIL Y DE CONFECCIONES**

**Asesor: Dr. Fredy Bernardo Coyla Apaza**



**Juliaca, 2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS**  
**INDUSTRIALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TEXTIL Y DE**  
**CONFECCIONES**



**“CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA EXTRAÍDA DEL PSEUDOTALLO  
DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*): EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE  
EXTRACCIÓN A TRAVÉS DE PROPIEDADES FÍSICAS Y  
MECÁNICAS, SAN PEDRO DE PUTINA PUNCO,  
SANDIA – 2024”**

Bach. Rony Brayan Coaquira Pacheco

Bach. Yessica Yaneth Sucaticona Chambi

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
**INGENIERO TEXTIL Y DE CONFECCIONES**

Asesor: Dr. Fredy Bernardo Coyla Apaza

Juliaca, 2025

## FICHA CATALOGRÁFICA

Coaquira, R. & Sucaticona, Y. (2025). *Caracterización de la fibra extraída del pseudotallo de plátano (Musa paradisiaca): evaluación de métodos de extracción a través de propiedades físicas y mecánicas, San Pedro de Putina Punco, Sandía-2024 (Tesis de Pregrado)*. Universidad Nacional de Juliaca.

**AUTOR:** Rony Brayan Coaquira Pacheco y Yessica Yaneth Sucaticona Chambi

**TÍTULO:** Caracterización de la fibra extraída del pseudotallo de plátano (*Musa paradisiaca*): evaluación de métodos de extracción a través de propiedades físicas y mecánicas, San Pedro de Putina Punco, Sandía – 2024.

**PUBLICACIÓN:** Juliaca, 2025.

**DESCRIPCIÓN:** Cantidad de páginas (104)

**NOTA:** Tesis de la Escuela profesional de Ingeniería Textil y de Confecciones – Universidad Nacional de Juliaca.

**CÓDIGO:** 04-000029-04/C72

**NOTA:** Incluye Bibliografía.

**ASESOR:** Dr. Fredy Bernardo Coyla Apaza

**PALABRAS CLAVE:** Extracción, método, fibra, pseudotallo de plátano, residuos agrícolas.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TEXTIL Y**  
**DE CONFECIONES**

**“CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA EXTRAÍDA DEL PSEUDOTALLO  
DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*): EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE  
EXTRACCIÓN A TRAVÉS DE PROPIEDADES FÍSICAS Y  
MECÁNICAS, SAN PEDRO DE PUTINA PUNCO,  
SANDIA – 2024”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO TEXTIL Y DE CONFECIONES**

Presentado por:

**Bach. Rony Brayan Coaquira Pacheco**  
**Bach. Yessica Yaneth Sucaticona Chambi**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

D.Sc. Dominga Micaela Cano Ccoa

**PRESIDENTE DE JURADO**



M.Sc. Luz Delia Quina Quina

**JURADO (secretario)**



**2º MIEMBRO**

M.Sc. Jesus Arias Escobar

**JURADO (vocal)**



**3º MIEMBRO**



Dr. Fredy Bernardo Coyla Apaza  
**ASESOR DE TESIS**

# Rony Brayan Coaquira Pacheco Yessica Yaneth Su...

## “CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA EXTRAÍDA DEL PSEUDOTALLO DE PLÁTANO EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE ...

 Universidad Nacional de Juliaca



### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:541263868

Fecha de entrega

16 dic 2025, 12:32 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

16 dic 2025, 12:35 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS\_Rony Brayan Coaquira Pacheco.pdf

Tamaño del archivo

3.7 MB

104 páginas  
26.781 palabras  
140.701 caracteres




## 10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

### Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
Facultad de Ingeniería de Procesos Industriales  
Unidad de Investigación

## **DEDICATORIA**

*Aunque ya no esté físicamente a mi lado, este trabajo lo dedico a mi querido hermano Victor Hugo, cuya eterna luz sigue y seguirá resplandeciendo en lo más profundo de mi corazón, por haber sido mi mayor motivación y fortaleza para no rendirme en esta travesía de la vida. A mis padres, por su amor incondicional y apoyo inquebrantable, que me brindaron durante mi formación profesional. A todos aquellos que fueron parte de mi formación académica y que, de alguna manera, contribuyeron a mi crecimiento, por confiar en mí y por sus palabras de aliento que me animaron a seguir adelante y no rendirme durante este camino, así como a quienes fueron parte del desarrollo de este trabajo de investigación.*

***Yessica Yaneth Sucaticona Chambi***

*Dedico esta tesis a Dios, por darme fortaleza y por guiarme en cada paso de este camino académico. También dedico este trabajo a mis padres Eudel y Nancy, quienes, con su amor incondicional, apoyo inquebrantable e innumerables sacrificios, han sido mi mayor inspiración y mi razón de ser. A mi querido hermano, por su constante aliento y cariño; gracias por ser mi cómplice y mi compañero en esta travesía. Que este logro sea un reflejo de la bendición y el amor que he recibido de todos ustedes.*

***Rony Brayan Coaquira Pacheco***

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, por brindarnos salud, vida y darnos fortaleza para seguir adelante. A nuestros padres, por brindarnos día a día su apoyo incondicional y ser nuestro pilar fundamental en nuestra formación.*

*A la Universidad Nacional de Juliaca, por abrirnos las puertas del conocimiento y proporcionarnos la oportunidad de formarnos profesionalmente.*

*Al Dr. Fredy Bernardo Coyla Apaza por su guía e incansable apoyo durante la formulación y ejecución de este proyecto de tesis.*

*A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Textil y de Confecciones, por compartir sus enseñanzas y ser nuestros guías en este proceso de aprendizaje, por haber sido parte de nuestra formación profesional y personal.*

*Nuestro más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que hicieron posible el desarrollo de este trabajo de investigación y su culminación.*

***Rony Brayan Coaquira Pacheco  
Yessica Yaneth Sucaticona Chambi***

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	5
1.2.1. Problema general.....	5
1.2.2. Problemas específicos.....	5
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivos específicos.....	6
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.4.1. Justificación social.....	6
1.4.2. Justificación ambiental.....	6
1.4.3. Justificación económica.....	7
1.4.4. Justificación técnica.....	7

### CAPÍTULO II

#### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	8
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	11

2.1.3. Antecedentes locales.....	13
2.2. MARCO TEÓRICO .....	13
2.2.1. Industria textil .....	13
2.2.2. Fibra textil.....	14
2.2.3. Tipos de fibra textil.....	14
2.2.4 Propiedades de la fibra.....	15
2.2.5. Principales fibras de origen agrícola.....	17
2.2.6. Residuos agrícolas .....	17
2.2.7. El plátano .....	18
2.2.8. Botánica de la planta.....	19
2.6.9. Fases de la planta .....	20
2.2.10. Producción de plátano en el Perú.....	21
2.2.11. Zona de cultivo del plátano.....	22
2.2.12. Variedades de plantas de plátano .....	22
2.2.14. Pseudotallo de plátano .....	22
2.2.15. Fibra de plátano .....	22
2.2.16. Morfología de la fibra de plátano .....	23
2.2.17. Composición química .....	24
2.2.18. Métodos de extracción .....	24
2.2.19. Método de extracción mecánica .....	25
2.2.20. Desfibrado o extracción manual .....	26
2.2.21. Método químico.....	28
2.2.22. Métodos biológicos.....	28

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO .....	30
3.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	31

3.2.1. Tipo de investigación.....	31
3.2.2. Nivel de investigación .....	31
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	31
3.4. MATERIALES Y REACTIVOS.....	32
3.4.1. Insumos y reactivos .....	32
3.4.2. Equipos .....	32
3.4.3. Material de laboratorio.....	32
3.4.4. Herramientas .....	32
3.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
3.5.1. Hipótesis general.....	32
3.5.2. Hipótesis específicas.....	32
3.6. METODOLOGÍA.....	33
3.6.1. Elaboración de una desfibadora mecánica para la extracción de fibra del pseudotallo de plátano. ....	33
3.6.2. Evaluación de las propiedades físicas de la fibra .....	37
3.6.3. Evaluación de la propiedad mecánica de la fibra .....	38
3.7. PRUEBA ESTADÍSTICA.....	39

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DESFIBRADORA MECÁNICA PARA LA EXTRACCIÓN DE FIBRA DEL PSEUDOTALLO DE PLÁTANO.....	41
4.2. EVALUAR EL EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA FIBRA DEL PSEUDOTALLO DE PLÁTANO.....	43
4.2.1. Evaluación de finura de la fibra extraída del pseudotallo de plátano. ....	43
4.2.1. Evaluación de la densidad lineal de la fibra extraída del pseudotallo de plátano.....	50

4.3.	EVALUAR EL EFECTO DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FIBRA DEL PSEUDOTALLO DE PLÁTANO.....	54
------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	CONCLUSIONES .....	59
5.2.	RECOMENDACIONES.....	60
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61
	ANEXOS.....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Comparación del diámetro y la fuerza máxima de tracción.....	16
<b>Tabla 2:</b> Propiedades físicas de fibras celulósicas.....	16
<b>Tabla 3:</b> Propiedades mecánicas de las fibras celulósicas.....	17
<b>Tabla 4:</b> Clasificación botánica de la Musa paradisiaca.....	20
<b>Tabla 5:</b> Composición química de la fibra de plátano.....	24
<b>Tabla 6:</b> Condiciones para la actividad enzimática – enzima pectinasa ( <i>Aspergillus niger</i> ) .....	29
<b>Tabla 7:</b> Diseño completamente al azar para un factor .....	39
<b>Tabla 8:</b> Resultados de la eficiencia de extracción.....	42
<b>Tabla 9:</b> Resultados de la medición de la finura .....	44
<b>Tabla 10:</b> Resultados del análisis descriptivo de la evaluación de la finura .....	44
<b>Tabla 11:</b> Resultados del estadístico ANOVA .....	48
<b>Tabla 12:</b> Resumen de la comparación múltiple de la prueba Tukey.....	49
<b>Tabla 13:</b> Resultados del análisis descriptivo de la evaluación de la densidad de la fibra .....	50
<b>Tabla 14:</b> Resultados del ANOVA de la densidad lineal .....	52
<b>Tabla 15:</b> Resumen de la comparación múltiple de la prueba Tukey.....	53
<b>Tabla 16:</b> Resumen del análisis descriptivo de la resistencia a la tracción .....	54
<b>Tabla 17:</b> Resultados del ANOVA para la resistencia a la tracción.....	57
<b>Tabla 18:</b> Resumen de la comparación múltiple de la prueba Tukey.....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Partes de una planta de plátano .....	19
<b>Figura 2.</b> Desarrollo de híbridos de banano comestibles.....	20
<b>Figura 3.</b> Apariencia longitudinal de la fibra de plátano .....	23
<b>Figura 4.</b> Apariencia de sección transversal de la fibra de plátano .....	24
<b>Figura 5.</b> Clasificación de métodos de extracción.....	25
<b>Figura 6.</b> Extracción mecánica de la fibra de plátano .....	26
<b>Figura 7.</b> Extracción manual de la fibra .....	27
<b>Figura 8.</b> Mapa de ubicación y punto de muestreo, San Pedro de Putina Punco .....	30
<b>Figura 9.</b> Desfibradora mecánica.....	33
<b>Figura 10.</b> Flujograma de la extracción de la fibra.....	35
<b>Figura 11.</b> Diagrama de cajas de la finura vs método .....	45
<b>Figura 12.</b> Diagrama de cajas de la evaluación de la densidad lineal .....	51
<b>Figura 13.</b> Diagrama de cajas de la evaluación de la resistencia a la tracción .....	54

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Ficha de observación de la recolección de pseudotallos .....	73
ANEXO 2. Ficha de recolección de datos para el rendimiento de extracción .....	74
ANEXO 3. Resumen de resultados obtenidos de las evaluaciones .....	75
ANEXO 4. Gráfico de medias de la finura por método de extracción .....	75
ANEXO 5. Gráfico de medias de la densidad lineal de la fibra .....	76
ANEXO 6. Gráfico de medias de la resistencia a la tracción .....	76
ANEXO 7. Estructura de soporte de la maquina desfibradora .....	77
ANEXO 8. Diseño del rodillo extractor y soporte de rodillos .....	77
ANEXO 9. Diseño de tambor, disco de tambor y cuchillas .....	78
ANEXO 10. Diseño de la estructura de guarda de protección para el tambor .....	78
ANEXO 11. Diseño de peine para limpiar impurezas .....	79
ANEXO 12. Panel fotográfico .....	79
ANEXO 13. Resultados del análisis de la resistencia a la tracción .....	88
ANEXO 14. Ficha técnica de sulfito de sodio .....	91
ANEXO 15. Ficha técnica de humectante textil .....	92

## RESUMEN

El plátano es una de las frutas más consumidas y cultivadas durante todo el año, pero genera una gran cantidad de residuos agrícolas que carecen de un manejo adecuado. El objetivo del estudio fue evaluar la influencia de los métodos de extracción en las propiedades físicas y mecánicas de la fibra extraída del pseudotallo de plátano (*Musa paradisiaca*). La metodología empleada fue un diseño experimental completamente al azar, de tipo experimental. El muestreo aplicado fue no probabilístico, por conveniencia, y se trabajó con 16 unidades muestrales. Para ello, se elaboró una desfibradora mecánica a fin de extraer la fibra del pseudotallo de plátano; las fibras extraídas fueron sometidas a los métodos físico, biológico, químico y mixto. Los resultados muestran que la eficiencia de extracción de fibra a partir del pseudotallo fue 1.8%. La finura obtenida fue de 98.10  $\mu\text{m}$ , 102.27  $\mu\text{m}$ , 103.85  $\mu\text{m}$  y 118.92  $\mu\text{m}$  en el método mixto, químico, biológico y físico, relativamente. Asimismo, la densidad lineal de la fibra presentó 16.87 tex, 11.03 tex, 12.13 tex y 13.81 tex en los métodos físico, biológico, químico y mixto, respectivamente. Además, la resistencia a la tracción de los métodos biológico, químico, físico y mixto resultó 129.82 MPa, 112.93 MPa, 87.91 MPa, 88.74 MPa. En conclusión, el método de extracción mixto produce una fibra con menor diámetro, presentando un diámetro de 98.108 ( $\mu\text{m}$ ) y el método de extracción biológico presenta una mayor resistencia a la tracción; sin embargo, si se busca equilibrar las propiedades físicas y mecánicas de la fibra, el método de extracción químico resulta ser el más efectivo con relación a los demás métodos de extracción.

**Palabras clave:** Extracción, método, fibra, pseudotallo de plátano, residuos agrícolas.

## ABSTRACT

Bananas are one of the most widely consumed and cultivated fruits throughout the year, but they generate a large amount of agricultural waste that is not properly managed. The objective of the study was to evaluate the influence of extraction methods on the physical and mechanical properties of fiber extracted from banana pseudostems (*Musa paradisiaca*). The methodology used was a completely randomized experimental design. The sampling applied was non-probabilistic, for convenience, and 16 sample units were used. For this purpose, a mechanical defibrator was developed to extract the fiber from the banana pseudostem; the extracted fibers were subjected to physical, biological, chemical, and mixed methods. The results show that the fiber extraction efficiency from the pseudostem was 1.8%. The fineness obtained was 98.10  $\mu\text{m}$ , 102.27  $\mu\text{m}$ , 103.85  $\mu\text{m}$ , and 118.92  $\mu\text{m}$  in the mixed, chemical, biological, and physical methods, respectively. Likewise, the linear density of the fiber was 16.87 tex, 11.03 tex, 12.13 tex, and 13.81 tex in the physical, biological, chemical, and mixed methods, respectively. In addition, the tensile strength of the biological, chemical, physical, and mixed methods was 129.82 MPa, 112.93 MPa, 87.91 MPa, and 88.74 MPa, respectively. In conclusion, the mixed extraction method produces a fiber with a smaller diameter, measuring 98.108 ( $\mu\text{m}$ ), and the biological extraction method produces a fiber with greater tensile strength. However, if the goal is to balance the physical and mechanical properties of the fiber, the chemical extraction method is the most effective compared to the other extraction methods.

**Keywords:** Extraction, method, fiber, banana pseudostem, agricultural waste.

## INTRODUCCIÓN

La industria textil tiene un impacto ambiental negativo (Rosero, 2023) y utiliza recursos de manera poco ética (Carrillo, 2018). El uso de sustancias químicas en la industria textil representa un riesgo para los consumidores y ecosistemas (Villegas & Gonzáles, 2013). En este contexto, se busca nuevas alternativas en la implementación de fibras ecológicas que permitan obtener mayor sostenibilidad e innovación (Hendriksz, 2017; Zhapán & Mosquera, 2019), y las fibras naturales de origen vegetal son una alternativa con una gran variedad de aplicaciones textiles (Ruangnarong et al., 2024).

La fibra de plátano es un material ecoamigable (Rahamaththulla et al., 2018) y considerada como una materia prima sostenible (Badanayak et al., 2023). Esta fibra se extrae manual o mecánicamente del pseudotallo de la planta. Durante la extracción, se eliminan las impurezas adheridas a la fibra (Rukundo et al., 2024). La extracción de la fibra debe realizarse sin dañar ni afectar las propiedades físicas y mecánicas de la fibra para sus aplicaciones textiles a futuro (Carneiro et al., 2024; Maila et al., 2025).

Las propiedades físicas y mecánicas de la fibra varían según el método de extracción y tratamiento aplicado (Chengoué et al., 2020). En este sentido, la investigación evalúa los diferentes métodos de extracción a los que son sometidas las fibras, con el fin de optimizar las propiedades físicas y mecánicas de la fibra extraída del pseudotallo de plátano (Sharma & Wadhwa, 2023).

La evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de la fibra del plátano ayudará a determinar el potencial de las fibras de plátano como materia prima y una alternativa para la industria textil (Ruangnarong et al., 2024; Souza et al., 2020). Además, es fundamental evaluar cómo el método de extracción afecta e influye en la calidad de la fibra (Carneiro et al., 2024; Sharma & Wadhwa, 2023).

A través de este estudio se espera contribuir al desarrollo de alternativas más sostenibles en la industria textil, promover la reutilización de residuos agrícolas entre los agricultores y minimizar el impacto ambiental asociado a la obtención de fibras sintéticas y contrarrestar a la moda fast fashion en la región y el país. Asimismo, fomentar la investigación en fibras textiles ecoamigables.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

La industria textil es considerada como la segunda industria más contaminante en el mundo, después de la industria petrolera (ONU, 2019). El desarrollo de esta industria genera una gran cantidad de residuos para satisfacer la demanda, lo que ha llevado a la implementación de nuevas técnicas y tecnologías para su producción (Haro et al., 2017). A menudo, las empresas optan por la producción y elaboración de artículos sintéticos al ser más económicos y accesibles. Sin embargo, el uso imprudente de estos materiales causa un impacto negativo al ambiente (España, 2020). En este contexto, se busca adoptar prácticas más sostenibles y las fibras de origen vegetal son una alternativa (Rani et al., 2019).

En Perú, se desechan más de 47,500 toneladas de residuos textiles cada año, siendo Lima el responsable del 60%. Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), estos residuos provienen principalmente de talleres de confección y ropa en desuso (Pachas, 2022). Al presente, las prendas a base de fibras ecológicas son tendencia en el mercado y los consumidores se preocupan por la moda, salud y medio ambiente (Fonseca et al., 2022; Rani et al., 2019).

Las exportaciones de plátano en el Perú en el año 2022 alcanzaron alrededor de 159,000 toneladas (AgroPerú, 2023b); asimismo, se cultivaron cerca de 160.8 mil hectáreas de cultivo de plátano a nivel nacional y la producción comercial alcanzó las 2'372,025 toneladas (CITE Agroindustrial, 2023). Sin embargo, los procesos agrícolas generan diferentes residuos orgánicos durante la etapa de cultivo y cosecha (Cifuentes & Cifuentes, 2019; Haro et al., 2017), generando 19'938,202.5 toneladas de residuo aproximadamente (CITE Agroindustrial, 2023). El pseudotallo de plátano

es desaprovechado debido al desconocimiento del agricultor (Haro et al., 2017); este puede descomponerse y convertirse en un residuo peligroso, ocasionando un impacto ambiental negativo (Cifuentes & Cifuentes, 2019; Haro et al., 2017).

En la región Puno, provincia de Sandia, distrito de San Pedro de Putina Punco, el pseudotallo de plátano es considerado como un residuo agrícola, sin ninguna opción de reutilización, según la entrevista realizada al teniente gobernador (E. Sucaticona, comunicación personal, 21 de setiembre del 2023). Por ello, se propone aprovechar el pseudotallo de plátano como materia prima para la extracción de fibras textiles y la elaboración de diferentes productos, generando beneficios económicos que sean de interés comercial, social y ambientalmente sostenibles.

## **1.2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. Problema general**

¿Como influyen los métodos de extracción en las propiedades físicas y mecánicas de la fibra de extraída del pseudotallo de plátano?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Es posible elaborar una desfibradora mecánica para la extracción de fibra del pseudotallo de plátano?
- ¿Cómo afecta el método de extracción en las propiedades físicas de la fibra del pseudotallo de plátano?
- ¿Cómo afecta el método de extracción en las propiedades mecánicas de la fibra del pseudotallo de plátano?

## **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar la influencia de los métodos de extracción en las propiedades físicas y mecánicas de la fibra extraída del pseudotallo de plátano (*Musa paradisiaca*).

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Elaborar una desfibrador mecánica para la extracción de fibra del pseudotallo de plátano.
- Evaluar el efecto de los métodos de extracción en las propiedades físicas de la fibra del pseudotallo de plátano.
- Evaluar el efecto de los métodos de extracción en las propiedades mecánicas de la fibra del pseudotallo de plátano.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. Justificación social**

En la provincia de Sandía, los agricultores optan por cultivos de coca a diferencia de otros productos como cacao y café, provocando de manera alarmante la expansión del narcotráfico (Fernández, 2019). Por ende, los subproductos de plátano podrían ser una fuente de creación de productos innovadores y sostenibles (CITE Agroindustrial, 2023), como la fibra del pseudotallo de plátano, que podría ser una opción para la industria textil sostenible, lo que incentivaría su cultivo en el distrito de San Pedro de Putina Punco y en otras áreas como el valle de San Gabán, en la provincia de Carabaya; en consecuencia, podría contribuir a la calidad de vida de los agricultores (González, 2019), generando empleos e ingresos para las comunidades rurales facilitando su desarrollo.

### **1.4.2. Justificación ambiental**

La industria textil depende mucho de materiales sintéticos, lo que genera un gran impacto ambiental, de modo que se fortalece la búsqueda y aprovechamiento de las fibras naturales (Maila et al., 2025; Rani et al., 2019), las cuales tienen un gran potencial para sustituir productos sintéticos (España, 2020). Por ende, se plantea la idea de desarrollar fibras textiles a partir de los desechos generados en los cultivos de plátano, a fin de mitigar la contaminación que genera la industria textil (Collazos & Pinzón, 2022). La propuesta consiste en aprovechar el pseudotallo de plátano como materia prima para la elaboración de materia textil que sea ambientalmente sostenible (Fonseca et al., 2022; Subagyo & Chafidz, 2020). Al utilizar el residuo de plátano se promueve el uso de los residuos naturales, minimizando la contaminación de suelo, aire y agua.

### **1.4.3. Justificación económica**

Una de las fuentes de ingreso económico que tiene el agricultor es por la venta del fruto (Priyadarshana et al., 2022); posterior a ello, la planta se corta y deja en el campo, lo que resulta en pérdida de recursos valiosos que podrían ser aprovechados (Fonseca et al., 2022), como el pseudotallo, que puede ser utilizado para extraer fibra y darle un valor agregado, puesto que es posible la producción y elaboración de diversos productos textiles (Priyadarshana et al., 2022), creando una nueva oportunidad económica para los productores y generar nuevas oportunidades de negocio a través de la valorización de productos elaborados a partir del pseudotallo de plátano.

### **1.4.4. Justificación técnica**

La extracción de fibra a partir del pseudotallo de plátano representa una oportunidad prometedora, debido a la abundancia de este residuo agrícola y su potencial para producir fibras textiles, papel y otros productos (Balakrishnan et al., 2019; Restrepo et al., 2021). Asimismo, el uso de una desfibradora mecánica puede reemplazar el raspado manual, reduciendo la mano de obra; y al evaluar las propiedades físicas y mecánicas de la fibra se busca aprovechar este recurso renovable y sostenible. Además, la extracción de fibra del pseudotallo de plátano puede generar beneficios económicos y sociales para los productores de plátano. En la región no se cuenta con información actualizada del aprovechamiento de los residuos del plátano como materia prima para la transformación en fibras textiles. Por tal razón, la investigación será base para posteriores investigaciones y proyectos que puedan darse.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Termkla et al. (2025), en su estudio desarrollaron una máquina de extracción de fibra de plátano y los factores que afectan la calidad de la fibra para uso textil; al evaluar la eficiencia de la desfibadora mecánica para extraer la fibra de plátano, los resultados revelaron que la velocidad adecuada para la desfibadora mecánica está dentro del rango de 750 rpm e identificaron la capacidad, la eficiencia y la resistencia de la fibra resultando en 61.03 kg/h, 98.86% y 2.390.83 cN, respectivamente. Asimismo, afirmaron que el promedio de extracción mecánica de fibra es de 58.43 kg/h; en comparación a la extracción manual, que solo se puede extraer en un promedio de 2.87 kg/día.

Yue et al. (2024), estudiaron la optimización en la extracción de fibra del pseudotallo de plátano con una desfibadora mecánica e indican que la tecnología de extracción de fibra utilizada tiene un gran impacto en la eficacia y calidad de la fibra de plátano. Los resultados mostraron que los parámetros óptimos para la extracción son una velocidad de rotación del tambor de 1400 rpm y un espacio de ingreso de 2.5 mm para la vaina foliar del pseudotallo de plátano.

Ruangnarong et al. (2024), evaluaron las características de la fibra de plátano extraídas mecánicamente del pseudotallo de plátano en Tailandia; estudiaron a *Musa acuminata* y *Musa sapientum*, en donde las fibras fueron extraídas haciendo uso de una máquina desfibadora. Trabajaron con tres capas, las cuales fueron sometidas a tratamientos químicos, donde encontraron que las fibras de *Musa*

*sapientum* L. mostraron mayor resistencia a la tracción con 606.90 g/denier y elongación con un 9.54 %, mayor que en todas las capas de *Musa acuminata*, por lo que establecieron que *Musa sapientum* es una opción sustentable para el uso en la industria textil.

Carneiro et al. (2024), en su investigación evalúan las propiedades de fibras de plátano extraídas manualmente y mecánicamente con un equipo de la agroindustria del sisal. En sus resultados de finura, obtuvieron fibras con un diámetro de 0.101 mm y 0.170 mm, mientras que en sus resultados de resistencia a la tracción muestran una variación considerable de un rango de entre 54 y 789 MPa, con un promedio de  $458 \pm 257$  MPa y el módulo de elasticidad que obtuvieron fue de 3.49 GPa a 32 GPa, con una media de  $17.14 \pm 10.72$  GPa, e indican que la extracción mecánica tiende a dañar la fibra.

Libog et al. (2023), evaluaron la influencia del lugar de extracción en las propiedades físicas y mecánicas de las fibras del pseudotallo de plátano, evaluaron cómo el área de muestreo del pseudotallo de plátano influye en las propiedades físicas y mecánicas de las fibras, encontrando densidades lineales que oscilan entre 25 y 34 tex con una de resistencia a la tracción de 91 a 350 MPa; las propiedades físicas aumentan desde la parte externa hasta el núcleo y las propiedades mecánicas disminuyen en la misma dirección, afirmando que la resistencia de las fibras varía en función de la parte de donde se extraen.

Sharma & Wadhwa (2023), en su investigación caracterizaron las fibras de plátano, en las que aplicaron diversos métodos de extracción de fibra de plátano, aplicando la extracción mecánica, liberación de vapor y liberación de vapor combinada con tratamiento químico y enzimático utilizando pectinasas de *Estafilococo sciuri*. Los resultados de la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas mostraron que la fibra de plátano contaba con las siguientes características: densidad lineal de 161.81 denier, tenacidad de rotura de 38.50 g/tex, elongación de 4.03%, diámetro de fibra de 127.02  $\mu\text{m}$  y 191.68 mm de longitud de fibra.

Abril (2022), elabora hilo a base de la fibra de plátano de los residuos de los pseudotallos de plátano para la aplicación textil. Durante el proceso de extracción obtuvo 13.8 kg de fibra a partir de 1.64 toneladas de pseudotallo, lo que equivale

al 0.8% del total del pseudotallo, y al evaluar las propiedades físicas y mecánicas de la fibra, obtuvo como resultado que la densidad lineal es de 17.90 tex y una resistencia a la tracción de 0.396 N/tex con una elongación del 2% y menciona que el suavizado industrial es el más efectivo.

Delgado et al. (2022), evaluaron las propiedades físicas del pseudotallo de plátano de las especies *Musa paradisiaca*, *Musa sapientum* y *Musa acuminata*. En sus resultados indicaron que la especie *Musa sapientum* es la fibra con mayor longitud, alcanzaron 123.34 cm y una elongación de 7.93%, así como una mayor resistencia de 30.52 MPa y densidad lineal de 0.070 dtex, por encima de las especies de *M. paradisiaca* y *M. acuminata*; por su parte, la especie *Musa acuminata* presentó una mayor uniformidad en las fibras. Asimismo, los investigadores afirmaron que las tres especies evaluadas son similares al abacá, ramio y sisal en longitud y espesor, lo que las hace apropiadas para su uso en la industria textil, ya que poseen propiedades físicas y mecánicas convenientes.

Balakrishnan et al. (2021), en su estudio analizaron las propiedades físicas y químicas de las fibras de pseudotallo de plátano de dos variedades (Ambun y Puwalu) en Sri Lanka. La extracción de fibra la realizaron con una máquina decorticadora (desfibradora) y sus resultados muestran que las capas de la parte central del pseudotallo son las más finas y fuertes. La densidad lineal del plátano Ambun bordea los 25 tex, con un diámetro promedio de 80  $\mu\text{m}$  y su resistencia de fibra circunda de 273 a 270 gf; mientras que la densidad lineal del plátano Puwalu fue de 29 tex, con un diámetro de 98 a 100  $\mu\text{m}$  y la resistencia de la fibra fue de 270 a 271 gf, mostrando una leve diferencia entre ambas variedades.

Subagyo & Chafidz (2020), analizaron las características de la fibra del pseudotallo de plátano y mencionan las aplicaciones potenciales de la fibra. Las fibras del pseudotallo del plátano la extrajeron con una desfibradora mecánica y posteriormente sometieron las fibras a un tratamiento biológico y químico a fin de mejorar sus propiedades de la fibra, demostrando que la fibra tiene una finura de 2400 Nm y es una fibra fuerte que tiene una menor tensión de rotura.

Souza et al. (2020), analizaron las propiedades físicas, mecánicas y químicas de las fibras obtenidas del pseudotallo de plátano de tipo “Bluggoe”, perteneciente a la familia *Musa sapientum*. El pseudotallo fue cortado y remojado durante siete

días antes de que la fibra fuera extraída manualmente. Los resultados que obtuvieron revelaron que la fibra presenta un diámetro de  $0.293 \pm 0.091$  mm con una resistencia entre el rango de  $583.46 \pm 302.26$  MPa, de modo que los investigadores concluyen que puede ser una fuente alternativa ante las fibras sintéticas.

Chengoué et al. (2020), evaluaron la influencia de los métodos de extracción en las propiedades físicas y mecánicas de las fibras de plátano. Para ello, realizaron tres métodos de extracción de fibras: remojo en sosa cáustica fría, cocción en agua y enriamiento en agua. Como resultado, revelaron que las características de las fibras varían según el método de extracción. También indicaron que las propiedades físicas más altas se obtienen mediante extracción por cocción en agua, logrando una densidad máxima de  $1.02$  g/cm<sup>3</sup> y una tasa de absorción máxima del 15.17%. Asimismo, mencionaron que este método de extracción mostró mejores propiedades mecánicas, cuya resistencia a la tracción fue de 816.6 MPa y una elongación de 2.83%. Lo cual indica que las fibras del pseudotallo del plátano poseen propiedades similares a otras fibras naturales.

Balakrishnan et al. (2019), en su investigación que realizaron para mejorar la finura de la fibra de plátano para aplicaciones textiles, extrajeron la fibra mecánicamente y la sometieron a un tratamiento enzimático y químico. Los resultados mostraron que las fibras tratadas con enzimas y químicos combinados eran las más finas, alcanzando un diámetro reducido de  $168.4$   $\mu$ m a  $48.8$   $\mu$ m, lo que representa una reducción del 71% aproximadamente.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Velasque (2024), evaluó el efecto de la enzima pectinasa y la temperatura en la finura de la fibra textil derivada del pseudotallo del plátano; para la extracción de la fibra utilizó una desfibradora mecánica. Las concentraciones de enzima pectinasa con las que trabajó fueron de 5% y 10%, a una temperatura de 55°C y 65°C con un pH controlado de 3.5; el tiempo de tratamiento fue de dos horas, logrando como mejor resultado una finura de  $103.58$   $\mu$ m de diámetro en promedio, el cual fue tratado con 10% de enzima y a una temperatura de 65°C, presentando una mejora del 37.40% en la reducción de la finura.

Calderón et al. (2022), en su patente de invención, plantearon un procedimiento para la obtención de fibras textiles a partir del pseudotallo de plátano con el propósito de mejorar la finura de la fibra del plátano. Mediante hidrólisis enzimática, manipularon el % de concentración de la enzima pectinasa y la temperatura como activador energético, manteniendo un pH controlado durante el tratamiento. Como resultado, obtuvieron una mejora del 40% en la finura de la fibra, mostrando 95.83  $\mu\text{m}$  en el diámetro de la fibra tratada con 10% de enzima pectinasa y 65 °C de temperatura, logrando la flexibilidad y suavidad de la fibra.

González (2019), en su trabajo de investigación, tuvo como objetivo determinar las propiedades mecánicas de las fibras de pseudotallo de plátano Cavendish, en el que la extracción de la fibra la realizó de manera manual y los resultados que obtuvo en cuanto a la resistencia a la tracción máxima de 1238.25 MPa, el porcentaje de alargamiento de 1.33% y, en cuanto al módulo de rigidez en tracción obtuvo 3038.80 MPa.

Huallpa (2018), en su estudio comparó la calidad de los tejidos obtenidos a partir de los residuos de hojas de piña (*Ananas comosus*), comparando las variedades de Golden, Hawaiana y Samba de la región Junín. En el cual, analizó el contenido de celulosa y lignina en la fibra; además, evaluó la fuerza de tracción y elongación de la fibra, en donde obtuvo como resultado 6.041 MPa de fuerza de tracción y una elongación promedio de 312.4% en la variedad de Hawaiana. También determinó la finura de la fibra, logrando 95.833  $\mu\text{m}$  de diámetro, lo que indica que la finura de la variedad Samba es la fibra más fina con respecto a las demás variedades, y menciona que la variedad de piña Hawaiana es la más óptima para su extracción debido a que presenta una buena resistencia a la tracción.

Bocanegra et al. (2018), en su investigación realizaron la caracterización en la fibra extraída del pseudotallo de plátano, en donde determinaron la finura y composición química de la fibra de plátano, extrajeron la fibra manualmente a partir de 14 kg de pseudotallo, logrando obtener 102 g de fibra; al evaluar la finura de la fibra, obtuvieron como resultado 57.21  $\mu\text{m}$  de diámetro en la fibra sin haber sido sometida a ningún tratamiento.

Calampa (2000), evaluó las propiedades físicas y químicas de la hoja de plátano (*Musa x paradisiaca*), en donde los análisis químicos revelaron los siguientes

valores: 66.68% de celulosa, 7.56% de hemicelulosa, 9.58% de lignina, en extraíbles 14.32% y 2.39% de ceniza. Los resultados que obtuvo de los ensayos físicos fueron de 0.058 mm de diámetro, longitud 650 mm, resistencia a la tracción 690 MN/m<sup>2</sup>, módulo de elasticidad 57.024 MN/m<sup>2</sup>, contenido de humedad 6.19% y 2.48 mg/m<sup>3</sup> en la densidad de fibra.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

En la región Puno aún no existen estudios sobre extracción de fibras naturales de origen vegetal (plátano); esto se debe a que están más enfocados en la fibra de alpaca y dejan de lado los demás productos de origen vegetal que pueden ser aprovechables. Por ello, se realizó la presente investigación, donde se evaluó las propiedades físicas y mecánicas de la fibra extraída del pseudotallo de plátano para identificar el método de extracción adecuado.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Industria textil**

Textil es una industria que se dedica a la obtención de fibras, elaboración de hilos, tejidos y productos textiles; la cual abarca desde la obtención de materia prima hasta la fabricación de productos finales, como prendas, accesorios y textiles para el hogar (Pérez, 2021). Las actividades manufactureras de la industria textil, además de crear prosperidad económica, generan contaminación, afectando el bienestar de la población y los recursos naturales (Carrillo, 2018). Al día de hoy, lograr un desarrollo sostenible es crucial para la sociedad, empresas e instituciones. Sin embargo, el modelo de moda rápida causa consecuencias negativas en diferentes ámbitos por una producción rápida y flexible, lo que hace necesario buscar nuevos planteamientos de desarrollo sostenible (Sánchez et al., 2020).

La industria textil busca reducir el impacto ambiental a nivel global, y para ello tendrá que reexaminar en su totalidad la cadena de suministro y sus procesos de producción (Carrillo, 2018); con respecto a las materias primas empleadas, se tendría que optar por el uso de fibras ecológicas en su proceso de elaboración para minimizar el impacto ambiental y usar racionalmente los recursos naturales, disminuir el consumo de energía, reciclar agua, conservar la naturalidad de la

materia prima, evitar químicos y hacer uso de elementos biodegradables que no perjudiquen la salud (Villegas & Gonzáles, 2013).

### **2.2.2. Fibra textil**

Una fibra textil es un filamento con una sección transversal minúscula; tiene un aspecto generalmente cilíndrico (Carrera, 2017a; Lockuán, 2013). Para ser considerada como fibra, debe cumplir con algunas características sin importar su origen: flexibilidad, elasticidad, resistencia, finura, higroscopicidad, soportar altas temperaturas y debe ser autoextinguible al ser retirada del fuego (Lockuán, 2013); asimismo, las fibras deben ser resistentes a diversos agentes químicos para mantener sus propiedades (Carrera, 2017a). El conjunto de fibras se puede utilizar para la transformación de hilos y, por consiguiente, en tejidos (Betancourt et al., 2023).

### **2.2.3. Tipos de fibra textil**

Los tipos de fibras textiles se clasifican según su origen (Huamani et al., 2022):

#### **a. Fibras naturales**

Estas son proporcionadas por la naturaleza; pueden provenir de tres grupos según la naturaleza de su origen: como vegetales, animales y minerales (Karimah et al., 2021). Las fibras de origen vegetal tienen como base la celulosa; estas pueden proceder de la semilla, tallo y hoja de la planta. Las fibras de origen animal pueden obtenerse de lana (pelo de la oveja), pelos (de otros animales) y sedas (segregación de gusanos); la única fibra natural de origen mineral es el amianto o asbesto, que fue prohibido debido a las propiedades carcinógenas (Carrera, 2017b; Huamani et al., 2022).

#### **b. Fibras manufacturadas (fibras químicas)**

Son fibras elaboradas por la mano del hombre a través de procesos de transformación de los polímeros; se dividen en dos grupos: primeramente, tenemos a las fibras artificiales, que están fabricadas a partir de polímeros que proceden de la celulosa, proteínas y alginas que sufren una transformación por los agentes químicos (Carrera, 2017a), y por último, las fibras sintéticas, que son obtenidas de polímeros por una alteración química, con ayuda de la

tecnología; como materia prima emplean los derivados del petróleo, carbón y otros elementos (Huamani et al., 2022).

### c. Fibras vegetales

Las fibras naturales de origen vegetal están compuestas a base de celulosa; estas provienen de semillas, tallos, hojas y raíces de la planta (Carrera, 2017a), las cuales son extraídas de las plantas como el algodón, lino, cáñamo, yute, sisal, coco, entre otros (Villegas & Gonzáles, 2013); las hebras obtenidas de estas plantas pueden ser empleadas para la fabricación de productos textiles (Jácome et al., 2023). Las características físicas, mecánicas y químicas de las fibras vegetales fueron analizadas y evaluadas durante décadas para su aplicación en el sector textil (España, 2020).

## 2.2.4 Propiedades de la fibra

### a. Propiedades físicas

**Longitud:** Se refiere a la longitud de las fibras y principalmente a la forma en que se distribuye la variación de esta longitud, la cual es de gran importancia, pues influye en la transformación de hilos y tejidos, puesto que se puede fabricar hilos finos y gruesos en función de la longitud y grosor de la fibra (Carrera, 2017a; Lockuán, 2013).

**Diámetro:** Se refiere al grosor de las fibras. La finura de las fibras se expresa como diámetro aparente y se utiliza para describir la finura de las fibras naturales que son circulares o casi circulares (poliédricas, ovales o arriñonadas); el diámetro se mide en micras ( $\mu\text{m}$ ) (Carrera, 2017a; Lockuán, 2013).

**Densidad lineal:** La densidad lineal es un término indirecto para referirse a la finura de la fibra; por lo general, es aplicado cuando el diámetro no es uniforme a lo largo de la fibra (Chattopadhyay et al., 2023). La densidad lineal es la medida de la masa de la fibra por unidad de longitud o la longitud por unidad de masa. Las unidades más comunes son el denier (D), el decitex (dtex), el número de algodón (cc o Ne) y el número métrico (Nm). Muchas veces también se utiliza el término tex, definido como la masa en gramos por 1000 m de fibra o hilo. Según esta definición, 1670 dtex equivalen a 167 tex. Se puede dividir el dtex entre 10 para obtener el valor de tex (Li, 2020).

**Tabla 1:** Comparación del diámetro y la fuerza máxima de tracción

Fibra	Diámetro ( $\mu\text{m}$ )	Fuerza de rotura (N)	Referencia
Algodón	113.46	4.6	(Manrique & Rivera, 2012)
Plátano	168.4	0.02618	(Balakrishnan et al., 2019)
Coco	300	212.34	(Gomez et al., 2020)

*Nota.* La tabla muestra una comparación del diámetro y la fuerza de rotura de la fibra.

**Tabla 2:** Propiedades físicas de fibras celulósicas

Tipo de fibra	Finura ( $\mu\text{m}$ )	Densidad lineal (Tex)	Densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Referencia
Plátano	60.5	18	--	(Balakrishnan et al., 2019)
Piña	34.9 -168.3	1.39 - 7.07	-	(Chaves et al., 2024)
Yute	40 - 350	-	1.46	(Ahmad et al., 2015)
Sisal	227.2	-	2.51	(Bekele et al., 2022)
Enset	124.25	-	2.23	(Bekele et al., 2022)
Ortiga	21 -42	-	-	(Bacci et al., 2009)
lino	40-62	-	1.54	(Horrocks & Anand, 2000)
Coco	307- 118	36.6 - 111	-	(Gomez et al., 2020)

*Nota.* La tabla muestra una comparación de los valores de evaluación de la finura, la densidad lineal y la densidad de la fibra.

## b. Propiedades mecánicas

**Resistencia a la tracción:** La resistencia a la tracción evalúa las propiedades mecánicas de un material; son aplicados para controlar la calidad y garantizar que el producto cumpla con las especificaciones requeridas en cuanto a propiedades de tracción y para ello se realiza un ensayo de tracción que consiste en aplicar fuerza a una muestra para medir la resistencia de tracción (Instron, 2023).

Las fibras textiles deben tener una buena resistencia a la tracción para ser consideradas adecuadas en la industria textil y puede variar significativamente entre diferentes tipos de fibras. El término "tenacidad" es utilizado comúnmente

para referirse a la resistencia a la tracción de fibras individuales y se mide en centinewtons por tex (cN/tex) (Lockuán, 2013).

**Elongación:** El término elongación se refiere a la capacidad de estiramiento que posee el hilo o la fibra antes de romperse o alcanzar su punto de ruptura (Huamani et al., 2022).

**Resistencia a la torsión:** Se refiere a la capacidad de soportar la fuerza de torsión o rotación sin deformarse el material; la torsión se conoce una forma espiral que se le da a los hilos, con el objetivo de mantener unidas las fibras que lo conforman (Huamani et al., 2022).

**Tabla 3:** Propiedades mecánicas de las fibras celulósicas

Tipo de fibra	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	% de elongación	Referencia
Plátano	222.3	6.6	3.27	(Mejía et al., 2012)
Piña	37–993	2.4–21.8	1.0–3.9	(Chaves et al., 2024)
Yute	393-800	10 – 30	1.5 – 1.8	(Ahmad et al., 2015)
Caña brava	136,15 - 52,16	-	1.7	(Vargas et al., 2021)
Cáñamo	285	14,4	2.2	(Placet, 2009)
Sisal	511-635	9.4-22	2.2.5	(Ho et al., 2012)
Coco	120,85 - 67,24	1,83 - 0,91	-	(Gomez et al., 2020)
Ramio	400-938	61.4-128	3.6- 3.8	(Ho et al., 2012)

*Nota.* La tabla muestra una comparación de los valores de la evaluación de resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y porcentaje de elongación de las fibras.

### 2.2.5. Principales fibras de origen agrícola

Para generar una visión sostenible que beneficie al medio ambiente, se propone el uso de materiales alternativos (Mogollón & Jácome, 2020), como fibras de coco, piña, caña de azúcar, soya, cannabis, yute, bambú y plátano (Alvarado & Delgado, 2023; Huallpa, 2018; Jácome et al., 2023; Villegas & Gonzáles, 2013).

### 2.2.6. Residuos agrícolas

Los residuos agrícolas son desechos generados de cosechas y derivados de plantaciones agrícolas como plátano, piña, coco, entre otros que se dispersan en

el campo; estos residuos son abundantes y de difícil control (Navarro et al., 1995). Asimismo, son causantes de generar gases contaminantes (Castro et al., 2020); la reutilización de estos ofrece una alternativa para obtener fibras textiles, permitiendo reducir la contaminación al medio ambiente (Jácome et al., 2023).

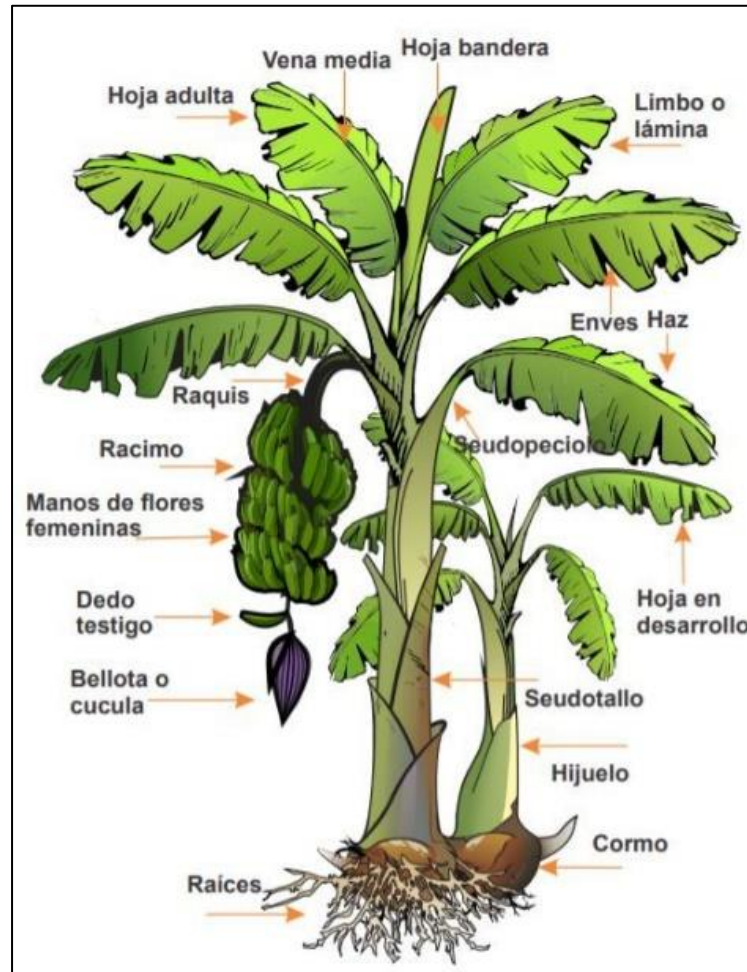
El cultivo de plátano genera gran cantidad de residuos agrícolas, ya que carece de un manejo adecuado (Delgado et al., 2022). El uso de pseudotallos de plátano para la producción de fibra reduciría los residuos agrícolas (Ruangnarong et al., 2024). Económicamente, se obtiene de plantaciones locales, lo que la hace accesible. Además, su producción se lleva de manera sencilla, utilizando recursos y herramientas que están al alcance de la comunidad; es un material seguro, pues su extracción y manipulación no son tóxicas. Desde el punto de vista ambiental, la fibra de plátano se biodegrada fácilmente, sin contaminar el agua ni el suelo. Tomando en cuenta las cualidades de la fibra de plátano, se considera como una alternativa sostenible que puede generar ingresos adicionales para las familias (Abril, 2022).

#### **2.2.7. El plátano**

El plátano es una fruta tropical originada en Asia meridional, procedente de la planta herbácea, perteneciente a la familia de las musáceas vertical (Sandoval & Müller, 1999); esta no cuenta con un tallo leñoso y está formada por vainas foliares que contienen fibra con suficiente resistencia para mantener la planta en posición. El cormo está compuesto por yemas que generan otros cormos, lo que permite la formación de una mata con un crecimiento radial (Abril, 2022). El pseudotallo puede crecer hasta una altura de 9 m con un diámetro de 0,4 m (Castillo, 2022; Cifuentes & Cifuentes, 2019). La planta de plátano solo produce una vez en su ciclo de vida; por ello, el pseudotallo es cortado y desechado después de la cosecha. Se pueden encontrar cientos de especies, pero las más conocidas son: Seda, Bellaco, Inguri, Biscochito y capirona (MINAGRI, 2015).

La planta de plátano es un recurso natural que los agricultores no aprovechan de manera eficiente por desconocimiento; luego de dar fruto, la planta es cortada y dejada como abono, mientras que la cáscara se considera un desecho y el mal uso de estos residuos agrícolas puede generar contaminación en los suelos y aguas subterráneas, así como la proliferación de bacterias y enfermedades debido a su

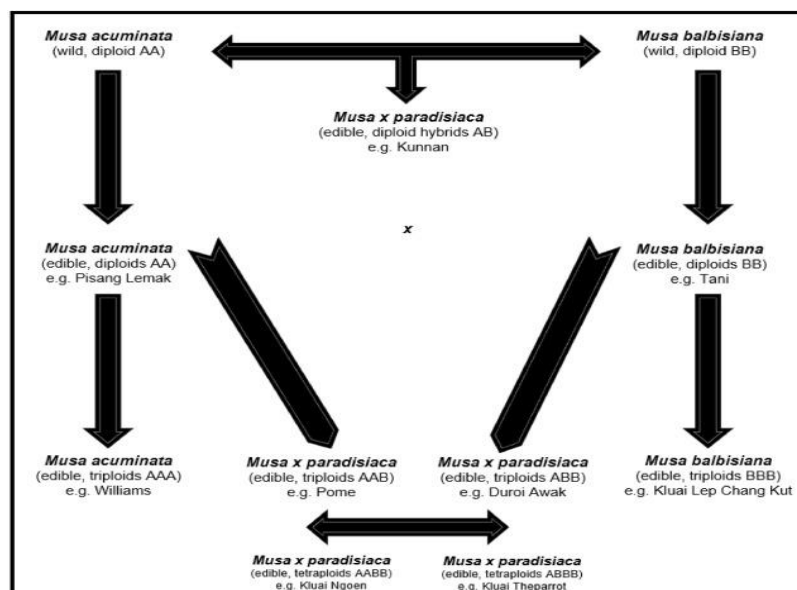
descomposición sin control (Haro et al., 2017). El pseudotallo del plátano es abundante y las fibras del plátano se pueden recolectar fácilmente, pues son accesibles económicamente y biodegradables (Balakrishnan et al., 2019).



**Figura 1.** Partes de una planta de plátano  
FUENTE: InfoAgronomo, (2020)

### 2.2.8. Botánica de la planta

Las especies de plátano anteriormente se clasificaron como *Musa x paradisiaca* Lambert y *Musa x sapientum*; en la actualidad, los botánicos concluyeron que provienen de dos especies silvestres de plátano: *Musa acuminata* Colla y *Musa balbisiana* Colla, por hibridación se desarrollaron otras variedades a partir de los genomas; tal es el caso de *Musa x paradisiaca* (Maseko et al., 2024).



**Figura 2.** Desarrollo de híbridos de banano comestibles  
 FUENTE: Maseko et al., (2024)

**Tabla 4:** Clasificación botánica de la Musa paradisiaca

<b>Clasificación botánica</b>	
Nombre común	: Plátano, Cambur, Guineo
Nombre científico	: <i>Musa paradisiaca</i>
Reino	: Plantae.
Familia	: Musaceae
División	: Magnoliophyta.
Clase	: Liliopsida.
Orden	: Zingiberales.
Género	: Musa
Origen	: Asia meridional
Variedades	: Seda, Bellaco, Inguiri, Isla, Biscochito y Capirona

FUENTE: Koepfel, (2008); MINAGRI, (2015); Nayar, (2009)

### 2.6.9. Fases de la planta

A partir de los cambios significativos que presenta la planta de plátano, que son claramente visibles, se pueden identificar tres fases (CENTA, 2018):

#### a. Fase vegetativa

Su periodo de duración es de 6 meses, periodo en el que comienza la creación de raíces principales y secundarias, además del crecimiento del pseudotallo y sus descendientes. Este proceso comprende desde el crecimiento de las raíces

hasta los 6 meses subsiguientes, posibilitando que las raíces principales y secundarias se extiendan. Las principales raíces evolucionan a raíces secundarias y generan pelos absorbentes, situándose entre 20 y 25 cm de la base de la planta, con una profundidad de 10 a 15 cm (CENTA, 2018).

**b. Fase floral**

La duración de la fase floral es de aproximadamente 3 meses; comienza inmediatamente después de la anterior fase. El tallo floral se eleva del cormo mediante el pseudotallo y se puede observar hasta que aparece la inflorescencia, momento en el que aún es necesario que se desarrolle entre 10 y 12 hojas (CENTA, 2018).

**c. Fase de fructificación**

La etapa de fructificación se desarrolla por alrededor de tres meses y empieza posterior a la etapa floral; se diferencian las flores masculinas de las femeninas. La fase presenta una reducción progresiva del área foliar que culmina con la cosecha. El periodo ocurre entre el inicio de la floración y recolección de racimos, que oscila entre 81 y 90 días; en esta fase, los factores externos solo impactan el tamaño de los frutos, mientras que la cantidad de frutos se determinó en las dos etapas anteriores (CENTA, 2018).

**2.2.10. Producción de plátano en el Perú**

El plátano es una fruta que se produce durante todo el año en las regiones de San Martín, Piura, Loreto, Huánuco y otros, también (AgroPerú, 2023a). Al finalizar el primer semestre del año 2023, las exportaciones de plátano peruano alcanzaron las 77,338 toneladas, generando ingresos de \$59 millones (AgroPerú, 2023b). Los principales mercados de exportación del Perú incluyen a Países Bajos, Panamá, Estados Unidos y Bélgica (AgroPerú, 2023a). Y

MIDAGRI (2021), a través del Ministerio de Producción, registró en diciembre de 2020 la producción de 578 hectáreas de plátanos y bananas para cocción (*Musa paradisiaca*) en el distrito de San Pedro de Putina Punco, provincia Sandía de la región Puno.

### **2.2.11. Zona de cultivo del plátano**

El Ministerio de Agricultura y Riego, a través de SENASA (2020), señala que el cultivo de plátano es propio de las regiones tropicales y subtropicales; algunos cultivos se han adaptado a altitudes de hasta 2,300 msnm. Asimismo, menciona que la temperatura ideal para la floración es de 27°C en promedio, e indica que a mayor de 37°C las plantas sufren daños como quemaduras en las hojas y deformidad en los frutos; también menciona que a temperaturas menores de 16°C provocan un crecimiento pausado e inferiores a 10°C, la planta cesa su crecimiento totalmente y se produce un aborto de los frutos. Las zonas de cultivo de plátano son costa norte: Piura y Tumbes; selva baja: Loreto, San Martín, Ucayali y Madre de Dios; selva alta: Amazonas, Huánuco, Junín, Cajamarca, Pasco, Cusco y Puno; otras regiones: La Libertad, Ica, Lambayeque, Ayacucho, Lima y Ancash.

### **2.2.12. Variedades de plantas de plátano**

Las variedades de plátano que se cultivan en el Perú son: Biscochito, Bellaco, Isla, Cavendish gigante, Valery, Lacatán, Morado, Inguiri, Manzano y Seda (SENASA, 2020)

### **2.2.14. Pseudotallo de plátano**

El plátano es una planta perenne que crece mediante un falso tallo que viene a ser el tronco principal (Maseko et al., 2024). El nombre asignado al tronco de la planta es “pseudotallo” (Delgado et al., 2022) y se caracteriza por tener un tallo cilíndrico grueso formado por un núcleo suave y envuelto en múltiples capas de vainas foliares largas y curvas que se superponen estrechamente entre sí (Yue et al., 2024).

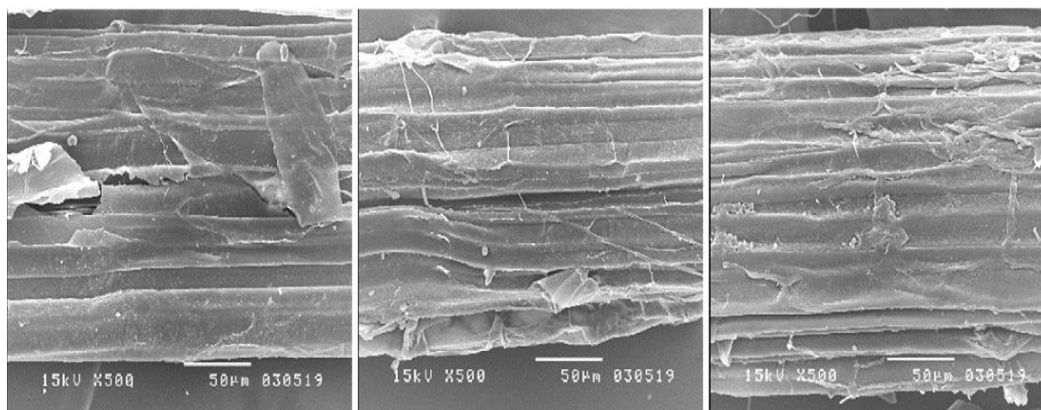
### **2.2.15. Fibra de plátano**

El plátano es una de las plantas de la que se puede utilizar casi todas las partes, incluyendo el fruto, hojas, botón floral, tronco y pseudotallo (Subagyo & Chafidz, 2020). Sin embargo, solo el fruto es aprovechado y generalmente los residuos terminan en la basura (CamaraValencia, 2023). Los subproductos del plátano, como tallos, hojas y otras partes no comestibles, pueden ser aprovechados como una fuente de fibra natural (CITE Agroindustrial, 2023).

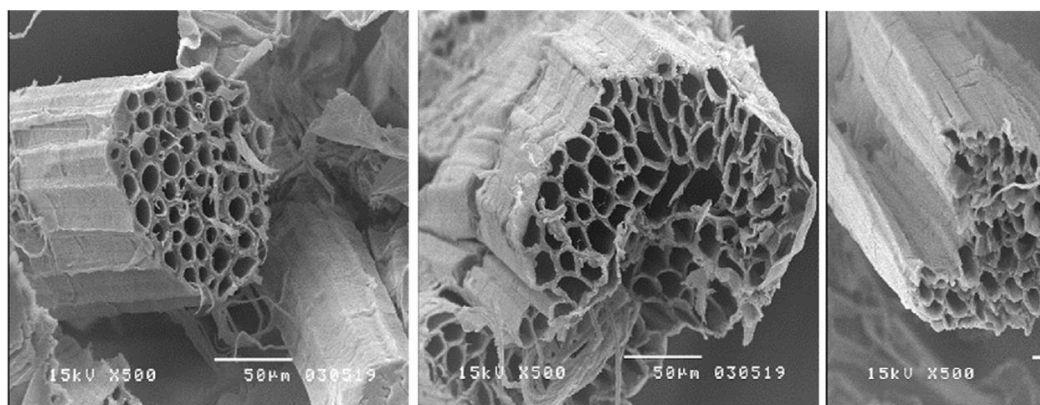
La fibra de plátano se obtiene a partir del pseudotallo de la planta y consiste en un tejido celular de pared gruesa, unida entre sí por gomas naturales y principalmente está compuesta por celulosa, lignina y hemicelulosas (Hendriksz, 2017), dicha fibra de plátano es considerada como una de las fibras más fuertes y resistentes del mundo y busca superar a la de algodón y busca sustituir algunas fibras que perjudican al medio ambiente (CamaraValencia, 2023) , de modo que se puede utilizar como materia prima para la fabricación de productos como bolsitas de té, cartones, papel y hasta billetes (Sharma & Wadhwa, 2023); también se pueden usar para aplicar en materiales compuestos de alta calidad y resistencia; confección de prendas y artesanía

### 2.2.16. Morfología de la fibra de plátano

La fibra del pseudotallo de plátano tiene una estructura celular escamosa, con marcas horizontales en la superficie (Subagyo & Chafidz, 2020); además, tiene una forma irregular y no esférica, mientras que la pared celular es gruesa y el lumen central es elíptico, estrecho y alargado (Badanayak et al., 2023). En cuanto a la forma de la sección transversal, *Musa paradisiaca* tiene forma circular; la fibra está compuesta de filamentos continuos con extremos circulares (Delgado et al., 2022).



**Figura 3.** Apariencia longitudinal de la fibra de plátano  
FUENTE: Ruangnarong et al., (2024)



**Figura 4.** Apariencia de sección transversal de la fibra de plátano  
FUENTE: Ruangnarong et al., (2024)

### 2.2.17. Composición química

La fibra del plátano está compuesta principalmente de celulosa, hemicelulosa, lignina, ceniza, pectina y una pequeña cantidad de soluto de agua, entre otras sustancias, siendo la celulosa el componente principal. Esta fibra tiene propiedades únicas que pueden ser aprovechadas para desarrollar nuevos materiales compuestos (Badanayak et al., 2023; Ruangnarong et al., 2024; Yue et al., 2024).

**Tabla 5:** Composición química de la fibra de plátano

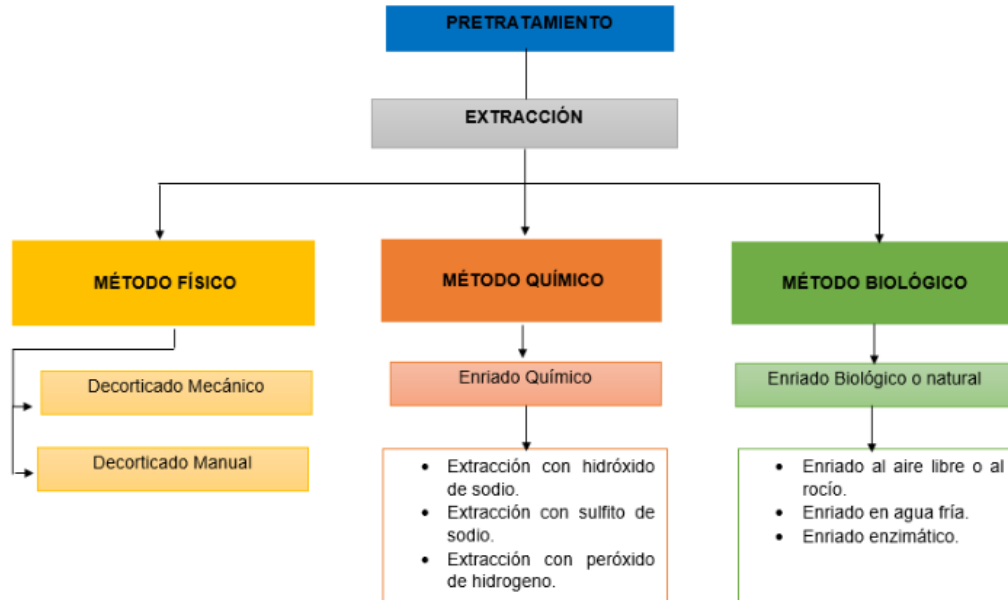
Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Pectina	Ceniza	Extractivos	Referencia
60-65 %	6-19 %	5-10 %	3-5 %	1-3 %	3-6 %	(Bhatnagar et al., 2015)
49.33 %	12.04 %	13.88%	-	4.95%	5.23%	(Subagyo & Chafidz, 2020)
63%	19%	5%	-	-	-	(Jácome et al., 2023)
59.55%	28.09%	12.36%	-	-	-	(Brindha et al., 2012)
68.3%	-	18%	3.07%	2.15%	-	(Rukundo et al., 2024)
61.58%	-	11.59%	-	4.09%	-	(Bonilla et al., 2009)
72.81%	-	9.13%	-	-	-	(Fonseca et al., 2022)
55-65%	15-25%	10-15%	3-5%	-	-	(Badanayak et al., 2023)

*Nota.* La tabla muestra una comparación de resultados de la evaluación de hemicelulosa, lignina, pectina, ceniza y extractivos en la fibra de plátano.

### 2.2.18. Métodos de extracción

Para la extracción de la fibra de plátano, existe una gran variedad de métodos de extracción de acuerdo a las características propias de cada especie, y entre los más

comunes están los métodos de extracción biológicos, químicos y mecánicos (Bonilla et al., 2009; Collazos & Pinzón, 2022; Espín & Tello, 2015).



**Figura 5.** Clasificación de métodos de extracción

FUENTE: Moreno y Neusa (2021).

### 2.2.19. Método de extracción mecánica

La extracción de fibra se realiza tan pronto como se corta el pseudotallo. El desfibrado manual utiliza como herramienta principal un cuchillo dentado para realizar una maniobra de raspado y lavado; este método requiere mayor tiempo. El desfibrado mecánico consiste en separar las fibras del pseudotallo mediante una máquina compuesta por varios rodillos (Moreno & Neusa, 2021).

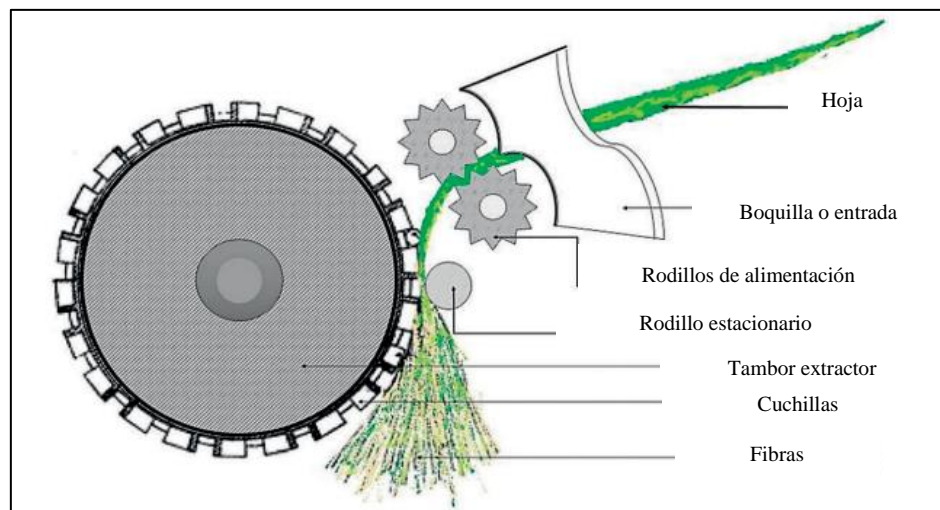
#### a. Desfibrado mecánico

La tecnología aplicada en la extracción de fibra tiene un gran impacto en la eficacia y calidad de la fibra de plátano (Yue et al., 2024). Este proceso es rápido, ya que consiste en utilizar una máquina desfibradora para la extracción de la fibra, y únicamente se debe introducir y retirar el pseudotallo de plátano (Espín & Tello, 2015). La máquina consta de un tambor giratorio de alta velocidad que elimina los desechos asociados con el pseudotallo y separa las fibras (Badanayak et al., 2023). El proceso de

extracción es el más adecuado, por su rapidez, limpieza y finura de la fibra obtenida (Bonilla et al., 2009).

#### b. Desfibradora mecánica

La desfibradora mecánica se utiliza para la extracción de fibras naturales largas (Badanayak et al., 2023). El desfibrado mecánico se realiza cuando es necesario obtener una producción considerable y constante de fibra. La maquinaria utilizada cuenta con un motor, ya sea de combustión interna o eléctrico, adaptándose a las necesidades específicas de la planta y al tipo de máquina empleada. La desfibradora funciona mediante un tambor giratorio equipado con cuchillas, ranuras o agujas. Este tambor se sitúa a una corta distancia del punto donde se introducen las hojas o tallos. Al insertar la hoja o el tallo, el tambor los golpea y raspa, eliminando el material que une las fibras. De esta manera, solo queda la fibra, que es arrastrada de regreso a través de la misma abertura. (Espín & Tello, 2015).



**Figura 6.** Extracción mecánica de la fibra de plátano  
FUENTE: Subagyo & Chafidz, (2020)

#### 2.2.20. Desfibrado o extracción manual

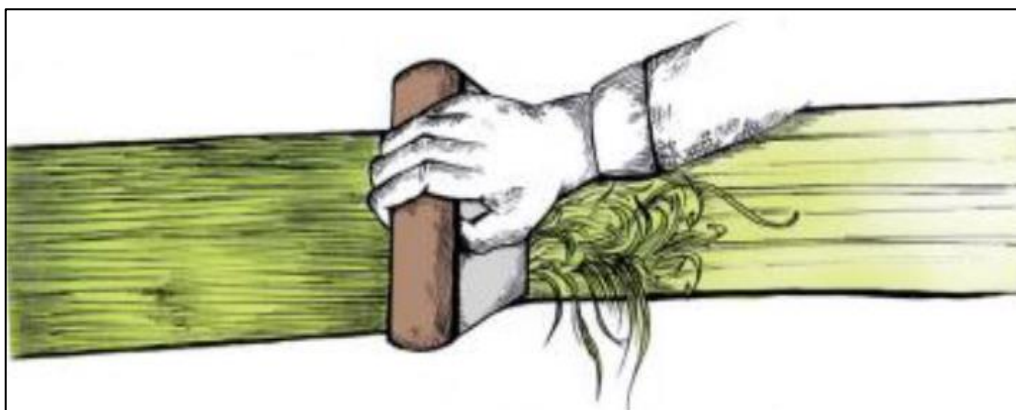
El desfibrado manual, también conocido como método artesanal, consiste en extraer las fibras de forma manual (Bonilla et al., 2009); se basa en separar el material que está adherido a la fibra sin usar máquinas ni equipos especiales. Todo el proceso se realiza a mano, aprovechando la habilidad de las personas y haciendo uso de las herramientas necesarias (Espín & Tello, 2015).

### **a. Enriado natural**

En este proceso de extracción, el enriado directo en agua, los pseudotallos se individualizan y se sumergen directamente en agua (Badanayak et al., 2023). Para ello, existen dos métodos diferentes. En el primero, las hojas son lavadas, pesadas y sumergidas en un baño de agua sin un previo tratamiento. En el segundo proceso, las hojas son lavadas, pesadas y machacadas antes de ser sumergidas en agua (Bonilla et al., 2009), con el objeto de que el agua penetre en los tejidos y produzca el debilitamiento de las paredes y material que recubre a las fibras, las hojas son golpeadas con mazos de madera en el agua para retirar el exceso de material sobrante y obtener las fibras (Espín & Tello, 2015) y, con ayuda de una cardadora metálica, se peinan y extraen las fibras que posteriormente son secadas (Collazos & Pinzón, 2022).

### **b. Raspado**

El método de extracción de fibra por raspado es laborioso y demanda mucho tiempo, por lo que es considerado exclusivamente artesanal (Espín & Tello, 2015). Este método de extracción de fibra consiste en desfibrar las vainas foliares del plátano pasando un cuchillo o raspador de arriba hacia abajo sobre un bloque de madera, utilizando un cuchillo o espátula para raspar el material adherido a la fibra, como se muestra en la figura 7. Posteriormente, estas son lavadas, secadas y ordenadas según la suavidad (Chiappe, 2019; Espín & Tello, 2015).



**Figura 7.** Extracción manual de la fibra  
FUENTE: Chi et al., (2023)

### **2.2.21. Método químico**

Este método consiste en sumergir las fibras extraídas en una solución química, empleando soluciones alcalinas o ácidas a diferentes concentraciones, tiempos y demás condiciones para poder separar la lignina adherida a las fibras (Bonilla et al., 2009; Moreno & Neusa, 2021). El tratamiento químico reemplaza la interacción de los hongos y bacterias en la descomposición de componentes no pertenecientes a la fibra; la reemplaza por otras sustancias como el sulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ), soda cáustica ( $\text{NaOH}$ ) y el peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ); este tipo de tratamiento produce fibras de mejor calidad, pero a un costo elevado en comparación a tratamientos anteriores (Bonilla et al., 2009).

El tratamiento químico implica el fortalecimiento del componente celulósico y la eliminación de hemicelulosa, lignina, cera, aceite y otros componentes de la superficie de la fibra (Temitayo et al., 2023), se aplican productos químicos como el hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ), el oxalato de amonio  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  o el sulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ), que se emplean para eliminar los elementos extraños no fibrosos (Patel & Patel, 2022). Además, estos ayudan a ablandar y remover otros residuos gomosos de las fibras del pseudotallo del plátano, facilitando la liberación de la fibra (Subagyo & Chafidz, 2020).

El tratamiento con peróxido de hidrógeno se realiza generalmente en condiciones alcalinas a temperaturas altas. La combinación de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) e hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) puede proporcionar blanqueamiento en la fibra (Abdallah, n.d.). Los agentes humectantes son aditivos químicos que se utilizan para mejorar la humectación y la penetración de líquidos en los tejidos de la fibra y reducen la tensión superficial de los líquidos, lo que facilita su distribución sobre la superficie del tejido (Fineotex, 2023).

### **2.2.22. Métodos biológicos**

Este método consiste en sumergir las fibras extraídas en agua, utiliza la acción de los microorganismos como bacterias y hongos; también de forma artificial adicionando algunas sustancias químicas o enzimas a fin de descomponer los tejidos de las células que rodean a las fibras (Bonilla et al., 2009).

### a. La enzima pectinasa

Las pectinasas son enzimas emergentes en las industrias frutal y textil, encargadas de descomponer polisacáridos complejos de los tejidos vegetales en moléculas más simples, como los ácidos galacturónicos. Su aplicación en la industria textil incluye el enriado y desgomado de fibras, la producción de papel de alta calidad, la fermentación de café y té, la extracción de aceites y el tratamiento de aguas residuales pépticas (Kashyap et al., 2001).

### b. Pectinasas alcalinas

Las pectinasas ofrecen una alternativa más segura y ecológica, especialmente para fibras delicadas. Estas enzimas, producidas por microorganismos como *Aspergillus niger*, permiten un tratamiento eficiente sin dañar las fibras (Khan, 2025). Estas enzimas provienen principalmente de fuentes bacterianas que intervienen en el enriado o desgomado de fibra de yute, cáñamo, ramio, hacha, coco y fibra de plátano; en este proceso, ciertas bacterias y ciertos hongos descomponen la pectina de la corteza y liberan a la fibra (Kashyap et al., 2001).

Los factores que influyen notablemente en la reacción enzimática son las concentraciones de enzimas, la temperatura, concentración del sustrato, el pH y las radiaciones. Asimismo, el pH tiene un impacto significativo en la velocidad de las reacciones enzimáticas, pues cada enzima tiene un pH específico en el que su actividad es máxima, si el pH en la enzima logra su máxima actividad. se denomina pH óptimo y es particular para cada enzima. La temperatura óptima también aumenta la velocidad de actividad enzimática (Macías et al., 2018).

**Tabla 6:** Condiciones para la actividad enzimática – enzima pectinasa (*Aspergillus niger*)

Condiciones para la actividad enzimática		
Temperatura	Estable	Hasta 65°C
	Optimo	40°C-45°C
	Inactivo	70°C
pH	Estable	2.0-10.0
	Optimo	4.5-6.3

FUENTE: Lozano & López, (2001)

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

El ámbito de estudio que se abordó es el distrito de San Pedro de Putina Punco, provincia de Sandia de la región Puno, que está ubicado a una altitud de 938 msnm y las coordenadas geográficas de latitud: -14.1131, longitud: -69.0475 (Google Maps, 2025). La ejecución de la parte experimental del trabajo de investigación se desarrolló en los laboratorios de la Universidad Nacional de Juliaca. La investigación se realizó para el área de ingeniería textil y su futura aplicación industrial, específicamente en la obtención de fibra a partir del pseudotallo de plátano.



**Figura 8.** Mapa de ubicación y punto de muestreo, distrito San Pedro de Putina Punco  
FUENTE: Google Earth

### **3.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.2.1. Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo experimental, a causa de que se manipula una o más variables independientes para estudiar sus efectos (Gutierrez & Salazar, 2008; Hernández et al., 2014)

#### **3.2.2. Nivel de investigación**

El estudio es de nivel explicativo, “el nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio” (F. Arias, 2012).

### **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población de estudio fue la fibra extraída del pseudotallo de plátano, el cual fue obtenido de las plantaciones de plátano de la variedad seda, conocido con el nombre científico de *Musa paradisiaca*, del distrito de San Pedro de Putina Punco, provincia de Sandia (MIDAGRI, 2021). Los pseudotallos fueron obtenidos de los agricultores de la zona.

Las fibras se obtuvieron tras el proceso de extracción realizado con la desfibradora. En total, se tomaron 16 unidades muestrales de fibra extraída del pseudotallo de plátano con un peso en seco de 15 gramos por unidad muestral. El factor estuvo conformado por cuatro niveles, con cuatro repeticiones que se trabajaron a nivel laboratorio.

El tipo de muestreo es no probabilístico, por conveniencia; los criterios para selección de las muestras no son estadísticas, son racionales. Las muestras fueron seleccionadas porque son accesibles para el investigador y facilitan la obtención del pseudotallo de plátano (Hernández et al., 2014).

Según Arias et al. (2016), nos indica que debemos tener en cuenta los siguientes criterios de selección.

#### **a. Criterios de inclusión**

- Fibra extraída mecánicamente del pseudotallo de plátano maduro tomado después de la cosecha.
- Fibra extraída en condiciones óptimas.

#### **b. Criterios de exclusión**

- Fibra extraída con muchos residuos.
- Fibras quebradizas.
- Residuos de fibras de peinado.

### **3.4. MATERIALES Y REACTIVOS**

#### **3.4.1. Insumos y reactivos**

Hidróxido de sodio (NaOH), peróxido de hidrógeno ( $O_2H_2$ ), sulfito de sodio ( $Na_2SO_3$ ), ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), enzima de pectinasa (Lallzyme HC), humectante textil (Resawet base – E) y agua destilada.

#### **3.4.2. Equipos**

Balanza analítica, pH-metro, estufa, microscopio óptico, fiber STS, medulómetro, agitador magnético, cámara fotográfica y termómetro.

#### **3.4.3. Material de laboratorio**

Varilla de vidrio, probetas, vasos precipitados, luna de reloj, espátula, portaobjetos, cubreobjetos, balde, bolsas herméticas, pipeta cuentagotas.

#### **3.4.4. Herramientas**

Cinta métrica (flexómetro), machete, guantes, peine, jarra, papel absorbente y baldes.

### **3.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.5.1. Hipótesis general**

Los diferentes métodos de extracción influyen significativamente en las propiedades físicas y mecánicas de la fibra extraída del pseudotallo de plátano.

#### **3.5.2. Hipótesis específicas**

- La desfibradora mecánica permitió extraer la fibra del pseudotallo de plátano.
- Los diferentes métodos de extracción aplicados a la fibra del pseudotallo de plátano tuvieron un efecto significativo en sus propiedades físicas.
- Los métodos de extracción aplicados a la fibra del pseudotallo de plátano afectan significativamente sus propiedades mecánicas.

### 3.6. METODOLOGÍA

#### 3.6.1. Elaboración de una desfibradora mecánica para la extracción de fibra del pseudotallo de plátano.

##### a. Elaboración de una desfibradora mecánica

Los métodos tradicionales de extracción de fibra de plátano requieren aproximadamente de 2 a 6 semanas para que se puedan extraer las fibras, lo que puede resultar en una baja productividad (Chi et al., 2023). Por esta razón, se elaboró una máquina desfibradora para procesar el pseudotallo de plátano y obtener la fibra de plátano. Para ello se tomó como base el sistema aplicado por Chi et al. (2023); Moyón & Suntaxi (2023); Yue et al. (2024).

La desfibradora mecánica o maquina desfibradora está conformada por una estructura de soporte con dimensiones de 0.7 m de largo, 0.43 m de ancho y 1.10 m de alto. Los componentes principales de la maquina fue el tambor, las cuchillas, sistema de transmisión por poleas, eje, tambor desfibrador, rodillos de extracción, peinetas y un motor eléctrico. La fabricación de la máquina se llevó a cabo en varias etapas, comenzando con el diseño de la máquina desfibradora, adquisición de materiales, fabricación de componentes, ensamblaje y calibración de la máquina.



*Figura 9.* Desfibradora mecánica

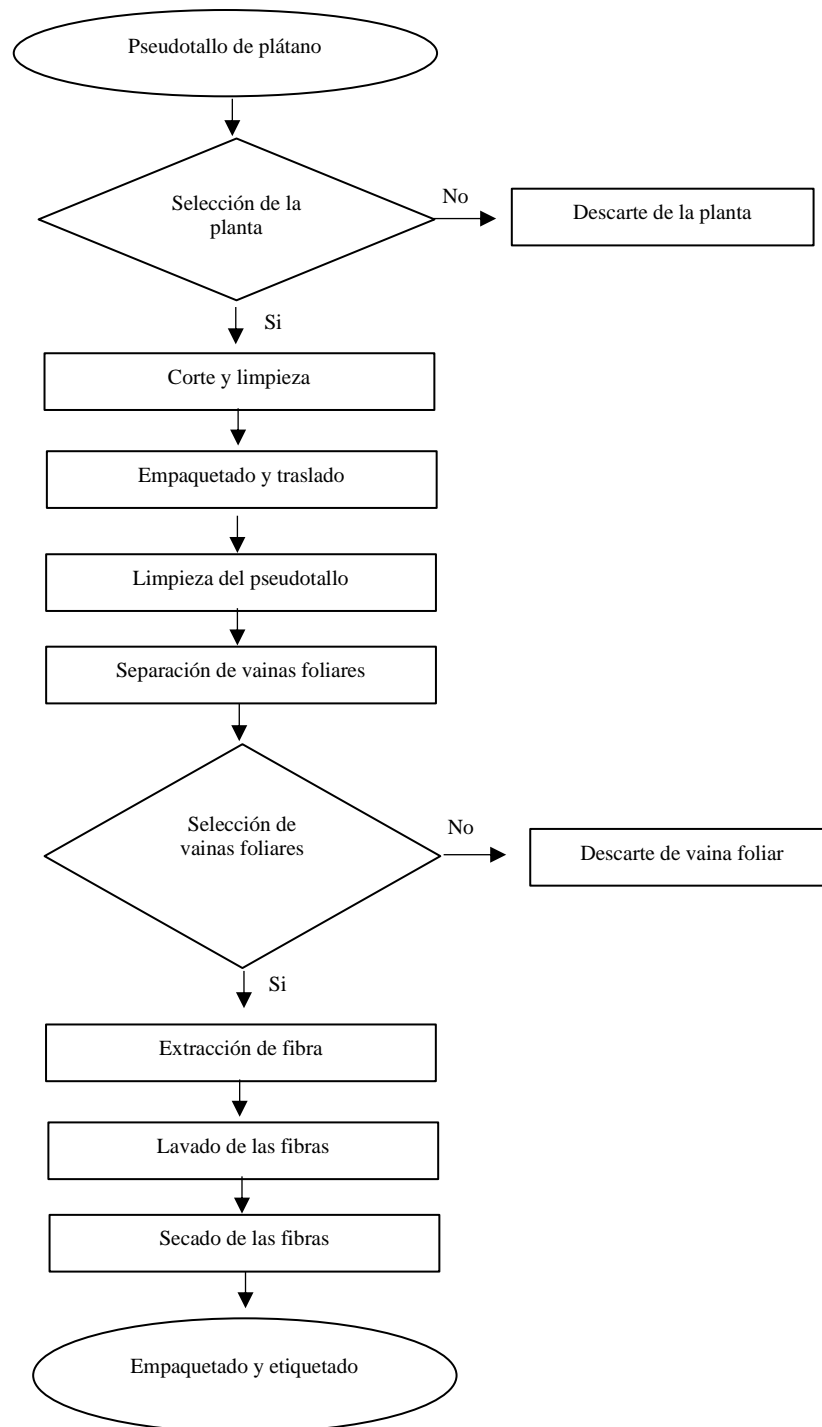
Se realizaron pruebas con 100 kg de pseudotallo de plátano, evaluando la eficiencia de extracción donde las condiciones de prueba se mantuvieron constantes.

**b. Recolección y pretratamiento de los pseudotallos de plátano**

La recolección de los pseudotallos del plátano se realizó después de haber cosechado los frutos. Estas deben encontrarse en buenas condiciones y fueron cortadas con ayuda de un machete aproximadamente a 50 cm por encima del suelo. Una vez cortadas en varias partes, el pseudotallo del plátano fue trasladado al punto de extracción (Rukundo et al., 2024). Las vainas foliares se extrajeron manualmente, y se descartaron las vainas en mal estado como las partes dañadas (Abril, 2022).

**c. Extracción física o mecánica de la fibra de plátano**

La fibra de plátano se extrajo mecánicamente introduciendo las vainas foliares del pseudotallo de plátano a lo largo de un rodillo extractor de fibras en la desfibradora mecánica; las fibras se extrajeron raspando las vainas foliares del plátano, dejando solo las fibras (Ruangnarong et al., 2024). Luego las fibras extraídas se peinaron y lavaron con agua para eliminar el exceso de médula y posteriormente se secó a temperatura ambiente (Abril, 2022; Moreno & Neusa, 2021).



**Figura 10.** Flujograma de la extracción de la fibra

**d. Metodología de tratamientos post-extracción**

**a) Método físico**

Las fibras sometidas al tratamiento físico o también denominado grupo control fueron extraídas de manera mecánica sin ser sometidas a ningún tipo de tratamiento posterior a la extracción; estas fibras se obtuvieron de

forma directa. Después de extraer la fibra, se lavó, peinó, enjuagó y secó a temperatura ambiente en sombra para almacenarlas en una bolsa con cierre hermético a la espera de su posterior evaluación (Balakrishnan et al., 2019).

#### **b) Método biológico**

Las fibras extraídas mecánicamente del pseudotallo de plátano fueron sometidas a un tratamiento enzimático para mejorar sus propiedades. Este proceso se llevó a cabo utilizando concentraciones del 5% de enzima, a una temperatura controlada entre 55 y 60°C, en un medio ácido con un pH ajustado entre 2.5 y 3.5 (Balakrishnan et al., 2019). Para asegurar una adecuada interacción entre las fibras y la enzima, se utilizó una relación de baño de 1:50, lo que significa que por cada parte de fibra se emplearon 50 partes de solución enzimática. Este tratamiento se mantuvo durante un tiempo de dos horas, lo que permitió que la enzima actuara de manera efectiva sobre las estructuras de las fibras, facilitando la eliminación de componentes no deseados y mejorando así su calidad. Una vez finalizado el tratamiento enzimático, las muestras de fibra de plátano fueron cuidadosamente lavadas con agua para eliminar cualquier residuo de la solución enzimática. Posteriormente, se secaron al aire en un ambiente sombreado, lo que ayudó a preservar las propiedades de las fibras y evitar daños por exposición directa a la luz solar.

#### **c) Método químico**

Las fibras extraídas mecánicamente se sometieron a un tratamiento químico para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Este proceso se realizó haciendo el uso de 6% de agentes blanqueadores, 2% de sulfito de sodio, 3% de sosa cáustica y un 0.2% de agente humectante a una temperatura de 80 a 90°C durante 2 horas. Para garantizar una adecuada interacción entre las fibras y los agentes químicos, se utilizó una relación de baño de 1:50, lo que facilitó la penetración de los agentes blanqueadores en la estructura de las fibras, permitiendo así la eliminación efectiva de impurezas (Balakrishnan et al., 2019). Al finalizar el tratamiento, las muestras de fibra de plátano fueron lavadas cuidadosamente con agua para

eliminar cualquier residuo de los productos químicos utilizados. Posteriormente, se secaron en un lugar sombreado, lo que ayudó a preservar sus propiedades físicas y evitar daños por exposición directa a la luz solar.

#### **d) Método Mixto**

Las fibras extraídas mecánicamente del pseudotallo de plátano fueron sometidas a un tratamiento mixto para mejorar sus propiedades y garantizar una mayor limpieza. En primer lugar, se realizó un tratamiento biológico utilizando la enzima pectinasa que facilitó la degradación de componentes no deseados en las fibras. Este tratamiento se realizó a una temperatura controlada de 55 - 60°C, con una concentración de enzimas del 5% en un medio ácido con un pH entre 2.5 y 3.5, durante un periodo de dos horas. Una vez finalizado el tratamiento biológico, las fibras fueron lavadas con agua para eliminar cualquier residuo enzimático. Posteriormente, se aplicó un tratamiento químico para blanquear las fibras, utilizando una mezcla de 6% de peróxido de hidrógeno, 2% de sulfito de sodio, 3% de sosa cáustica y 0.2% de agente humectante (Balakrishnan et al., 2019). Este tratamiento se realizó a ebullición de 87°C durante dos horas, con una relación de baño de 1:50. Finalmente, las muestras tratadas se lavaron nuevamente con agua y se secaron en sombra, asegurando así la preservación de sus características físicas y la mejora de su blancura.

### **3.6.2. Evaluación de las propiedades físicas de la fibra**

#### **a. Medición del diámetro de la fibra de plátano**

Para medir la finura de fibra se utilizó el método de microscopía óptica; se hizo uso de un microscopio de proyección que mide el diámetro de la fibra. Este procedimiento es lento, pero preciso (Lockuán, 2013). Este procedimiento se realizó con la finalidad de determinar el diámetro y finura de la fibra de plátano, que fueron obtenidas de los tratamientos físico o mecánico, biológico, químico y mixto. El diámetro de la fibra de plátano se midió en el laboratorio de fibras de la Universidad Nacional de Juliaca, con el equipo Medulómetro.

Para ello, previamente se prepararon las muestras en un portaobjetos. Se utilizó un microtomo para fragmentar la fibra y colocarlas sobre el portaobjeto. Luego, se añadió aceite de inmersión y un cubreobjeto, a fin de mejorar la visibilidad y precisión en el microscopio. La muestra preparada se llevó a la platina del medulómetro para su medición de diámetro representada en micras ( $\mu\text{m}$ ) y se observaron las fibras en el monitor del equipo. A continuación, presentamos algunas normas en que se basó la presente investigación, como ASTM D2130, es una prueba estándar para la medición del diámetro de fibras textiles, que hacen uso del método de microscopía óptica.

#### **b. Medición de la densidad lineal de la fibra**

La densidad lineal de la fibra se calculó según el método de prueba estándar establecido en la ASTM D1577; las mediciones se calcularon a partir de la masa y la longitud del haz de la fibra para determinar la densidad lineal en Denier, las fibras se cortaron a la misma longitud y luego fueron pesadas; a continuación, se muestra la fórmula aplicada.

$$D = (900xW)/(LxN) \quad (1)$$

Donde D es la densidad lineal media de las fibras (Denier), W es la masa de la muestra del haz (g), L es la longitud de la muestra del haz (m) y N es el número de fibras de la muestra del haz.

### **3.6.3. Evaluación de la propiedad mecánica de la fibra**

#### **Resistencia a la tracción:**

Consiste en aplicar fuerzas a una muestra; para medir la resistencia a la tracción, se tomó en consideración el método de prueba estándar ASTM D3822. Esta norma establece un procedimiento para determinar las propiedades de tensión de fibras, donde se hizo la prueba con un dinamómetro. El equipo que se utilizó fue el Fiber STS. Este parámetro es crucial para evaluar la durabilidad y la calidad de las fibras, así como para predecir el comportamiento de los productos textiles bajo tensión.

### 3.7. PRUEBA ESTADÍSTICA

Los resultados obtenidos de las propiedades físicas y mecánicas de la fibra del pseudotallo de plátano fueron evaluados y analizados mediante pruebas estadísticas descriptivas (media) y análisis de varianza (ANOVA).

El análisis estadístico tiene por objetivo estudiar los métodos de extracción aplicados afectan en las propiedades físicas (finura y densidad lineal) y mecánicas (resistencia a la tracción) de la fibra, de este modo, se permitió identificar el método de extracción adecuado para tratar las fibras extraídas. Se empleó el software R Studio para llevar a cabo el análisis de los datos, utilizando el método de análisis de varianza (ANOVA) y comparaciones con la prueba de Tukey.

**Tabla 7:** Diseño completamente al azar para un factor

Tratamientos				
T1	T2	T3	...	Tk
Y <sub>11</sub>	Y <sub>21</sub>	Y <sub>31</sub>	...	Y <sub>k1</sub>
Y <sub>12</sub>	Y <sub>22</sub>	Y <sub>32</sub>	...	Y <sub>k2</sub>
Y <sub>13</sub>	Y <sub>23</sub>	Y <sub>33</sub>	...	Y <sub>k3</sub>
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Y <sub>1n<sub>1</sub></sub>	Y <sub>2n<sub>2</sub></sub>	Y <sub>3n<sub>3</sub></sub>	...	Y <sub>kn<sub>k</sub></sub>

FUENTE: Gutierrez & Salazar, (2008)

Considerando a Gutierrez & Salazar (2008) el modelo estadístico lineal fue el Diseño Completamente al Azar:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

Donde:

$\tau_i$  : Tratamientos (Métodos de extracción).

$Y_{ij}$  : Variable respuesta (Finura, densidad lineal y resistencia a la tracción).

$\mu$  : Media general.

$\varepsilon_{ij}$  : Efecto del error experimental que se asume normalmente e independientemente distribuido con media cero y varianza.

Para la comparación de medias e identificación de medias diferentes entre los métodos de extracción, se utilizó la prueba de Tukey después del análisis de varianza (ANOVA).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. DESFIBRADORA MECÁNICA PARA LA EXTRACCIÓN DE FIBRA DEL PSEUDOTALLO DE PLÁTANO

Para la extracción de la fibra de plátano, se diseñó y elaboró una desfibradora mecánica en varias etapas, que incluyeron el diseño, la adquisición de materiales, la fabricación de componentes, el ensamblaje y la calibración de la máquina. La velocidad de la polea del motor se redujo de 1730 a 540 rpm mediante un sistema de transmisión de poleas, con el objetivo de minimizar el daño a la fibra, ya que una mayor velocidad puede afectar negativamente su resistencia y provocar cortes a lo largo de la fibra insertada. Durante la calibración, se estableció un espacio de 1.5 mm entre el tambor y el rodillo de ingreso para facilitar la introducción de la vaina foliar del pseudotallo de plátano.

Termkla et al. (2025) mencionan que la velocidad adecuada para la desfibradora mecánica está dentro del rango de 750 rpm y afirmaron que el promedio de extracción mecánica de fibra es de 58.43 kg/h; en comparación a la extracción manual, que solo se puede extraer en un promedio de 2.87 kg/día; similar a lo que menciona Chi et al. (2023), al evaluar tres modos diferentes de procesamiento a velocidades del motor de 750, 900 y 1050 rpm, respectivamente; además, mencionan que los porcentajes de extracción de fibra de plátano fueron del 10.1%, 11.2% y 10.8%, correspondientemente. Por otro lado, (Yue et al., 2024) indican que los parámetros óptimos para la extracción son una velocidad de rotación del tambor de 1400 rpm y un espacio de ingreso de 2.5 mm para la vaina foliar. Estos resultados resaltan la importancia de ajustar los parámetros de operación para optimizar la eficiencia en la extracción de fibra.

**Tabla 8:** Resultados de la eficiencia de extracción

N°	Peso (Kg)	Peso fibra (g)	Peso fibra (kg)	Eficiencia (%)
P1	3.382	34	0.034	1.00532229
P2	6.905	84	0.084	1.21650978
P3	3.432	42	0.042	1.22377622
P4	1.267	23	0.023	1.81531176
P5	7.201	78	0.078	1.08318289
P6	6.218	111	0.111	1.78513992
P7	5.259	102	0.102	1.93953223
P8	2.693	53	0.053	1.96806535
P9	12.201	160	0.16	1.31136792
P10	7.598	131	0.131	1.72413793
P11	3.664	86	0.086	2.34716157
P12	11.699	206	0.206	1.76083426
P13	7.825	170	0.17	2.17252396
P14	1.694	67	0.067	3.95513577
Total	81.038	1347	1.347	
Promedio				1.80771442

*Nota.* La tabla muestra el número de muestra (P1, P2, ..., P14), peso de las vainas foliares del pseudotallo de plátano (Kg), peso de la fibra seca extraída (g, kg) y la eficiencia de extracción (%).

La extracción se realizó mediante la desfibradora mecánica, el cual permitió alcanzar una buena eficiencia de extracción. En la tabla 8 se muestran los resultados de la extracción de fibra del pseudotallo de plátano, donde se analizaron 14 muestras con un peso total de 81.038 kg y 1.347 kg de fibra extraída en total, resultando en un promedio de eficiencia de 1.8077%. Además, las eficiencias varían desde 1.0053% (P1) hasta 3.9551% (P14), indicando que algunas muestras son significativamente más efectivas en la recuperación de fibra. En particular, las muestras P11 y P14 destacan por su alta eficiencia, sugiriendo que factores como la calidad del pseudotallo, la madurez de la planta del plátano y las condiciones de procesamiento influyen en el rendimiento de la extracción de la fibra.

De la desfibradora mecánica, a partir 81 kg de vainas foliares, se extrajo 1.34 kg de fibra seca, resultando en 1.8% de eficiencia de extracción, mientras que Abril (2022) obtuvo 13.8 kg de fibra a partir de 1.64 toneladas de pseudotallo de plátano, lo que equivale al 0.8% en la eficiencia del total del pseudotallo. Sin embargo, Delgado et al. (2022) indican que la extracción artesanal (manual)

proporciona mayor cantidad de fibra con respecto a la extracción mecánica, que coincide con (González, 2019), que obtuvo una eficiencia de extracción del 11%. Por otro lado, (Delgado & Vidal, 2021) consiguió una eficiencia alta de 39.67%, muy diferente a lo obtenido por los demás autores; esto puede ser a causa de que las fibras extraídas hayan sido evaluadas en húmedo.

Badanayak et al. (2023) indican que la extracción mecánica tiene prioridad sobre la extracción manual, pues produce mayor cantidad de fibra en el menor tiempo posible. Por otro lado, Chengoué et al. (2020) mencionan que las características mecánicas de las fibras varían según el proceso de extracción; asimismo, Balakrishnan et al. (2019) afirman que las propiedades de la fibra de plátano dependen de la sección del pseudotallo, el método utilizado para la extracción, la especie del plátano y las condiciones ambientales. Por su parte, Subagyo & Chafidz (2020) sugieren que la extracción de fibra debe realizarse en el menor tiempo posible después del corte.

En resumen, la eficiencia de extracción mecánica de fibra a partir del pseudotallo es positiva, lo que implica un buen potencial para maximizar la producción de fibra a través de la optimización de los procesos de extracción mecánica, permitiendo un aprovechamiento más sostenible de los recursos del plátano.

## **4.2. EVALUAR EL EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA FIBRA DEL PSEUDOTALLO DE PLÁTANO**

### **4.2.1. Evaluación de finura de la fibra extraída del pseudotallo de plátano.**

Los resultados obtenidos de la evaluación de la finura se presentan en la tabla 9, la cual resume de manera clara y concisa los datos recolectados durante el estudio.

**Tabla 9:** Resultados de la medición de la finura

N°	Método	Finura ( $\mu\text{m}$ )	Área $\text{mm}^2$
M1	Químico	103.67 $\pm$ 31.88	0.00844104
M2	Químico	105.22 $\pm$ 31.03	0.00869533
M3	Químico	98.01 $\pm$ 35.47	0.0075445
M4	Químico	102.19 $\pm$ 33.85	0.00820175
M5	Biológico	106.07 $\pm$ 35.85	0.00883639
M6	Biológico	103.56 $\pm$ 31.78	0.00842313
M7	Biológico	107.21 $\pm$ 27.43	0.00902735
M8	Biológico	98.56 $\pm$ 22.49	0.00762941
M9	Mixto	98.92 $\pm$ 35.93	0.00768525
M10	Mixto	94.19 $\pm$ 33.39	0.00696786
M11	Mixto	97.33 $\pm$ 32.5	0.00744017
M12	Mixto	101.97 $\pm$ 31.03	0.00816647
M13	Físico	122.67 $\pm$ 31.76	0.01181861
N°	Método	Finura ( $\mu\text{m}$ )	Área $\text{mm}^2$
M14	Físico	115.3 $\pm$ 32.99	0.01044115
M15	Físico	117.84 $\pm$ 30.66	0.01090624
M16	Físico	119.9 $\pm$ 33.86	0.01129088

*Nota.* La tabla muestra el número de muestra (M1, M2, ..., M16), método de extracción realizado, finura de la fibra ( $\mu\text{m}$ ) y el área de la sección transversal de la fibra ( $\text{mm}^2$ ).

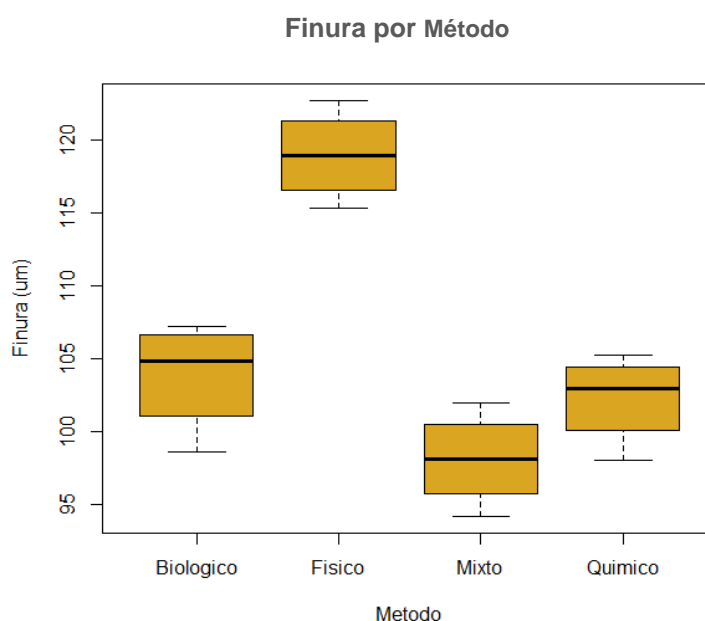
En la tabla 10, incluye información detallada sobre los diferentes métodos aplicados a la fibra extraída del pseudotallo de plátano, permitiendo un análisis descriptivo entre ellos. A continuación, se aprecia en cada columna de la tabla: como la media, la desviación estándar, la mediana y otros parámetros estadísticos que son esenciales para interpretar los resultados de manera adecuada.

**Tabla 10:** Resultados del análisis descriptivo de la evaluación de la finura

Método	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Rango	Unidad
Biológico	103.85	104.82	98.56	107.21	8.65	$\mu\text{m}$
Físico	118.93	118.87	115.3	122.67	7.37	$\mu\text{m}$
Mixto	98.1	98.12	94.19	101.97	7.78	$\mu\text{m}$
Químico	102.27	102.93	98.01	105.22	7.21	$\mu\text{m}$

*Nota.* La tabla muestra la comparación de media y mediana de los métodos de extracción.

En la tabla 10, se presenta un análisis descriptivo de finura en la fibra de plátano, obtenida a través de diferentes métodos que varían notablemente. El método mixto produce la fibra con el menor diámetro, alcanzando 98.10  $\mu\text{m}$ ; le sigue el método químico, que genera una fibra con un diámetro de 102.27  $\mu\text{m}$ . Asimismo, el método biológico presentó un diámetro de 103.85  $\mu\text{m}$ , mientras que el método físico produce la fibra más gruesa, con un diámetro de 118.92  $\mu\text{m}$ . Estos resultados resaltan la importancia de elegir el tratamiento adecuado para optimizar las propiedades de la fibra de plátano.



**Figura 11.** Diagrama de cajas de la finura vs método

La figura 11, permite comparar de manera visual la finura de las muestras obtenidas por los diferentes tratamientos. Las cajas muestran el rango donde se encuentran los datos, al comparar las cajas de los diferentes tratamientos se puede observar que el tratamiento mixto produce las muestras con mayor finura, seguido por el método químico, biológico y el físico.

De acuerdo a la tabla 10, los resultados conseguidos sugieren que el método de extracción aplicado tiene un efecto en la finura de las fibras, aunque las medias de los tratamientos químico, biológico y mixto son similares. La diferencia en las condiciones a las que fueron sometidas las fibras, como la temperatura, concentración, tiempo de tratamiento, el químico o enzima utilizado para descomponer la pectina, son factores cruciales; una temperatura inadecuada puede provocar degradación o insuficiencia en la reacción de los compuestos, mientras

que una concentración excesiva o un tiempo de tratamiento inadecuado pueden afectar la finura de las fibras.

Los resultados obtenidos del método físico mostraron un diámetro de 118.92  $\mu\text{m}$ , lo cual es notablemente diferente a lo reportado por Carneiro et al. (2024), quienes encontraron diámetros de 219  $\mu\text{m}$  para la extracción manual y 223  $\mu\text{m}$  para la extracción mecánica. Además, Souza et al. (2020) reportaron un diámetro de 293  $\pm$  91  $\mu\text{m}$  en fibras obtenidas mediante extracción manual. En contraste, (González, 2019) informó que los diámetros de las fibras variaban entre 58.124 y 63.214  $\mu\text{m}$ , valores que son considerablemente menores a los obtenidos en nuestro estudio.

Los valores alcanzados en el método biológico con la enzima pectinasa, a una concentración del 5% y una temperatura en el rango de 55 a 60  $^{\circ}\text{C}$ , lograron un diámetro de 103.85  $\mu\text{m}$ . Este resultado es comparable al reportado por Calderón et al. (2022), quienes extrajeron fibra de *Musa paradisiaca* mediante un método enzimático, obteniendo un diámetro de 95.83  $\mu\text{m}$ . Además, Velasque (2024) menciona que tanto la enzima pectinasa como la temperatura influyen en la finura de la fibra, reportando un promedio de 103.58  $\mu\text{m}$ , que es similar a nuestros resultados. Ambos estudios destacan que la concentración óptima de la enzima es del 10% y que la temperatura ideal es de 65  $^{\circ}\text{C}$ , manteniendo un pH ácido constante de 3.5. Esta información sugiere que, aunque nuestros resultados son consistentes con los hallazgos previos, se podría explorar el efecto de aumentar la concentración de la enzima y variar la temperatura para optimizar aún más el proceso de extracción de fibra.

Sin embargo, Sharma & Wadhwa (2023) demostraron que el diámetro de la fibra de plátano tratada enzimáticamente en la variedad *Musa acuminata* era de 127.02  $\mu\text{m}$ , un valor significativamente más alto que el obtenido en nuestro estudio. Por otro lado, Balakrishnan et al. (2019) aplicaron un procedimiento similar y afirmaron que el tratamiento físico-biológico reduce la finura de la fibra, reportando una disminución del diámetro de 168.4  $\mu\text{m}$  a 101.45  $\mu\text{m}$ . Estos hallazgos sugieren que, aunque el tratamiento enzimático puede ser efectivo para obtener fibras con diámetros más finos, las variaciones en los resultados pueden depender de factores como la variedad de plátano utilizada, las condiciones específicas del tratamiento y el método aplicado. Esto resalta la importancia de

considerar estos elementos al comparar resultados entre diferentes estudios y al optimizar los procesos de extracción de fibra.

Los resultados obtenidos con el método químico utilizando un 3% de NaOH mostraron un diámetro de 102.27  $\mu\text{m}$ , un resultado que se encuentra dentro del rango reportado por Mejía et al. (2012), quienes indicaron que las fibras de plátano tratadas químicamente con un 5% de NaOH presentaron diámetros entre 80.2 y 152.9  $\mu\text{m}$ . Por otro lado, Balakrishnan et al. (2019) reportaron que las fibras tratadas con hidróxido de sodio al 3% tenían un diámetro de 60.5  $\mu\text{m}$ , lo que indica que nuestros resultados son superiores a los obtenidos en su estudio. Además, Rukundo et al. (2024) mencionaron que la concentración óptima para el desengrasado con NaOH era del 17.5%, y que la mejor concentración para el blanqueo con peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) era del 2%. Estos hallazgos sugieren que las concentraciones de los productos químicos y las condiciones del tratamiento son factores determinantes en la finura de las fibras obtenidas. La variabilidad en los diámetros reportados en diferentes estudios resalta la importancia de optimizar las condiciones de tratamiento para mejorar la calidad de las fibras de plátano.

En los resultados obtenidos del método mixto, se observó un diámetro de 98.10  $\mu\text{m}$ . Este resultado contrasta con el estudio realizado por Balakrishnan et al. (2019), en el cual se reportó que las fibras tratadas con enzimas y productos químicos lograron reducir su diámetro de 168.4  $\mu\text{m}$  a 48.8  $\mu\text{m}$ . Esta diferencia en los diámetros sugiere que el tratamiento aplicado en nuestro estudio podría ser menos efectivo en comparación con el enfoque utilizado por Balakrishnan et al. (2019), lo que podría deberse a variaciones en los métodos de extracción o en condiciones experimentales.

En contraste, las demás investigaciones se diferencian en los diámetros de la fibra de plátano; estos pueden deberse a diversos factores, como el tipo de enzimas utilizadas, las condiciones del tratamiento (temperatura, tiempo de reacción y concentración de reactivos) y las características iniciales de las fibras. En conclusión, Aunque los métodos mixtos son efectivos para modificar las propiedades de las fibras, los resultados pueden variar según los métodos y las condiciones aplicadas. Esto subraya la importancia de optimizar cada etapa del

proceso para lograr los resultados deseados. A continuación, se presenta una comparación de otras fibras vegetales con respecto a la fibra de plátano.

#### a) Análisis estadístico

Previo al análisis de varianza, se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, obteniendo un valor de significancia del p-valor de 0.08718, el cual es superior a 0.05, lo que nos indica que no existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de normalidad de los datos; por ende, la prueba de Shapiro-Wilk revela que los datos de finura siguen una distribución normal, el cual es un supuesto importante para validar el análisis de varianza (ANOVA).

En resumen, el test de Bartlett indica que las varianzas de los grupos son homogéneas, lo cual es un supuesto importante para la validez del análisis de varianza (ANOVA) realizado previamente. El valor p obtenido fue de 0.9825, mayor que el nivel de significancia aplicado (0.05). Esto indica que no existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de homogeneidad de varianzas. Las varianzas de los cuatro métodos (químico, biológico, mixto y físico) no presentan diferencias estadísticamente significativas. Al no encontrar evidencia de que las varianzas sean diferentes entre los grupos, se puede concluir que este supuesto del ANOVA se cumple en los datos analizados.

Este resultado, junto a la evidencia de normalidad de los datos obtenida anteriormente, respalda la validez del uso de la prueba paramétrica ANOVA para comparar las medias de finura entre los diferentes métodos.

**Tabla 11:** Resultados del estadístico ANOVA

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Pr(>F)
Método	3	991.3118	330.4373	29.60765	0.0000079
Error	12	133.9264	11.16054		

*Nota.* La tabla muestra los resultados del ANOVA, indicando una diferencia estadísticamente significativa entre los métodos de extracción comparados en cuanto a la finura de la fibra de plátano.

En la tabla 11, se muestran los resultados obtenidos e indican que existe una diferencia estadística significativa en la finura de las muestras obtenidas por los diferentes tratamientos con un valor p de 0.0000079; es decir, al menos uno de los

tratamientos produce resultados diferentes a los demás en términos de la finura de las muestras; por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna.

**Tabla 12:** Resumen de la comparación múltiple de la prueba Tukey

Comparación múltiple de Tukey				
Método	D. de medias	L. inferior	L. superior	Valor p ajustado
Físico - Biológico	15.0775	8.064187	22.090813	0.0001773
Mixto-Biológico	-5.7475	-12.760813	1.265813	0.1232143
Químico - Biológico	-1.5775	-8.590813	5.435813	0.9071882
Mixto-Físico	-20.825	-27.838313	-13.811687	0.0000072
Químico - Físico	-16.655	-23.668313	-9.641687	0.0000686
Químico - Mixto	4.17	-2.843313	11.183313	0.3351655

*Nota.* La tabla muestra un resumen de la comparación entre los métodos de extracción (físico, biológico, químico y mixto) en cuanto a la finura de la fibra de plátano.

En la tabla 12, se presentan los resultados de las comparaciones múltiples de Tukey; podemos inferir que la diferencia entre el método mixto y el físico es estadísticamente significativa con un p-valor ajustado de 0.0000072. Esto indica que la finura de las muestras obtenidas por el método físico es significativamente mayor que la finura de las muestras obtenidas por el método mixto. Por otro lado, tenemos también que el método químico-físico y físico-biológico son significativos con p-valor ajustado de 0.0000686 y 0.0001773. Además, las comparaciones que no mostraron diferencias estadísticamente significativas fueron el mixto-biológico, químico-biológico y el químico-mixto con valores p ajustados de 0.1232143, 0.9071882 y 0.3351655 superiores al valor de confianza 0.05.

#### 4.2.1. Evaluación de la densidad lineal de la fibra extraída del pseudotallo de plátano.

Los resultados logrados de la evaluación de la densidad lineal se presentan en el anexo 3, el cual presenta información de los datos recolectados durante el estudio.

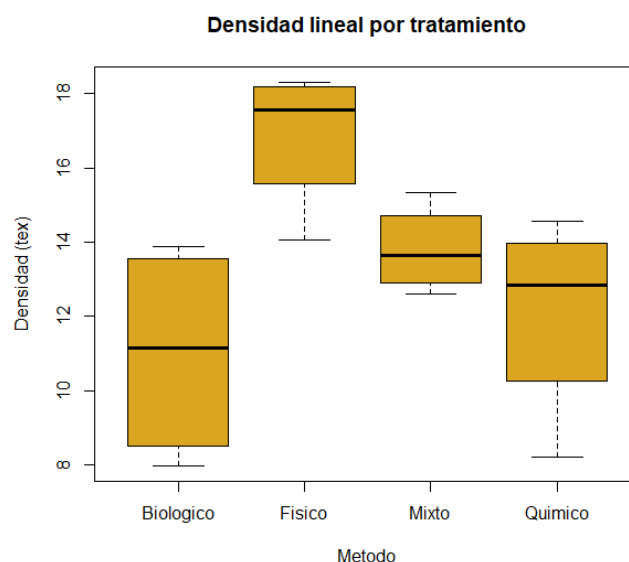
**Tabla 13:** Resultados del análisis descriptivo de la evaluación de la densidad de la fibra

Método	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Rango	Unidad
Biológico	11.04	11.14	7.99	13.88	5.89	Tex
Físico	16.88	17.58	14.05	18.3	4.25	Tex
Mixto	13.81	13.65	12.6	15.35	2.75	Tex
Químico	12.13	12.86	8.23	14.58	6.35	Tex

*Nota.* La tabla muestra la comparación de media y mediana de los métodos de extracción en la densidad lineal de fibra de plátano.

En la Tabla 13, se presentan los resultados del análisis estadístico de la densidad lineal, que revela diferencias significativas entre los tratamientos aplicados. El método físico muestra la mayor media, con un valor de 16.88 tex, lo que indica que produce la fibra con la mayor densidad lineal. En contraste, el método biológico presenta la menor media, con 11.04 tex. Por otro lado, el método mixto combina elementos de los métodos biológicos y químicos, alcanzando una densidad lineal de 13.81 tex, mientras que el método químico muestra un valor intermedio de 12.13 tex. En general, estos hallazgos destacan la importancia de seleccionar el método adecuado para optimizar la densidad lineal de la fibra de plátano.

#### Densidad lineal por método



**Figura 12.** Diagrama de cajas de la evaluación de la densidad lineal

En la figura 12, se presenta un diagrama de cajas que muestra la densidad lineal con el método de extracción aplicado a la fibra extraída del pseudotallo de plátano. Cada caja del gráfico indica la distribución de los valores de densidad lineal para cada tratamiento, permitiendo comparar visualmente las diferencias entre ellos. Se puede observar que el tratamiento biológico produce muestras con menor densidad lineal que el método químico, mixto y físico.

Los resultados obtenidos en la presente investigación sobre la densidad lineal fueron de 16.88 tex para el método físico, 11.04 tex para el biológico, 12.13 tex para el químico y 13.81 tex para el mixto. En contraste, Balakrishnan et al. (2019) reportaron densidades lineales de 25 tex, 21 tex, 18 tex y 5.6 tex para los métodos físico, biológico, químico y mixto, respectivamente. Estas diferencias son notables y sugieren variaciones significativas en la efectividad de los métodos aplicados.

Por otro lado, Sharma & Wadhwa (2023) encontraron una densidad lineal de 17.98 tex, lo que se aproxima a los resultados de nuestro estudio para el método físico. Además, Balakrishnan et al. (2021) afirmaron que la densidad lineal de la fibra varía entre 25 tex y 29 tex en la capa intermedia del pseudotallo de las variedades de plátano Ambun y Pawalu. Asimismo, Delgado et al. (2022) revelaron una densidad lineal de 0.070 dtex en la variedad de *Musa sapientum*, lo que contrasta significativamente con los valores obtenidos en nuestra investigación. Finalmente, Libog et al. (2023) evaluaron cómo el área de muestreo del pseudotallo de plátano

influye en las propiedades físicas y mecánicas de las fibras, encontrando densidades lineales que oscilan entre 25 y 34 tex. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar diversos factores, como el método de extracción y la variedad de plátano, al analizar la densidad lineal de las fibras.

#### a) Análisis estadístico

Previo al análisis de datos, se realiza la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk que revela que los datos de la variable densidad siguen una distribución normal, con un valor p de 0.2239, el cual es mayor al nivel de significancia utilizado (0.05). Esto sugiere que los datos cumplen con el supuesto de normalidad, lo que permite el uso de análisis estadísticos paramétricos. Adicionalmente, se realizó la prueba de homogeneidad de varianzas de Bartlett, donde reveló que las varianzas de la variable densidad son homogéneas entre los diferentes niveles del factor método, con un valor p de 0.5221, nuevamente mayor al nivel de significancia de 0.05. El resultado obtenido satisface otro de los supuestos importantes para la aplicación de análisis de varianza (ANOVA).

Finalmente, estos hallazgos respaldan la validez de los análisis estadísticos paramétricos que se realizaron posteriormente para comparar las medias de densidad entre los diferentes métodos.

**Tabla 14:** Resultados del ANOVA de la densidad lineal

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Pr(>F)
Método	3	77.7	25.898	4.811	0.02
Error	12	64.6	5.383		

*Nota.* La tabla muestra los resultados del ANOVA, indicando una diferencia estadísticamente significativa entre los métodos de extracción comparados en cuanto a la densidad lineal de la fibra de plátano.

En la tabla 14, se muestra el resultado del análisis de varianza que muestra diferencias estadísticamente significativas en la variable densidad entre los diferentes métodos. El valor p (0.02) indica que al menos en uno de los métodos existe diferencia significativa en los resultados obtenidos de la densidad lineal. Por ende, al menos un método tiene un efecto en la densidad. Los resultados del ANOVA permiten rechazar la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna.

**Tabla 15:** Resumen de la comparación múltiple de la prueba Tukey

Método	D. medias	L. inferior	L. superior	Valor p ajustado
Físico - Biológico	5.8375	0.9667054	10.7082946	0.0178765
Mixto-Biológico	2.775	-2.0957946	7.6457946	0.3693234
Químico - Biológico	1.0925	-3.7782946	5.9632946	0.9078697
Mixto-Físico	-3.0625	-7.9332946	1.8082946	0.2917818
Químico - Físico	-4.745	-9.6157946	0.1257946	0.0570569
Químico - Mixto	-1.6825	-6.5532946	3.1882946	0.7382502

*Nota.* La tabla muestra un resumen de la comparación entre los métodos de extracción (físico, biológico, químico y mixto) en cuanto a la densidad lineal de la fibra de plátano.

En la tabla 15, se muestra los resultados obtenidos con la prueba de Tukey, revelando que el método físico presenta una densidad lineal significativamente mayor que el método biológico, lo que sugiere que el método biológico es más efectivo para lograr una menor densidad lineal de las muestras. La diferencia más notable se observa entre los métodos físico y biológico, con una diferencia de medias de 5.8375 y un valor p ajustado de 0.0178765. Esto indica que la densidad lineal de las fibras de pseudotallo de plátano obtenidas mediante el método físico es significativamente mayor que la finura de las muestras obtenidas por el método biológico. Por otro lado, las diferencias entre los métodos mixto-biológico, químico-biológico, mixto-físico y químico-físico no son estadísticamente significativas, puesto que presentan valores p ajustados superiores a 0.05. Sin embargo, la diferencia entre los métodos químico y físico se aproxima a ser significativa, con un valor p ajustado de 0.0570569.

Los resultados sugieren que el método biológico es el más efectivo para lograr una menor densidad en las fibras, en comparación con el método físico; por otro lado, en los métodos mixto y químico, los valores se aproximan al método biológico. Esto puede deberse a diferencias en los procesos de tratamiento de las fibras después de la extracción empleados. En resumen, la eficiencia del método biológico es mayor para alcanzar una menor densidad lineal y finura en las fibras.

### 4.3. EVALUAR EL EFECTO DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FIBRA DEL PSEUDOTALLO DE PLÁTANO

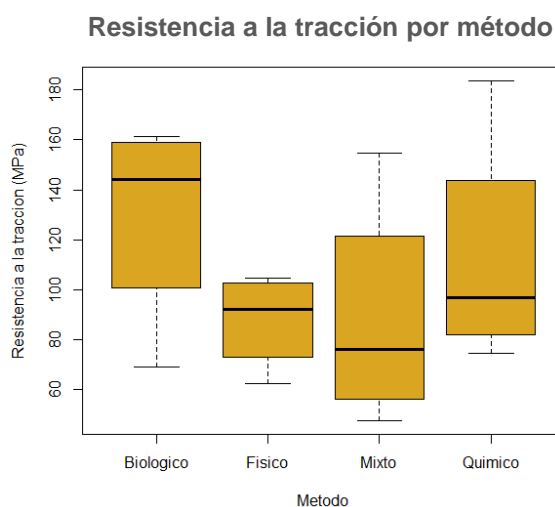
Los resultados de la evaluación de la resistencia a la tracción de la fibra del pseudotallo de la fibra de plátano se muestra en el anexo 3.

**Tabla 16:** Resumen del análisis descriptivo de la resistencia a la tracción

Método	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Rango	Unidad
Biológico	129.82	144.33	69.15	161.48	92.33	MPa
Físico	87.92	92.19	62.54	104.75	42.21	MPa
Mixto	88.75	76.28	47.77	154.65	106.88	MPa
Químico	112.93	96.71	74.74	183.57	108.83	MPa

*Nota.* La tabla muestra la comparación de media y mediana de los métodos de extracción en la resistencia a la tracción de fibra de plátano.

Los resultados descriptivos de la resistencia a la tracción de la fibra del pseudotallo de plátano, presentados en la tabla 16, indican que el método biológico es el más efectivo, con una media de 129.82 MPa y una mediana de 144.33 MPa, además de un rango de valores de 92.33 MPa, lo que sugiere una mayor variabilidad en los resultados obtenidos. En contraste, el método físico muestra la menor media de resistencia a la tracción, con un valor de 87.92 MPa. Los métodos mixto y químico presentan valores intermedios, con medias de 88.75 MPa y 112.93 N MPa, respectivamente. Estos hallazgos sugieren que el método biológico no solo proporciona la mayor resistencia a la tracción, sino que también podría ser la opción más efectiva para obtener fibras del pseudotallo de plátano.



**Figura 13.** Diagrama de cajas de la evaluación de la resistencia a la tracción

En la figura 13, se muestra un diagrama de cajas de la resistencia a la tracción de la fibra según el método de extracción aplicado, donde el método biológico presenta los valores más altos y uniformes de resistencia a la tracción, mientras que los métodos físico, mixto y químico muestran resistencias más bajas y con mayor variabilidad. Por lo tanto, el método biológico parece ser el más efectivo para mejorar las propiedades mecánicas de la fibra de plátano.

Los resultados obtenidos del método físico mostraron una resistencia a la tracción de 87.91 MPa, lo que indica que su capacidad para soportar tensión es relativamente baja en comparación con los demás métodos. Este hallazgo coincide con lo señalado por Carneiro et al. (2024) y Montoya (2024), quienes afirman que la extracción mecánica tiende a dañar las fibras, produciendo materiales con defectos que resultan en una menor resistencia a la tracción. Montoya (2024) también reporta que el proceso de extracción mecánica reduce significativamente la resistencia a la tracción, con un resultado de  $232.40 \pm 88.86$  MPa, que es considerablemente superior a lo obtenido en esta investigación. Por otro lado, Carneiro et al. (2024) mencionan que la extracción manual de la fibra genera menos daños, reportando una resistencia a la tracción de 329.06 MPa para la extracción manual, en contraste con 198.06 MPa para la extracción mecánica, lo que resalta la importancia de elegir el método de extracción adecuado para maximizar la resistencia a la tracción de las fibras.

Los resultados del método biológico indican que la resistencia a la tracción de las fibras alcanzó 129.82 MPa, lo que sugiere que las enzimas actúan de manera favorable, aumentando la resistencia a la tracción de las fibras. Sin embargo, Souza et al. (2020) reportaron una resistencia a la tracción elevada de  $583.46 \pm 302.26$  MPa, mientras que Gonzáles (2019) presentó un valor notablemente más alto de 1238.25 MPa. Además, Chengoué et al. (2020) reportó resistencia a la tracción de 816.6 MPa. En contraste, Delgado et al. (2022) encontraron una resistencia a la tracción de solo 30.52 MPa, y Sharma & Wadhwa (2023) reportaron un valor aún más bajo de 3.85 MPa. Estos datos resaltan la variabilidad en los métodos y sus efectos sobre la resistencia a la tracción de las fibras, sugiriendo que el método biológico, aunque efectivo, presenta resultados inferiores en comparación con algunos métodos de extracción manual.

Los resultados del método químico mostraron una resistencia a la tracción de 112.93 MPa, lo que indica que, aunque es menos efectivo que el método biológico, sigue siendo un método viable para mejorar las características de la fibra. Este valor es notablemente superior a los resultados obtenidos por Ruangnarong et al. (2024), quienes alcanzaron una resistencia a la tracción de 60.69 MPa, y se asemeja a lo reportado por Subagyo & Chafidz (2020), que encontraron un rango de resistencia de 54 a 754 MPa. Sin embargo, Mejía et al. (2012) señalan que el método químico puede disminuir la resistencia a la tracción de la fibra, mostrando diferencias significativas en las fibras extraídas mecánicamente, con valores que varían de 222.3 a 780.3 MPa para las fibras sin tratar y de 148.1 a 536.2 MPa para las fibras tratadas. Por otro lado, Brindha et al. (2012) y Adeniyi et al. (2020) concluyen que el tratamiento químico con NaOH puede mejorar la calidad de la fibra hasta en un 160% en términos de propiedades mecánicas. Estos hallazgos sugieren que, aunque el método químico puede tener efectos variables, puede ser una opción efectiva para optimizar las características de la fibra, dependiendo del método y las condiciones aplicadas.

Los resultados del método mixto revelaron una resistencia a la tracción de 88.74 MPa. Sin embargo, (Balakrishnan et al., 2021), al evaluar la resistencia a la tracción en fibras individuales, encontraron que para la variedad Ambun el rango es de 273 a 270 gf, mientras que para la variedad Pawalu es de 270 a 271 gf. Esta variabilidad es similar a los resultados obtenidos por Balakrishnan et al. (2019), quienes reportaron que las fibras tratadas con el método mixto mostraron una fuerza de tracción máxima 2.93 N. Por otro lado, Libog et al. (2023) encontraron un promedio de resistencia de 91 a 350 MPa, afirmando que la resistencia de las fibras varía en función de la parte de la planta de donde se extraen. Estos hallazgos destacan la importancia de los métodos y la selección de la materia prima en la optimización de las propiedades mecánicas de la fibra.

#### **a) Análisis estadístico**

De acuerdo a los resultados de las pruebas estadísticas realizadas, en la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de la variable respuesta “Resistencia a tracción”, se obtuvo un valor p de 0.2108, el cual es superior al nivel de significancia de 0.05. Esto indica que rechazamos la hipótesis alterna y aceptamos

la hipótesis nula de normalidad de los datos. De modo que se puede asumir que la variable "Resistencia a la tracción" sigue una distribución normal.

Por otro lado, la prueba de Bartlett realizada para evaluar la homogeneidad de varianzas entre los diferentes métodos (biológico, físico, mixto y químico) arroja un valor p de 0.5288, el cual también es mayor al nivel de significancia de 0.05. Esto significa que no se puede rechazar la hipótesis nula de igualdad de varianzas entre los grupos. En otras palabras, se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Estos resultados son favorables para la aplicación de análisis estadísticos paramétricos, como, por ejemplo, un ANOVA de un factor, ya que se cumplen los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

**Tabla 17:** Resultados del ANOVA para la resistencia a la tracción

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Pr(>F)
Método	3	4940	1647	0.979	0.44
Error	12	20188	1682		

*Nota.* La tabla muestra los resultados del ANOVA, indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los métodos de extracción comparados en cuanto a la resistencia a la tracción en la fibra de plátano.

De acuerdo a la tabla 17, se presenta el análisis de varianza para la resistencia a la tracción; se toma la siguiente decisión: dado que el p-valor es mayor a 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas en la resistencia a la tracción de la fibra del pseudotallo de plátano entre los diferentes métodos evaluados.

En otras palabras, los resultados del ANOVA indican que no existe evidencia estadística suficiente para afirmar que el tratamiento aplicado tiene un efecto significativo sobre la resistencia a la tracción de las fibras obtenidas.

Por lo tanto, se concluye que, a un nivel de confianza del 95%, los métodos biológico, físico, mixto y químico no presentan diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la resistencia a la tracción de las fibras del pseudotallo de plátano.

**Tabla 18:** Resumen de la comparación múltiple de la prueba Tukey

Método	D. de medias	L. inferior	L. superior	Valor p ajustado
Físico - Biológico	-41.905	-128.01141	44.20141	0.4974521
Mixto - Biológico	-41.0775	-127.18391	45.02891	0.5134158
Químico - Biológico	-16.89	-102.99641	69.21641	0.9354996
Mixto - Físico	0.8275	-85.27891	86.93391	0.9999912
Químico - Físico	25.015	-61.09141	111.12141	0.8237328
Químico - Mixto	24.1875	-61.91891	110.29391	0.8374227

*Nota.* La tabla muestra un resumen de la comparación entre los métodos de extracción (físico, biológico, químico y mixto) en cuanto a la resistencia a la tracción de la fibra de plátano.

En la tabla 18, se presentan los resultados de la prueba de Tukey, el cual reveló que no existen diferencias estadísticamente significativas entre ninguna de las comparaciones realizadas. Esto sugiere que los métodos evaluados tienen efectos similares en las propiedades analizadas, ya que todos los valores p ajustados son mayores al nivel de significancia de 0.05. Específicamente, la mayor diferencia en la resistencia a la tracción se observa entre el método físico y el biológico, con una diferencia de medias de -41.905 MPa. Sin embargo, esta diferencia no es lo suficientemente grande como para ser considerada estadísticamente significativa. Además, los intervalos de confianza al 95% para todas las comparaciones incluyen el valor cero, lo que refuerza la conclusión de que no hay diferencias significativas entre los métodos.

En resumen, a pesar de que el método biológico presenta la mayor media de resistencia a la tracción (129.82 MPa), esta diferencia no es estadísticamente significativa en comparación con los otros métodos evaluados. Por lo tanto, no se puede afirmar que un método en particular tenga una resistencia a la tracción significativamente mayor que los demás.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

1. Se evaluó la influencia de los métodos de extracción en las propiedades físicas y mecánicas de la fibra extraída del pseudotallo de plátano. Los resultados indican que los métodos influyen significativamente en las propiedades físicas y mecánicas de la fibra.
2. Se logró la elaboración de una desfibradora mecánica a fin de extraer la fibra del pseudotallo de plátano. A partir de 81.038 kg de materia prima, se obtuvo un total de 1.347 kg de fibra, lo que resulta en una eficiencia de extracción del 1.8%. La extracción mecánica demostró ser eficiente, ya que no solo reduce el tiempo y el esfuerzo requeridos en el proceso, sino que también produce mayor cantidad de fibras.
3. Al evaluar las propiedades físicas de la fibra de plátano, se observó que los diferentes métodos de extracción a los que fueron sometidas las fibras afectan significativamente la finura de la fibra y la densidad lineal. El método mixto se destaca por producir la fibra con el menor diámetro, alcanzando 98.10  $\mu\text{m}$ ; esto sugiere una mayor calidad y potencial para aplicaciones que requieren fibras finas. En cuanto a la densidad lineal, el método biológico es el más efectivo en comparación con los demás, de modo que la selección del método de extracción afecta las propiedades físicas de la fibra, lo que es crucial para su utilización en diversas aplicaciones industriales.
4. Se evaluó la resistencia a la tracción de las fibras de plátano sometidas a los diferentes métodos de extracción, y se concluye que los métodos aplicados no influyen significativamente en sus propiedades mecánicas; a pesar de que el

método biológico presenta la mayor media de resistencia a la tracción (129.82 MPa), esta diferencia no es estadísticamente significativa en comparación con los otros métodos evaluados. Por lo tanto, no se puede afirmar que un método en particular tenga una resistencia a la tracción significativamente mayor que los demás.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda llevar a cabo un estudio de comparación entre los métodos de extracción manual, mecánico y demás métodos, y su efecto en las propiedades físicas, mecánicas, químicas, y antibacterianas de la fibra extraída del pseudotallo de plátano.
2. Se recomienda extraer las fibras del pseudotallo de plátano lo más pronto posible, preferiblemente dentro de un plazo máximo de dos días después de cortar el pseudotallo. Esta práctica ayudará a obtener fibras más blancas y de mejor calidad.
3. Realizar estudios e investigaciones más específicos sobre los métodos aplicados en el estudio, considerando factores como la concentración del insumo y el tiempo de aplicación. Asimismo, efectuar investigaciones relacionadas con diferentes especies de Musa en la región, comparando las propiedades físicas y mecánicas.
4. Explorar aplicaciones de la fibra extraída del pseudotallo en diferentes industrias, como la fabricación de textiles sostenibles, refuerzos en concreto, componentes para la industria automotriz, materiales compuestos, entre otros. Se destaca su potencial como alternativa ecológica en el mercado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdallah, K. (2024). Fibra de plátano: fabricación, propiedades y composición. Retrieved June 27, 2025, from <https://longwayeducation.com/2024/01/20/banana-fiber-manufacturing-properties-and-composition/>
- Abril, A. (2022). Elaboración de hilo en base a la fibra de banano obtenida de los residuos de pseudotallos de las producciones bananeras del Ecuador para aplicación textil [Universidad de Chile.]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/191455>
- Adeniyi, A. G., Onifade, D. V, Ighalo, J. O., Abdulkareem, S. A., & Amosa, M. K. (2020). Extraction and Characterization of Natural Fibres from Plantain (*Musa paradisiaca*) Stalk Wastes. *Iranian Journal of Energy and Environment*, 11(2), 116–121. <https://doi.org/10.5829/ijee.2020.11.02.04>
- AgroPerú. (2023a). Inacal aprueba requisitos de calidad del plátano para mejorar su comercialización y consumo. *Agroperú Informa*. <https://www.agroperu.pe/inacal-aprueba-requisitos-de-calidad-del-platano-para-mejorar-su-comercializacion-y-consumo/>
- AgroPerú. (2023b). Perú exportó banano por \$59 millones en el primer semestre de 2023. *Agroperú Informa*. <https://www.agroperu.pe/peru-exporto-banano-por-59-millones-en-el-primer-semester-de-2023/>
- Ahmad, F., Choi, H., & Park, M. (2015). A review: Natural fiber composites selection in view of mechanical, light weight, and economic properties. *Macromolecular Materials and Engineering*, 300(1), 10–24. <https://doi.org/10.1002/mame.201400089>
- Alvarado, B., & Delgado, J. (2023). Diseño del proceso productivo para la elaboración de fibra textil a partir del aprovechamiento de la hoja de piña. *Universidad Católica Andrés Bello*, 26, 12. <https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/index.php/tekhne/article/view/5713>
- Arias, F. (2012). El proyecto de investigación Introducción a la metodología científica (6th ed.). <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigacion-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>

- Arias, J., Villasís, M., & Miranda, M. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Anales de La Facultad de Medicina*, 8(2).  
<https://doi.org/10.25184/anfamed2021v8n2a9>
- Bacci, L., Baronti, S., Predieri, S., & di Virgilio, N. (2009). Fiber yield and quality of fiber nettle (*Urtica dioica* L.) cultivated in Italy. *Industrial Crops and Products*, 29(2–3), 480–484. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.09.005>
- Badanayak, P., Jose, S., & Bose, G. (2023). Banana pseudostem fiber: A critical review on fiber extraction, characterization, and surface modification. *Journal of Natural Fibers*, 20(1). <https://doi.org/10.1080/15440478.2023.2168821>
- Balakrishnan, S., Wickramasinghe, G. L. D., & Wijayapala, U. G. S. (2021). Investigation on mechanical and chemical properties of mechanically extracted banana fibre in pseudostem layers: From Sri Lankan banana (*Musa*) cultivation waste. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 16.  
<https://doi.org/10.1177/15589250211059832>
- Balakrishnan, S., Wickramasinghe, G., & Samudrika, U. (2019). Investigation on improving banana fiber fineness for textile application. *Textile Research Journal*, 89(21–22), 4398–4409. <https://doi.org/10.1177/0040517519835758>
- Bekele, A., Lemu, H., & Jiru, M. (2022). Experimental study of physical, chemical and mechanical properties of enset and sisal fibers. *Polymer Testing*, 106(November 2021). <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107453>
- Betancourt, D., Parra, N., Jiménez, A., & Noboa, S. (2023). Análisis textil : una aproximación a las fibras. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS.*, 5, 660–675.  
<https://www.editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/884>
- Bhatnagar, R., Gupta, G., & Yadav, S. (2015). A Review on Composition and Properties of Banana Fibers. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(5), 49–52. <https://www.researchgate.net/publication/367023462>
- Bocanegra, E., Gamboa, K., Luis, G., Marchena, F., Miranda, G., & Sánchez, R. (2018). Extracción, caracterización y tratamientos químicos de la fibra de pseudotallo de plátano. *Fibra de Pseudotallo de Plátano - Universidad Nacional de Trujillo*.  
<https://www.youtube.com/watch?v=Z5T9ftpbp8c>

- Bonilla, O., Trujillo, H., Guerra, S., Hugo, V., & López, C. (2009). Extracción y Caracterización de la fibra de la hoja de la Lengua de Suegra (*Sansevieria trifasciata*). *Revista Politécnica*, 30(1), 167–178.  
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5549/1/Omar-Bonilla.pdf>
- Brindha, D., Vinodhini, S., Alarmelumangai, K., & Malathy, N. (2012). Physico-Chemical Properties of Fibers From Banana Varieties After Scouring. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 2(1), 217–221.  
<http://www.cibtech.org/jls.htm>
- Calampa, C. (2000). Evaluacion de propiedades físicas y químicas de la fibra obtenido de la hoja de plátano (*Musa paradisiaca*) [Repositorio Academico de la Universidad de San Martín.]. In *Programas Academicos*.  
<https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/51>
- Calderón, V., Velasque, J., Lopez, H., Quispe, R., & Asto, R. (2022). Procedimiento para la obtencion de fibras textiles finas a partir del pseudotallo de platano. INDICOPI.  
<https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/081448224/publication/PE20220617A1?q=PE20220617A1>
- CamaraValencia. (2023). Residuos de plátano como material base para crear la fibra del futuro. Portal de Sostenibilidad.  
<https://negociosostenible.camaravalencia.com/ambiental/tendencias/residuos-de-platano-como-material-base-para-crear-la-fibra-del-futuro/>
- Carneiro, C., Lopes, P., & Toledo, R. (2024). Properties of banana fibers extracted using equipment from the sisal agro-industry Propriedades de fibras de bananeira extraídas em equipamento da agroindústria do sisal Propiedades de fibras de banano extraídas utilizando equipos de la agroindustria del. *Revista Caderno Pedagógico – Studies Publicações Ltda.* ISSN:, 1–24.  
<https://doi.org/10.54033/cadpedv21n9-084>
- Carrera, E. (2017a). Física textil: propiedades físicas para caracterizar la calidad de las fibras textiles. Universitat Politècnica de Catalunya.  
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/106313>

- Carrera, E. (2017b). Los retos sostenibilistas del sector textil. *Revista de Química e Industria Textil*, 220, 20–30. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/103614>
- Carrillo, K. (2018). Moda sustentable. *SENA-Sistema de Bibliotecas*, 2(1), 25–35. <https://doi.org/10.23850/25907441.1663>
- Castillo, S. (2022). Ficha técnica del Plátano. In APEOSAE. APEOSAE (Asociación de pequeños exportadores agropecuarios orgánicos de la Amazonía Ecuatoriana). <http://www.apeosae.com/wp-content/uploads/2022/12/ficha-tecnica-del-platano-apeosae.pdf>
- Castro, H., Contreras, E. J., & Rodríguez, J. P. (2020). Análisis ambiental: impactos generados por los residuos agrícolas en el municipio del Dorado (Meta, Colombia). *Espacios*, 41(38), 42–50. <https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n38p05>
- CENTA. (2018). Cultivo de plátano (*Musa paradisiaca*). Programa de frutales y cacao. Ministerio de Agricultura y Ganadería de el Salvador. (Centro Nacional De Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova” (ed.)).
- Chattopadhyay, R., Sinha, S. K., & Regar, M. L. (2023). Introduction: textile manufacturing process. In *Textile Calculation: Fibre to Finished Garment* (pp. 1–12). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99041-7.00008-4>
- Chaves, D., Araújo, J., Gomes, C., Gonçalves, S., Figueiro, R., & Ferreira, D. (2024). Extraction, characterization and properties evaluation of pineapple leaf fibers from Azores pineapple. *Heliyon*, 10(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26698>
- Chengoué, A. M., Tchotang, T., Fokam, C. B., & Kenmeugne, B. (2020). Influence of extractions techniques on the physico-mechanical properties of banana pseudo-stem fibers. *Journal of Materials and Environmental Science*, 11(7), 1121–1128.
- Chi, T. C., Hoa, T. T. P., Dai, V. H., & Tinh, P. Van. (2023). Design and Manufacture a Banana Fiber Extraction Machine for Small and Medium-Scale Handicraft Production. *Journal of Forestry Science and Technology*, 15(15), 148–157. <https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.2023.15.148-157>
- Chiappe, S. (2019). *Musa : fibra de plátano*. Universidad de los Andes. <http://hdl.handle.net/1992/45661>

- Cifuentes, W., & Cifuentes, E. (2019). Propuesta de aprovechamiento de la fibra de plátano en la Región del Ariari departamento del Meta (Vol. 1, Issue 1) [Universidad Pontificia Bolivariana].  
<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/4925>
- CITE Agroindustrial. (2023). Aprovechamiento plátano: fibra y del cultivo de de subproductos celulosa vegetal.  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5304100/4760251-boletin-vei-ec001-2023-aprovechamiento-de-subproductos-del-cultivo-de-platano.pdf>
- Collazos, S., & Pinzón, L. (2022). Propuesta De Aprovechamiento Del Pseudotallo O Vástago De Plátano Para Fabricar Fibras Textiles En Colombia [Fundación Universidad de América].  
<https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8800>
- Delgado, M., & Vidal, D. (2021). Aprovechamiento del residuo del cultivo de banano (Musa Paradisiaca, Musa Sapientum y Musa Acuminata) en la producción artesanal de fibra textil. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. <https://repositorio.esпам.edu.ec/handle/42000/1642>
- Delgado, M., Vidal, D., & Delgado, C. (2022). Evaluation of the physical properties of banana pseudostem for textile application. *Visions for Sustainability*, 19.  
<https://doi.org/10.13135/2384-8677/7061>
- España, J. (2020). Las fibras vegetales: materiales ancestrales para un futuro sostenible en el desarrollo de productos. *Cuadernos Del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*, 87, 221–237. <https://doi.org/10.18682/cdc.vi87.3767>
- Espín, L., & Tello, J. (2015). Diseño y construcción de una desfibradora de hojas y pseudotallos para obtener material lignocelulósico a utilizar como refuerzos de polímeros. Escuela Politécnica Nacional.
- Fernández, C. (2019). El territorio de Puno donde los cultivos ilícitos de coca se expanden de manera alarmante. *El Comercio*.  
<https://elcomercio.pe/peru/puno/territorio-puno-cultivos-ilicitos-hoja-coca-manera-alarmante-noticia-ecpm-674963-noticia/>

- Fineotex. (2023). ¿Qué son los agentes humectantes químicos en los textiles y cuáles son sus funciones? [https://fineotex.com/helpie\\_faq/what-are-wetting-agent-chemicals-in-textile-and-what-are-the-functions-of-wetting-agent-chemicals-in-textile/](https://fineotex.com/helpie_faq/what-are-wetting-agent-chemicals-in-textile-and-what-are-the-functions-of-wetting-agent-chemicals-in-textile/)
- Fonseca, L., Elisa de Paula, M., Garavello, E., Baruque, J., Kohan, L., Oliveira, L., Beserra, P., Uhlig, M., & Fangueiro, R. (2022). Fibras del Pseudotallo de Plátano (*Musa sp.* —cultivar AAB Prata): Características Fisicoquímicas. *Materials Circular Economy*, 4(1). <https://link.springer.com/article/10.1007/s42824-022-00062-6>
- Gomez, T. S., Zuluaga, S., Salazar, M. C., Peñuela, A. F., & Fernández, 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 (Enero-Junio)), 1–10. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5255>
- González, Y. (2019). Determinación de las propiedades mecánicas de las fibras de pseudotallo de plátano Cavendish [Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/40809>
- Google Maps. (2025). San Pedro de Putina Punco. <https://maps.app.goo.gl/njhsWu76PbLAKax78>
- Gutierrez, H., & Salazar, R. (2008). Análisis y diseño de experimentos. In McGraw-Hill (Segunda ed). mcgraw-hill/interamericana. <https://doi.org/10.3906/sag-1507-147>
- Haro, A., Borja, A., & Triviño, S. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. *Dominio de Las Ciencias*, 3(2), 506–525. <http://dx.doi.org/10.23857/dom.cien.pocaip.2017.3.2.esp.506-525>  
URL:<http://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/index%0ACiencias>
- Hendriksz, V. (2017). Innovación en Textiles Sustentables: Banana Fibre. FASHION UNITED. <https://fashionunited.es/noticias/moda/innovacion-en-textiles-sustentables-banana-fibre/2017090824373>

- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación (McGraw-Hill (ed.)).  
<https://academia.utp.edu.co/grupobasicoclinicayaplicadas/files/2013/06/Metodologia-de-la-Investigacion.pdf>
- Ho, M. P., Wang, H., Lee, J. H., Ho, C. K., Lau, K. T., Leng, J., & Hui, D. (2012). Critical factors on manufacturing processes of natural fibre composites. *Composites Part B: Engineering*, 43(8), 3549–3562.  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.10.001>
- Horrocks, A., & Anand, S. (2000). *Handbook of Technical Textiles Woodhead Publishing Series in Textiles*. Elsevier.  
[https://books.google.es/books?id=JBGkAgAAQBAJ&lpg=PA372&ots=v58GtXj\\_kM&dq=Pritchard.M%2C Robert W Sarsby. R%2C A. S. \(2000\). &lr&hl=es&pg=PA372#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=JBGkAgAAQBAJ&lpg=PA372&ots=v58GtXj_kM&dq=Pritchard.M%2C Robert W Sarsby. R%2C A. S. (2000). &lr&hl=es&pg=PA372#v=onepage&q&f=false)
- Huallpa, E. (2018). Comparación de la calidad de tejidos textiles obtenidos de residuos de hojas de piña de variedades de Golden, Hawaiana y Samba, Junín 2018”. In UCV. Universidad Cesar Vallejo.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/34892>
- Huamani, P., Barreda, N., Bernal, C., & Tinoco. (2022). *Introducción a la ingeniería textil y confecciones proceso textil en planta seca (1st ed.)*. Tinoco Gómez, Oscar Rafael. <http://isbn.bnpp.gov.pe/catalogo.php?mode=detalle&nt=134755>
- InfoAgronomo. (2020). *Guía de manejo de banano organico*.
- Instron. (2023). *Ensayo de tracción*. <https://www.instron.com/es-ar/resources/test-types/tensile-test>
- Jácome, C. R., Carrillo, J. D., Taco, N. M., & Pasto, M. V. (2023). Obtención de fibras textiles a partir de residuos orgánicos: Obtaining textile fibers from organic waste. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(1), 1504–1517.  
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ia/article/view/7879/8550>
- Karimah, A., Ridho, M. R., Munawar, S. S., Adi, D. S., Ismadi, Damayanti, R., Subiyanto, B., Fatriasari, W., & Fudholi, A. (2021). A review on natural fibers for development of eco-friendly bio-composite: characteristics, and utilizations.

Journal of Materials Research and Technology, 13, 2442–2458.

<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.06.014>

Kashyap, D. R., Vohra, P. K., Chopra, S., & Tewari, R. (2001). Applications of pectinases in the commercial sector: A review. *Bioresource Technology*, 77(3), 215–227. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00118-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00118-8)

Khan, M. F. (2025). Recent Advances in Microbial Enzyme Applications for Sustainable Textile Processing and Waste Management.

Koepfel, D. (2008). The Biology of *Musa L.* ( banana ). Australian Government Office of the Gene Technology Regulator. [https://bangladeshbiosafety.org/wp-content/uploads/2017/06/Biology\\_of\\_Banana\\_Au.pdf](https://bangladeshbiosafety.org/wp-content/uploads/2017/06/Biology_of_Banana_Au.pdf)

Li, D. (Xuedong). (2020). Fundamental of fibers. *Cut Protective Textiles*, 59–110. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820039-1.00003-1>

Libog, L., Biyeme, F., Betené, A. D. O., Biwolé, A. B., Ndiwe, B., Mbang, J. P. E., Claude, T., Mbey, J. A., & Meva'a, J. R. L. (2023). Influence of the Extraction Location on the Physical and Mechanical Properties of the Pseudo-Trunk Banana Fibers. *Journal of Natural Fibers*, 20(2). <https://doi.org/10.1080/15440478.2023.2204451>

Lockuán, F. (2013). *Fibras Textiles: Vol. 0.1.*

[https://issuu.com/fidel\\_lockuan/docs/iii.\\_la\\_industria\\_textil\\_y\\_su\\_control\\_de\\_calidad](https://issuu.com/fidel_lockuan/docs/iii._la_industria_textil_y_su_control_de_calidad)

Lozano, A., & López, E. (2001). Endopoligalacturonasa y pectinesterasa de *Aspergillus Niger*. *Revista Colombiana De Biotecnología*, 2, 85–91. <https://dialnet.unirioja.es>

Macías, A., Hurtado, J. R., Cedeño, D. M., Vite, F. A., Scott, M. M., Vallejo, P. A., Macías, A., Sornoza, J. W., Macías, M. J., Ubillús, S. P., Arteaga, S. X., Torres, O. E., Pigüave, J. M., Mera, L. A., Chavarría, D. I., & Intriado, K. J. (2018). *Introducción al estudio de la bioquímica.*

Maila, M., Galarza, L., Pillajo, P., & Rocío, J. (2025). Impacto ambiental y sostenibilidad del uso de Fibra de Musa en la industria textil. 4(1), 27–45.

Manrique, A., & Rivera, D. (2012). Aprovechamiento de los Residuos del Pseudotallo del banano común (*Musa sp AAA*) y del Bocado ( *Musa spAA*) para la

- extracción de fibras textiles. Universidad Tecnológica de Pereira.  
<https://repositorio.utp.edu.co/items/0753b04e-46ac-4c1f-ad5f-f89f57dffac6>
- Maseko, K. H., Regnier, T., Meiring, B., Wokadala, O. C., & Anyasi, T. A. (2024). Musa species variation, production, and the application of its processed flour: A review. *Scientia Horticulturae*, 325(August 2023), 112688.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112688>
- Mejía, F., Rodríguez, R., & Olaya, J. (2012). The influence of alkali treatment on banana fibre 's mechanical properties. *Ingenieria e Investigacion*, 32(1), 5.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64323227015>
- MIDAGRI. (2021). ITPProducción-San Pedro de Putina Punco. <https://data-peru.itp.gob.pe/profile/geo/san-pedro-de-putina-punco>
- MINAGRI. (2015). Requerimientos agroclimático del cultivo de plátano (p. 2). Ministerio de Agricultura y Riego. <http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/ficha16-platano.pdf>
- Mogollón, P., & Jácome, K. (2020). Productos textiles sustentables y su uso consciente en la sociedad. *Revista de Investigación Científica*, 3(1), 12.  
<https://www.tsachila.edu.ec/ojs/index.php/TSEDE/article/view/36/38>
- Montoya, L. (2024). 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. [Universidad Tecnica De Babahoyo].  
<http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/3447>
- Moreno, D., & Neusa, J. (2021). Evaluación para la obtención de una fibra textil a partir de pseudotallo de plátano (Issue July). Fundación Universidad de América.  
<http://52.0.229.99/handle/20.500.11839/8317>
- Moyón, G., & Suntaxi, J. (2023). Diseño y construcción de un prototipo de máquina desfibradora semiautomática de *Fuercraea andina* (cabuya blanca) para el sector artesanal del Cantón Guano. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/20346>
- Navarro, J., Moral, R., Gómez, I., & Mataix, J. (1995). Residuos orgánicos y agricultura. (Issue January). <https://www.researchgate.net/profile/Jose-Navarro->

Pedreno/publication/235941169\_Residuos\_organicos\_y\_agricultura/links/02e7e515e8998b0bdb000000/Residuos-organicos-y-agricultura.pdf

Nayar, N. M. (2009). The Bananas: Botany, Origin, Dispersal. In *Horticultural Reviews* (Issue December). <https://doi.org/10.1002/9780470527238.ch2>

ONU. (2019). El costo ambiental de estar a la moda. 1–8. <https://news.un.org/es/story/2021/03/1490082>

Pachas, J. (2022). Break the Pattern: primera colección de alta costura de prendas recicladas del desierto de Atacama. *La República*. <https://especial.larepublica.pe/la-republica-sostenible/2022/09/26/break-the-pattern-primera-coleccion-de-alta-costura-de-prendas-recicladas-del-desierto-de-atacama-350>

Patel, B. Y., & Patel, H. K. (2022). Retting of banana pseudostem fibre using *Bacillus* strains to get excellent mechanical properties as biomaterial in textile & fiber industry. *Heliyon*, 8(9), e10652. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10652>

Pérez, Y. (2021). Efectos al ambiente y a tu salud de la industria textil. *Amigos Del Hígado A.C.*

Placet, V. (2009). Characterization of the thermo-mechanical behaviour of Hemp fibres intended for the manufacturing of high performance composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40(8), 1111–1118. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2009.04.031>

Priyadarshana, R., Kaliyadasa, P., Ranawana, S., & Senarathna, K. (2022). Biowaste Management: Banana Fiber Utilization for Product Development. *Journal of Natural Fibers*, 19(4), 1461–1471. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1776665>

Rahamaththulla, S., Premnath, S., Ravi, V., Madheswaran, S., & Jayakumar, N. (2018). Design & Fabrication of Banana Fiber Extracting Machine. *IJSRD-International Journal for Scientific Research & Development*, 6(May), 2321–0613. <https://www.researchgate.net/publication/333042263>

Rani, K., Jajpura, L., & Behera, B. K. (2019). Comfort Behavior of Unconventional Natural Fiber Based Union Fabrics. *Journal of Textile Science and Technology*, 05(04), 125–133. <https://doi.org/10.4236/jtst.2019.54011>

- Restrepo, H., Valencia, S., Villaseñor, E., Bedoyar, S., Valencia, D., & Ardila, A. (2021). Evaluación de la extracción de fibras de celulosa a partir de pseudotallos de banano con uso potencial en la industria papelera. *Biomass & Sustainability (REB&S)*, 3(1), 35–40.
- Rosero, J. (2023). Elaboración de hilo con fibras obtenidas del pseudotallo de la planta de plátano “Musa Paradisiaca” [Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14492>
- Ruangnarong, C., Khojimat, S., Srivorradatphisan, S., Panyathikun, N., & Chonsakorn, S. (2024). Evaluation of mechanically extracted banana fibers from pseudostem layers: A sustainable textile raw material. *Heliyon*, 10(21), e39880. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39880>
- Rukundo, A., Dass, P. M., & I.I., N. (2024). Study of Extraction, Treatment and Characterization of Pineapple Leaves Fibers as Potential Utility in Textile Industry. *Idosr Journal of Experimental Sciences*, 10(2), 60–76. <https://doi.org/10.59298/idosr/jes/102.6076.1124>
- Sánchez, P., Gago, C., & Alló, M. (2020). Moda sostenible y preferencias del consumidor. *3C Empresa. Investigación y Pensamiento Crítico*, 9(3), 39–57. [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/26345/1036-Texto del artículo-3458-1-10-20200810.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/26345/1036-Texto%20del%20articulo-3458-1-10-20200810.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Sandoval, J., & Müller, L. (1999). Anatomía y morfología de la planta de banano (*Musa AAA*). *Corbana*, 24(51), 43–60. <https://www.musalit.org/seeMore.php?id=6554>
- SENASA. (2020). Guía para la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) para el cultivo de plátano.
- Sharma, S., & Wadhwa, N. (2023). Characterization of Banana Fibers Extracted with Pectinase from *Staphylococcus sciuri*. *Current Applied Science and Technology*, 23(5), 1–12. <https://doi.org/10.55003/cast.2023.05.23.010>
- Souza, F., Gomes, C., Cunha, T., & Sánchez, R. (2020). Physical, Chemical, Mechanical, and Microstructural Characterization of Banana Pseudostem Fibers from *Musa Sapientum*. *Macromolecular Symposia*, 394(1), 1–8. <https://doi.org/10.1002/masy.202000052>

- Subagyo, A., & Chafidz, A. (2020). Banana Pseudo-Stem Fiber : Preparation , Characteristics , and Applications. *Banana Nutrition Function and Processing Kinetics*, 1–19. <https://www.intechopen.com/chapters/64570>
- Temitayo, A., Olugbemiga, O., Olufemi, O., Emmanuel, T., & Hussain, M. (2023). Banana pseudo stem fiber, hybrid composites and applications: A review. *Hybrid Advances*, 4, 100101. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100101>
- Termkla, R., Atcharyapitak, R., Ruttanaprasert, R., & Pitak, L. (2025). Development of a banana fiber extraction machine and factors affecting fiber quality for textile use. *Agricultural Engineering*, 2(3), 6. <https://doi.org/10.14456/abe.2025.15>
- Vargas, N., Villate, J., & Habran, N. (2021). Caracterización mecánica y determinación de la resistencia a la tracción de fibras de caña brava para uso en construcciones rurales. *Inventum*, 16(31), 78–84. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.16.31.2021.78-84>
- Velasque, J. (2024). Influencia de la enzima pectinasa y temperatura en la finura de las fibras textiles obtenidas de *Musa Paradisiaca L* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/10856>
- Villegas, C., & Gonzáles, B. (2013). Fibras textiles naturales sustentables y nuevos hábitos de consumo. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, 17, 31–45. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477947372003>
- Yue, L., Yang, G., Chun, H., Shiquan, W., Yuan, L., & Dong, L. (2024). Mechanical research and optimization of banana stalk fiber extraction. 4430, 4–7. <https://www.scielo.br/j/eagri/a/tS9xRk3PrG7vwQP76xj8sSc/?format=html&lang=en>
- Zhapán, M., & Mosquera, J. (2019). Obtención de fibras textiles a partir de residuos agrícolas (Vol. 53, Issue 9). <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9144/1/14788.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO 1. Ficha de observación de la recolección de pseudotallos

Ficha de observación de recolección de pseudotallos						
Título de proyecto	Caracterización de la fibra extraída del pseudotallo de plátano (musa x paradisiaca): evaluación de propiedades físicas y mecánicas, San Pedro de Putina Punco, Sandia – 2024					
Responsables:	Rony Brayan Coaquira Yessica Sucaticona	Fecha:		21, 22 y 23 de setiembre del 2024		
Lugar	San Pedro de Putina Punco, Sandia y Juliaca					
N° pseudotallo	Altura (m)	Peso inicial (Kg)	Vainas desechadas (unidades)	Peso final (Kg)	Vainas útiles (unidades)	Vainas internas desechadas (unidades)
01	3.15	21	12	13.017	16	3
01		12	8	9.097	15	2
01		8	10	4.979	9	1
01		6.5	10	3.062	4	1
02	3.95	13	5	14.427	18	2
02		10	6	8.380	16	2
02		8	6	6.687	16	1
02		6	6	4.184	8	1
03	3.60	20	5	15.535	15	2
03		12	6	10.001	15	2
03		7	9	5.449	10	1
04	4	18	6	14.727	21	2
04		10	6	9.756	21	1
04		9	-	3.773	5	2

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 2. Ficha de recolección de datos para el rendimiento de extracción

<b>Ficha de recolección de datos para el rendimiento de extracción</b>				
Título de proyecto	Caracterización de la fibra extraída del pseudotallo de plátano (musa x paradisiaca): evaluación de propiedades físicas y mecánicas, San Pedro de Putina Punco, Sandia – 2024			
Responsables:	Rony Brayan Coaquira Yessica Sucaticona	Fecha:	22,23 y 24 de setiembre 2024	
Lugar:	Juliaca, provincia de San Román			
N°	Cod. Muestra	Peso inicial (Kg)	Peso P. central (Kg)	Peso parte útil (Kg)
1	P1	13.017	3.635	9.382
2	P2	9.097	2.192	6.905
3	P3	4.979	1.547	3.432
4	P4	3.062	1.795	1.267
5	P5	14.427	2.226	12.201
6	P6	8.380	2.162	6.218
7	P7	6.687	1.428	5.259
8	P8	4.184	1.491	2.693
9	P9	15.535	3.334	12. 201
10	P10	10.001	2.403	7.598
11	P11	5.449	1.785	3.664
12	-P12	14.727	3.028	11.699
13	P13	9.756	1.931	7.825
14	P14	3.773	2. 079	1.694

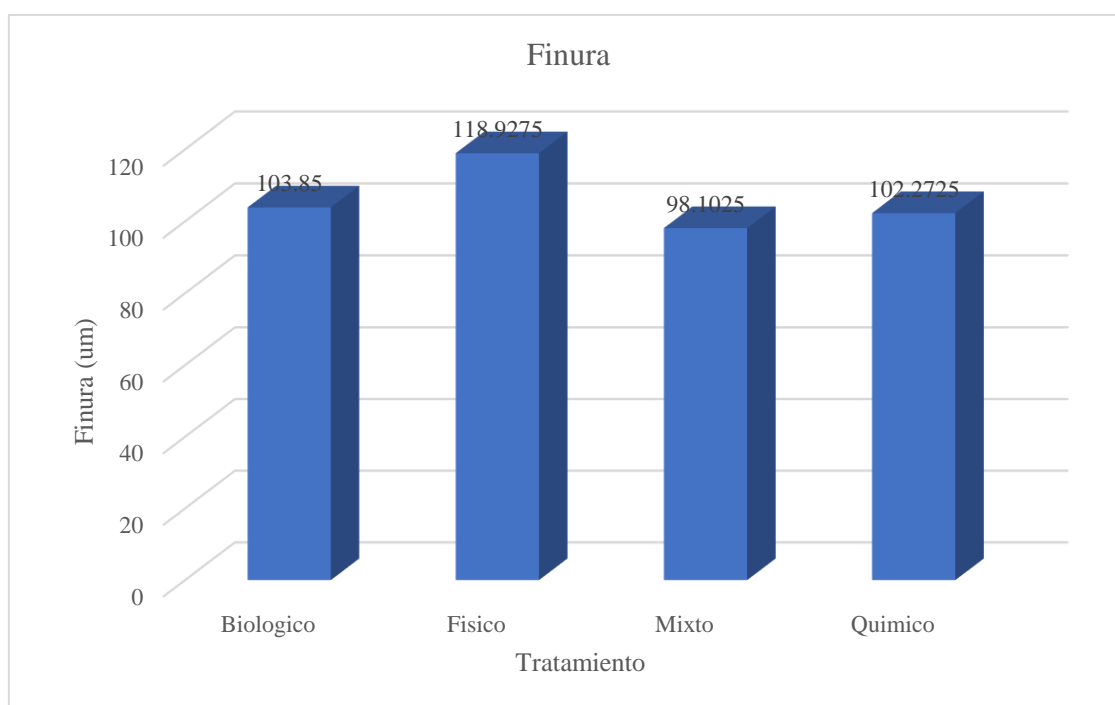
FUENTE: Elaboración propia

### ANEXO 3. Resumen de resultados obtenidos de las evaluaciones

N°	Tratamiento	Finura (um)	Densidad lineal (tex)	Resistencia a la tracción (MPa)
M1	Químico	103.67	8.23	183.57
M2	Químico	105.22	12.32	104.01
M3	Químico	98.01	14.58	74.74
M4	Químico	102.19	13.39	89.41
M5	Biológico	106.07	7.99	69.15
M6	Biológico	103.56	9.06	161.48
M7	Biológico	107.21	13.88	132.46
M8	Biológico	98.56	13.22	156.20
M9	Mixto	98.92	15.35	154.65
M10	Mixto	94.19	12.6	88.07
M11	Mixto	97.33	13.23	47.77
M12	Mixto	101.97	14.07	64.49
M13	Físico	122.67	17.08	83.66
M14	Físico	115.3	18.07	100.72
M15	Físico	117.84	18.3	104.75
M16	Físico	119.9	14.05	62.54

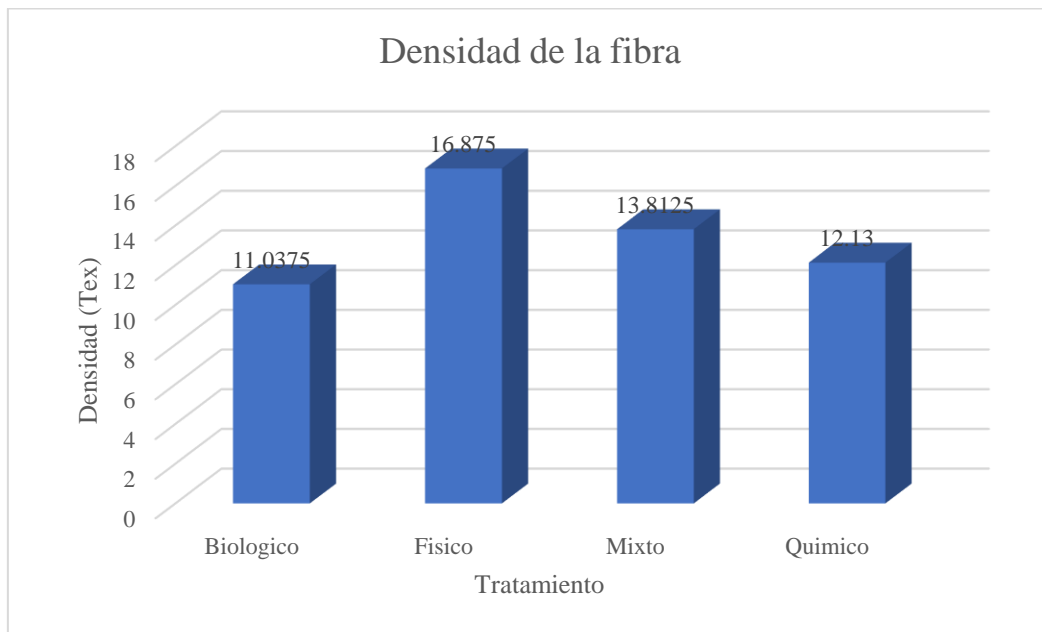
FUENTE: Elaboración propia

### ANEXO 4. Gráfico de medias de la finura por método de extracción



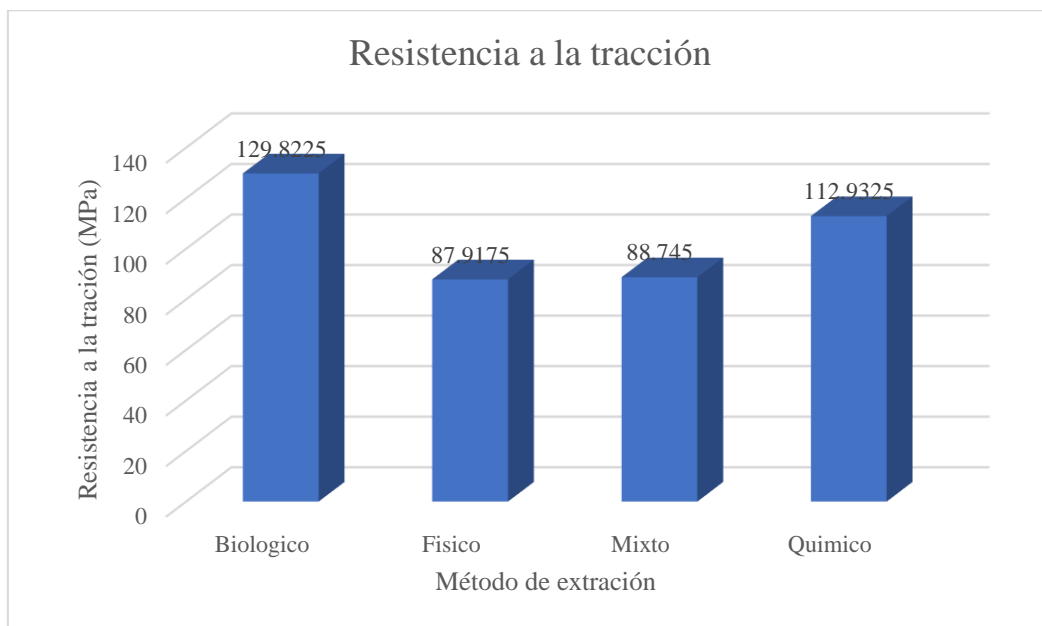
FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 5. Gráfico de medias de la densidad lineal de la fibra



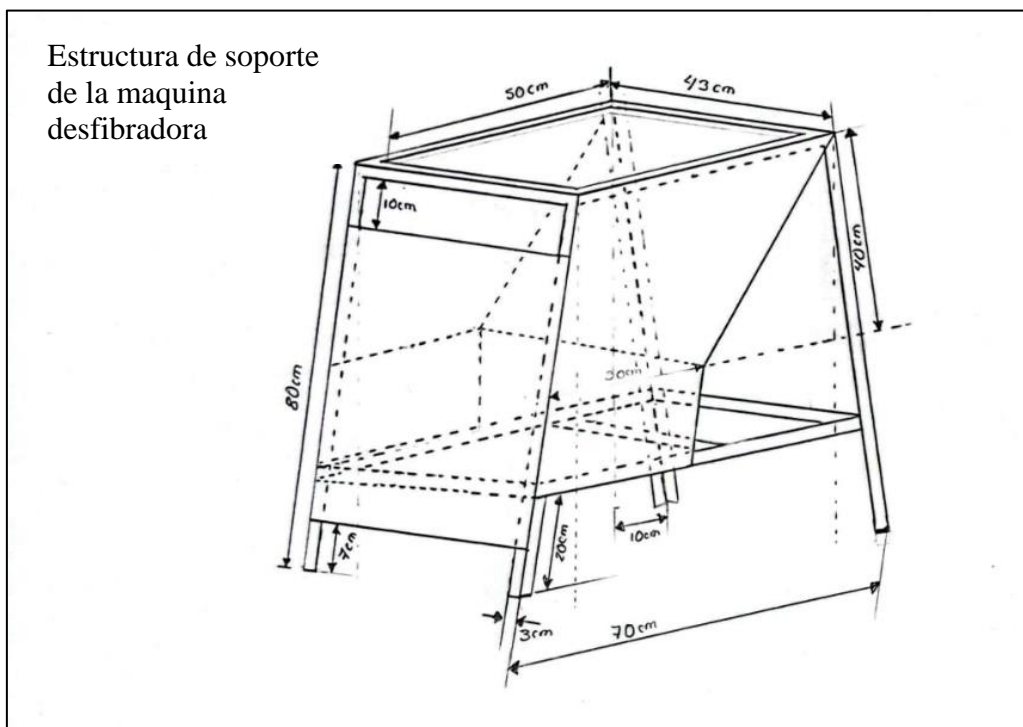
FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 6. Gráfico de medias de la resistencia a la tracción



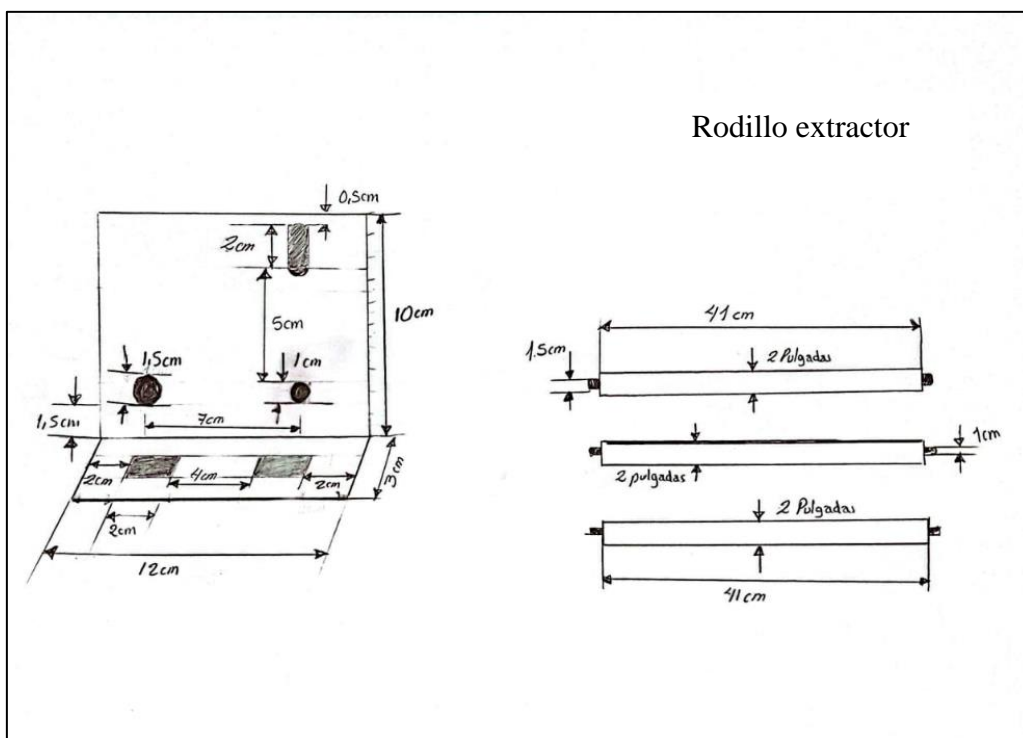
FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 7. Estructura de soporte de la maquina desfibradora



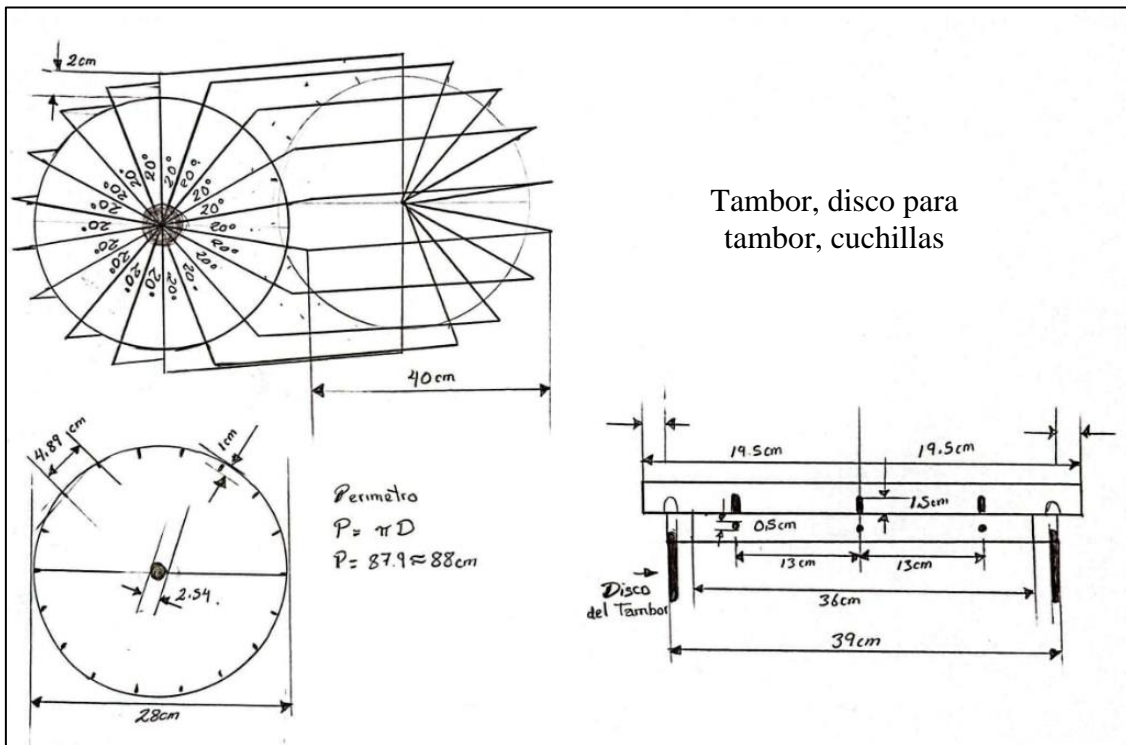
FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 8. Diseño del rodillo extractor y soporte de rodillos



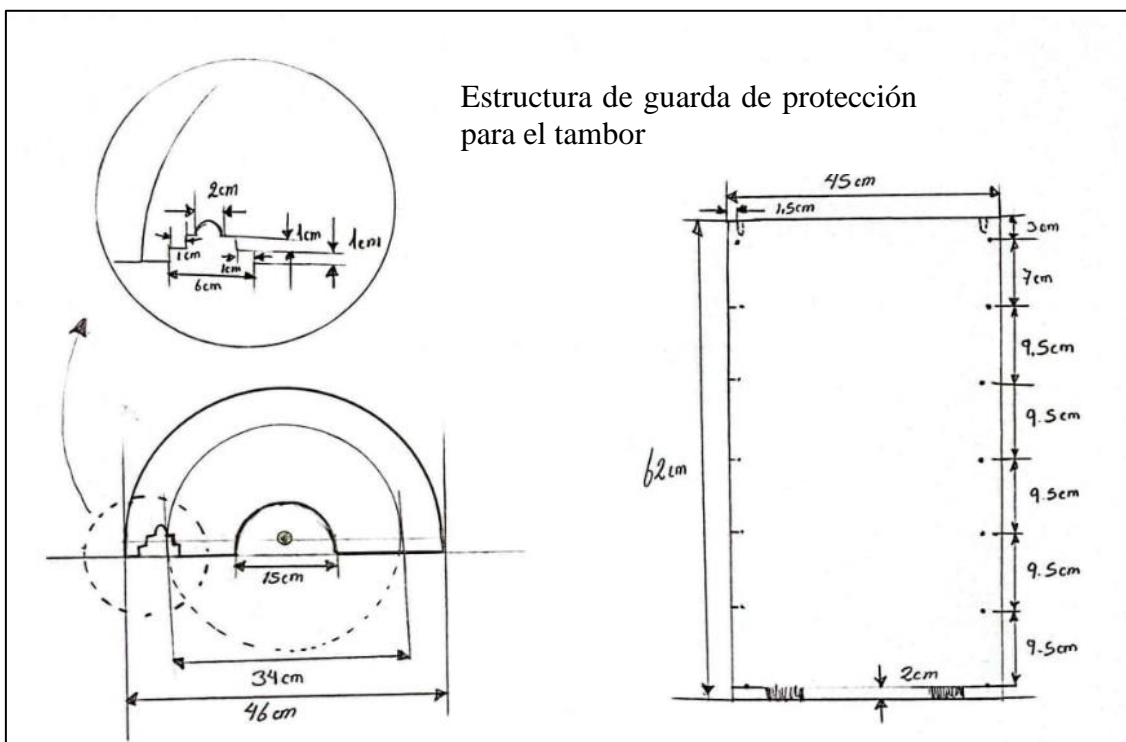
FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 9. *Diseño de tambor, disco de tambor y cuchillas*



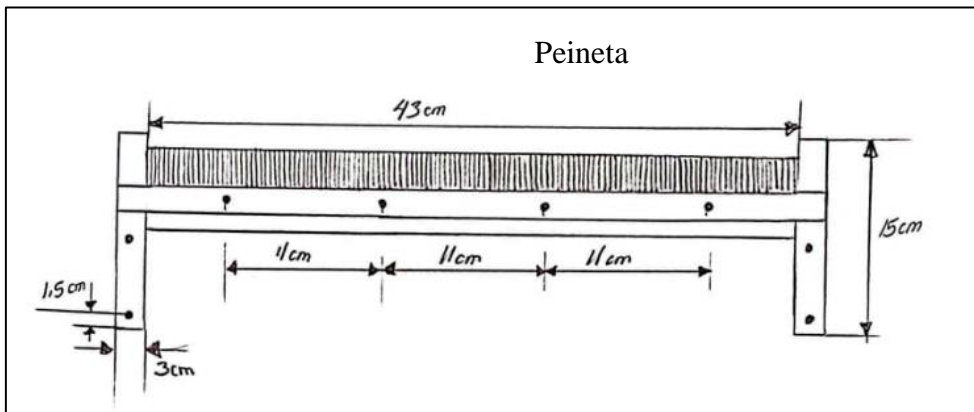
FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 10. *Diseño de la estructura de guarda de protección para el tambor*



FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 11. Diseño de peine para limpiar impurezas



FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 12. Panel fotográfico





Imagen 3. Selección de pseudotallo de plátano



Imagen 4. Corte de pseudotallo de plátano y limpieza



Imagen 5. Traslado del pseudotallo de plátano



Imagen 6. Limpieza y pesado del pseudotallo de plátano



Imagen 7. Separación de vainas foliares y pesado



Imagen 8. Extracción mecánica de la fibra



Imagen 9. Lavado de las fibras



Imagen 10. Secado de fibras



Imagen 11. Pesado, codificación y conservación de muestras



Imagen 12. Pesado y preparación de muestras post extracción



Imagen 13. Preparación de solución para tratamiento biológico



Imagen 14. Tratamiento biológico, control de temperatura y pH



Imagen 15. Preparación de solución para tratamiento químico



Imagen 16. Lavado de muestra sometida a tratamiento químico



Imagen 17. Preparación de muestras y solución para tratamiento mixto

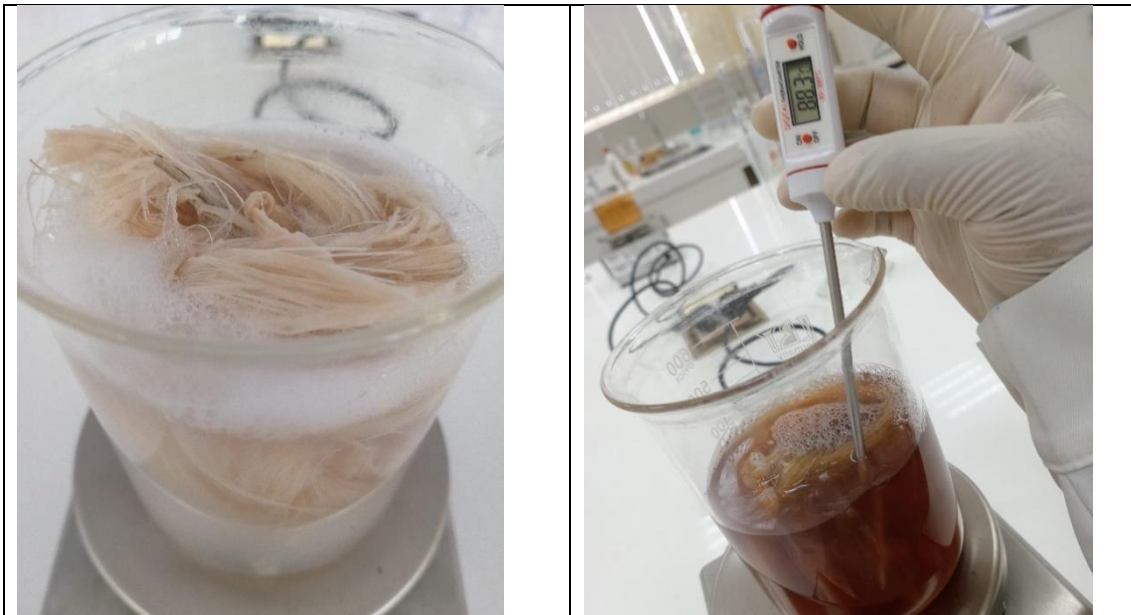


Imagen 18. Tratamiento mixto y control de temperatura



Imagen 19. Lavado de muestras resultantes del tratamiento mixto



Imagen 20. Preparación de muestras para análisis de finura en laboratorio de fibras - UNAJ

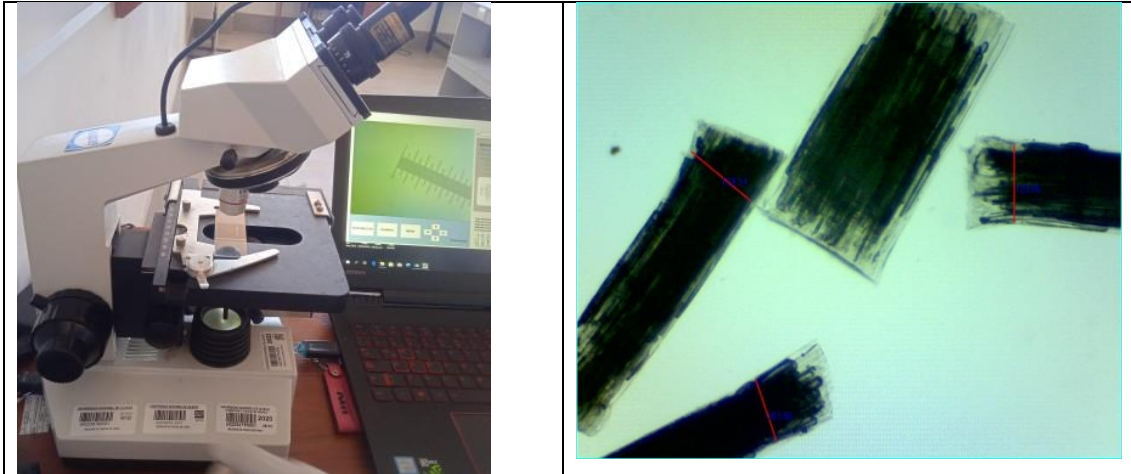


Imagen 21. Análisis de finura de la fibra de plátano en el microscopio óptico Medulómetro

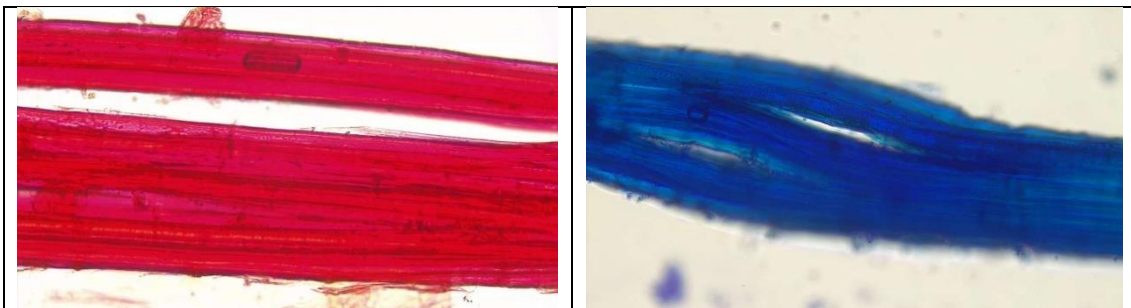


Imagen 22. Observación longitudinal a 40X de la fibra de plátano (Leica AirLab v2.0)

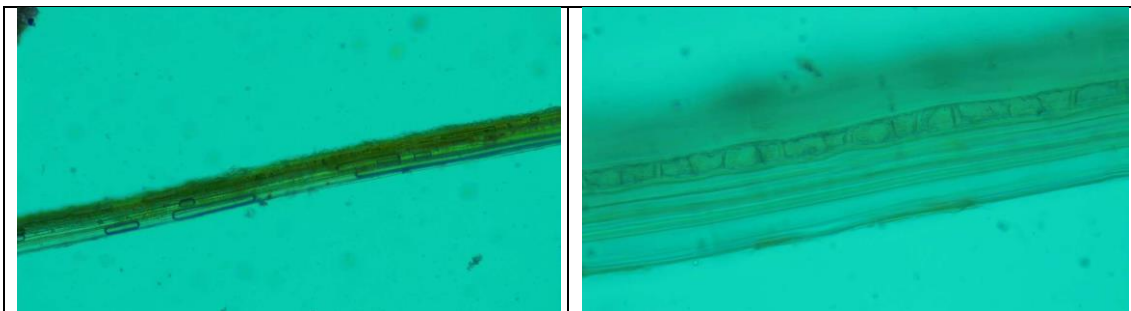


Imagen 23. Estructura de pared celular y segmento de vasos de la fibra de plátano

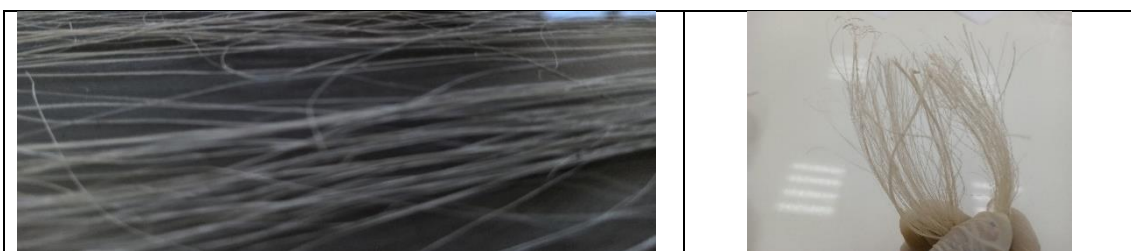


Imagen 24. Análisis de densidad lineal

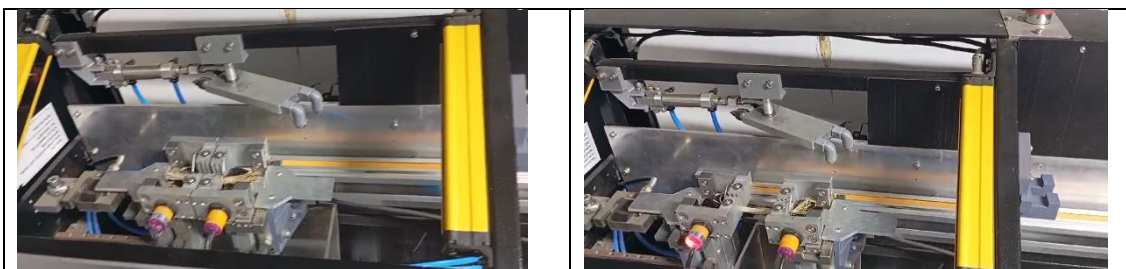


Imagen 25. Análisis de resistencia a la tracción




Imagen 26. Insumos usados para los métodos de extracción (biológico, químico y mixto)







## ANEXO 14. Ficha técnica de sulfito de sodio

	<b>FICHA TECNICA SULFITO DE SODIO</b>	<b>Código: SGC-FT-94 Versión: 01 Fecha: Agosto 2024</b>
-----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------

### IDENTIFICACION DEL PRODUCTO

Sinónimos: Sulfito sódico  
Fórmula Molecular: Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>  
Peso Molecular: 126.04

### DESCRIPCION DEL PRODUCTO

Polvo fino cristalino blanco ligeramente amarillento.

### ESPECIFICACIONES TECNICAS

Apariencia	Polvo blanco cristalino
Densidad a granel	1.5 - 1.6 g/cm <sup>3</sup>
Granulometría	100% pasa malla 80
P.H. (solución al 1%)	7.5-10

### APLICACIONES

El sulfito de sodio se utiliza en la industria de alimentos, azucarera, curtidora, fotográfica, lavandería, papelería, petroquímica, resinas, textil, tratamiento de aguas. Es utilizado en el tratamiento de aguas negras y eliminación de oxígeno disuelto en el agua para calderas.

Se emplea en la recuperación secundaria de pozos petrolíferos. Es usado como agente reductor. En fotografía se utiliza para la fabricación de revelados y como antioxidantes para fijadores. La industria del cuero lo utiliza para la sulfitación de taninos y la reducción de cromo hexavalente. En la industria textil se aplica como anti cloro después de los tratamientos con cloro y como agente blanqueador. En la industria del papel, se utiliza para eliminar el cloro después de las operaciones de post-blanqueado y para la elaboración de pastas químicas y semiquímicas.

### ALMACENAMIENTO

El producto es químicamente estable bajo condiciones normales. Debe mantenerse alejado de ácidos (genera fuerte reacción exotérmica) y agentes oxidantes (libera SO<sub>2</sub>), altas temperaturas, humedad. Debe almacenarse bien cerrado, en un ambiente seco. En un lugar bien ventilado.

**Documento revisado por:**  
Silvia Fiorella Guillen Cruz  
Jefe de Control de Calidad

ANEXO 15. *Ficha técnica de humectante textil*

	<p align="center"><b>FICHA TECNICA RESAWET BASE E</b></p>	<p>Código: SGC-FT-17 Versión: 01 Fecha: Febrero 2024</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------

**DESCRIPCION**

RESAWET BASE E es un agente humectante de fibras textiles, facilita el trabajo de los productos textiles hacia el interior de la fibra logrando teñidos profundos, lavados óptimos (colorantes, e insumos textiles).

**ESPECIFICACIONES TECNICAS**

Composición química : Mezcla sinérgica de surfactantes no iónicos  
 Aspecto Físico : Incoloro transparente  
 Solubilidad : soluble en agua fría en cualquier proporción.  
 pH (soluc. al 1%) : 7  
 Carga Iónica : No iónico  
 Estabilidad : Estable a los medios alcalinos, ácidos y al agua dura y a las altas temperaturas.  
 Compatibilidad : compatible con productos aniónicos, catiónicos y no iónicos.

**MODO DE EMPLEO**

**Preparación económica y efectiva RESAWET BASE –E al 25%**

Para 10 kilos de RESAWET BASE-E preparado al 25%, agregar en un recipiente limpio 7.5kg de agua blanda luego adicionamos 2.5kg de RESAWET BASE-E. Agitar constantemente hasta conseguir una solución Homogénea.

PROCESO	DOSIFICACION	
	RESAWET BASE -E al 5%	RESAWET BASE -E
Para Blancos ópticos	0.8-1.2 gr/l	0.25-0.5 gr/l
Para tejidos de alta torsión de hilo	1.0 – 2.0 gr/l	0.6 - 1.0 gr/l
Para teñidos	0.5 - 1.0 gr/l	0.25 - 0.5 gr/l

**MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO**

Almacenar en los envases de origen cerrados evitando temperaturas extremas y en contacto con sustancias acidas o alcalinas. Mantener en su envase original. Cumple con los requisitos de seguridad, toxicidad y protección al medio ambiente que se especifican en la Hoja de Seguridad o MSDS (Material Safety Data Sheet).

**PRESENTACIÓN**

RESAWET BASE E viene en presentaciones de envases de 5, 20 y 30 Kg.

**Documento revisado por:**  
 Silvia Fiorella Guillen Cruz  
 Jefe de Control de Calidad



UWU