



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**APROVECHAMIENTO DE PSEUDOTALLO DE BANANO PARA LA
OBTENCIÓN DE PAPEL RECICLADO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniera Ambiental

AUTOR: IVANA ISABELA TORRES MITE

TUTOR: CARMEN ELIZABETH PALACIOS LIMONES

GUAYAQUIL - ECUADOR

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Ivana Isabela Torres Mite con documento de identificación No. 0926953720 manifiesto que soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 27 de agosto del 2024

Atentamente,



Ivana Isabela Torres Mite

0926953720

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Ivana Isabela Torres Mite con documento de identificación No. 0926953720, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación: APROVECHAMIENTO DE PSEUDOTALLO DE BANANO PARA LA OBTENCIÓN DE PAPEL RECICLADO, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 27 de agosto del 2024

Atentamente,



Ivana Isabela Torres Mite

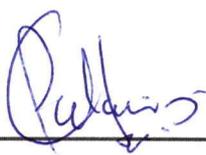
0926953720

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carmen Elizabeth Palacios Limones con documento de identificación N° 0909640625, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: APROVECHAMIENTO DE PSEUDOTALLO DE BANANO PARA LA OBTENCIÓN DE PAPEL RECICLADO, realizado por Ivana Isabela Torres Mite con documento de identificación N° 0926953720, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 27 de agosto del año 2024

Atentamente,



Carmen Elizabeth Palacios Limones

0909640625

DEDICATORIA

Desde lo más profundo de mi corazón, quiero dedicarle este trabajo la Virgen María, mi señora, mi mamá, mi más fiel compañera. Mis buenas acciones pasadas, presentes y futuras serán siempre por y para ella. Cada esfuerzo, cada logro, cada sueño, estarán siempre llenos de amor y dedicados a ese corazón inmaculado, el más dulce que puede haber.

Por acompañarme en la fidelidad de cada día a la voluntad de Diosito, por hacer milagros en mi vida, por llenarme de dulzura, amor y consuelo, por todas las gracias que has derramado sobre mí, por eso mucho más, te entrego madre mía todos los frutos que pueda dar. Te amo.

Ivana Torres Mite.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, le agradezco profundamente por su amor incondicional, paciencia y apoyo durante todo el proceso no solo de este trabajo, sino durante toda la carrera y toda mi vida, por confiar en mi a ciegas y ser mi mano derecha en cumplir sueños y crecer no solo profesionalmente sino como persona. Gracias por motivarme a seguir adelante, hacerme reír, acompañarme en todo este camino, y por siempre alentarme a soñar en grande. Sin su respaldo constante, este proyecto no habría sido posible.

Agradezco sinceramente a los profesores de Ingeniería Ambiental por su orientación y apoyo en el desarrollo de esta tesis. Sus conocimientos y compromiso con la excelencia académica han sido fundamentales para el éxito de este trabajo. En especial, a la Ing. Carmen Palacios, por su dedicación y por guiarnos con amor y sabiduría en nuestro camino profesional.

No podría olvidar agradecerle a la Ing. Angie Auz, por su invaluable ayuda durante el proceso experimental en el laboratorio. Su experiencia y disposición para ayudarme a resolver problemas técnicos fueron cruciales para el éxito de mi investigación. Su apoyo, compañía, y colaboración hicieron posible alcanzar los resultados necesarios para esta tesis.

Gracias a Carla, Fer, Andreita, Andrea, Miki, a mi enanita, y a todas las personas que tienen un lugar especial en mi corazón. Gracias por siempre darme un espacio de amor, confianza, comfort y paz. Gracias por siempre estar presentes, por escucharme, el tiempo de calidad compartido, y tanto amor incondicional.

Ultimo, pero no menos importante, a Diosito, a La Virgencita, y a mi ángel de la guarda. Gracias por siempre estar presentes, por consolarme, por iluminar mi mente, por poner sus manos sobre todos mis trabajos, por regalarme sonrisas y momentos alegres en todo este proceso, y más que nada, por llenarme de amor y plena confianza en su protección. Gracias por enseñarme a ver a través de sus ojos, sin perder de vista lo que es realmente importante.

Ivana Torres Mite.

RESUMEN

El pseudotallo de banano, un subproducto agrícola frecuentemente desechado, presenta un potencial significativo como alternativa sostenible al papel convencional. Este estudio explora la viabilidad del pseudotallo de banano en la fabricación de papel como materia prima, evaluando su capacidad para competir con los papeles tradicionales en términos de rendimiento y propiedades físicas. La investigación incluyó una serie de pruebas para evaluar parámetros fisicoquímicos, tales como pH, resistencia, humedad y caracterización física del papel producido a partir de pseudotallo. Los resultados mostraron que, aunque el papel de pseudotallo de banano presenta ciertas diferencias en comparación con el papel convencional, sus propiedades se alinean favorablemente con los estándares de calidad. El pseudotallo de banano no solo es una opción viable desde el punto de vista técnico, sino que también ofrece ventajas ecológicas al reducir el impacto ambiental asociado con la producción de papel convencional. Este estudio subraya el potencial del pseudotallo de banano como un recurso sostenible y competitivo en la industria papelera, destacando su capacidad para contribuir a prácticas más sostenibles y responsables en la producción de papel.

Palabras claves: Pseudotallo, banano, papel convencional, residuos.

ABSTRACT

The banana pseudostem, an agricultural byproduct often discarded, presents significant potential as a sustainable alternative to conventional paper. This study explores the feasibility of using banana pseudostem in paper manufacturing as a raw material, evaluating its ability to compete with traditional papers in terms of performance and physical properties. The research involved a series of tests to assess physicochemical parameters such as pH, strength, moisture content, and the physical characterization of the paper produced from pseudostem. The results showed that, while banana pseudostem paper exhibits certain differences compared to conventional paper, its properties favorably align with quality standards. The banana pseudostem is not only a technically viable option but also offers ecological advantages by reducing the environmental impact associated with conventional paper production. This study highlights the potential of banana pseudostem as a sustainable and competitive resource in the paper industry, emphasizing its ability to contribute to more sustainable and responsible practices in paper production.

Keywords: Pseudostem, banana, conventional paper, waste.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema	3
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Importancia y alcance	4
1.4. Delimitación	5
1.4.1 Delimitación geográfica	5
1.4.2 Delimitación temporal	7
1.4.3 Delimitación sectorial.....	7
1.4.4 Delimitación metodológica.....	7
1.5 Pregunta de investigación.....	8
1.6 Objetivos	8
1.6.1 Objetivo General	8
1.6.2 Objetivos Específicos	8
1.7 Marco hipotético	9
1.7.1 Hipótesis general.....	9
1.7.2 Hipótesis específicas	9
CAPÍTULO II.....	10
2 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	10
2.1 Términos y definiciones.....	10
2.2 Industria bananera.....	11
2.3 Pseudotallo de banano.....	13

2.4	Aprovechamiento del pseudotallo	15
2.5	Marco legal.....	16
2.5.1	Constitución de la Republica. (2008).....	16
2.5.2	Global G.A.P. - BPA.....	17
2.5.3	Código Orgánico Ambiental.	17
2.5.4	Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones, COPCI.....	17
2.5.5	Reforma al Reglamento a la ley para estimular y controlar la producción y comercialización del banano, plátano (Barraganete) y otras musáceas afines destinadas a la exportación.	18
2.5.6	Acuerdo No. 061 reforma del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria - Capítulo VI. Gestión integral de residuos sólidos no peligrosos, y desechos peligrosos y/o especiales.	19
CAPÍTULO III		22
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1	Fases del proceso de elaboración de papel reciclado.....	22
3.2	Materiales y equipos	25
CAPITULO IV		28
4	RESULTADOS	28
4.1	Experimentación en la elaboración de papel reciclado a base de pseudotallo de banano.....	28
4.1.1	Preparación	28
4.1.2	Secado al sol	29
4.1.2.1	Observaciones.....	29
4.1.3	Secado en estufa.....	30
4.1.3.1	Observaciones.....	30
4.1.4	Cocción.....	32
4.1.4.1	Observaciones.....	33
4.1.5	Liculado	34
4.1.5.1	Observaciones.....	36
4.1.6	Secado final.....	37
4.1.6.1	Observaciones.....	38
4.2	Caracterización fisicoquímica de materia prima y subproductos.....	39
4.2.1	Humedad.....	39

4.2.2	pH.....	41
4.2.3	Resistencia	43
4.2.3.1	Datos Obtenidos	44
4.2.3.2	Análisis de datos obtenidos	45
4.2.4	Análisis de textura.....	48
4.2.5	Propuesta financiera	50
4.2.5.1	Datos financieros	51
4.2.5.2	Análisis de datos financieros.....	57
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
5.1	Conclusiones.....	62
5.2	Recomendaciones	62
6	BIBLIOGRAFÍAS	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Tabulados de la encuesta de superficie y producción agropecuaria continua</i> .	12
Tabla 2	<i>Materiales y equipos utilizados en el proceso</i>	25
Tabla 3	<i>Cálculo de la cantidad de agua utilizada en cada muestra para el licuado</i>	35
Tabla 4	<i>Resultados de % de Humedad</i>	40
Tabla 5	<i>Pruebas de resistencia a papel Bond</i>	44
Tabla 6	<i>Pruebas de resistencia a cartulinas Marfil</i>	44
Tabla 7	<i>Pruebas de resistencia a papel a base de pseudotallo de banano</i>	45
Tabla 8	<i>Análisis de textura</i>	49
Tabla 9	<i>Terrenos y obras civiles</i>	51
Tabla 10	<i>Maquinarias, mobiliarios y equipos</i>	52
Tabla 11	<i>Materiales</i>	54
Tabla 12	<i>Mano de obra directa</i>	55
Tabla 13	<i>Costos Recurrentes Anuales</i>	55
Tabla 14	<i>Costos del proyecto en cinco años</i>	56
Tabla 15	<i>Costos, precios de venta y ganancia neta en cinco años</i>	57

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1 <i>Delimitación geográfica</i>	6
Imagen 2 <i>Morfología del banano</i>	14
Imagen 3 <i>Diagrama de flujo de proceso de elaboración de papel reciclado a base de pseudotallo de banano</i>	23
Imagen 4 <i>Corte de pseudotallos de banano</i>	28
Imagen 5 <i>Secado de pseudotallos de banano al sol</i>	30
Imagen 6 <i>Secado de pseudotallos de banano en estufa</i>	32
Imagen 7 <i>Cocción de pseudotallos de banano</i>	34
Imagen 8 <i>Licuada para obtención de pulpa de pseudotallo de banano</i>	37
Imagen 9 <i>Proceso final de secado para obtención de papel reciclado</i>	39
Imagen 10 <i>Prueba de humedad a muestras de pseudotallo de banano</i>	41
Imagen 11 <i>Pruebas de pH a muestras de pulpa de pseudotallo de banano</i>	42
Imagen 12 <i>Pruebas de resistencia en prensa hidráulica de compresión</i>	43
Imagen 13 <i>Prueba de resistencia a papel Bond</i>	47
Imagen 14 <i>Prueba de resistencia a cartulina Marfil</i>	47
Imagen 15 <i>Prueba de resistencia a papel reciclado a base de pseudotallo de banano</i> ..	48

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

La producción de banano en Ecuador ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años, posicionando al país como uno de los principales exportadores de esta fruta a nivel mundial. (LATAM, 2023). Este incremento en la producción trae consigo no solo beneficios económicos sino también desafíos ambientales, especialmente relacionados con la gestión de los residuos agrícolas. Entre estos residuos, el pseudotallo de banano se destaca por su volumen y su potencial no aprovechado, representando una problemática significativa para la industria y el medio ambiente. La gestión ineficiente de estos desechos contribuye a la saturación de rellenos sanitarios y a la contaminación ambiental, destacando la necesidad urgente de encontrar soluciones sostenibles.

En 2023, la superficie dedicada a la cosecha de banano en Ecuador fue de 175.181 hectáreas, produciendo un total de 7.159.816 toneladas métricas, lo cual indica un aumento del 4,6% en comparación con el año anterior (INEC, 2023). Sin embargo, junto con este crecimiento en la producción, también ha habido un incremento significativo en la cantidad de residuos generados. De acuerdo con França, por cada tonelada de racimos de banano se generan tres toneladas de pseudotallo y 480 kg de hojas, lo que implica que su volumen desechado es considerablemente alto. (Franca, 2010). Este material orgánico no está siendo aprovechado de manera adecuada, lo que contribuye a la saturación de los rellenos sanitarios y al deterioro del medio ambiente debido a su mala gestión.

La agricultura en Ecuador, particularmente la producción de banano, es una de las principales fuentes de ingresos del país. No obstante, la gestión sostenible de los residuos sigue siendo un desafío considerable. La disposición inadecuada de estos residuos puede llevar a la saturación de rellenos sanitarios, la contaminación del medio ambiente, la emisión de gases de efecto invernadero y la pérdida de recursos naturales valiosos. (UCR, 2018). El pseudotallo del banano, que es una parte esencial de la planta, proporciona soporte y nutrientes a la fruta durante su crecimiento; sin embargo, una vez cosechado el banano, el pseudotallo generalmente se desecha, se quema o se deja en los campos como

abono orgánico, representando una pérdida de recursos naturales y una oportunidad desaprovechada para reutilizar los residuos de manera más eficiente.

La ausencia de estrategias efectivas para gestionar estos residuos ejerce una presión adicional sobre los sistemas de gestión de desechos existentes, desperdiciando materiales que podrían ser reutilizados o reciclados. Por lo tanto, es imperativo implementar prácticas más sostenibles y eficientes en la gestión de residuos agrícolas para minimizar el impacto ambiental y fomentar una economía circular más sustentable. En el contexto de la producción de banano, se estima que se generan aproximadamente 90 toneladas de residuos agrícolas por cada hectárea cosechada. (Goya, 2013). Estos residuos deben ser aprovechados y dispuestos de manera adecuada.

La utilización del pseudotallo de banano para la producción de papel mediante el método de pulpéo puede desempeñar un papel crucial en la reducción de los residuos orgánicos generados en el sector agrícola de Ecuador. Esta práctica ofrece múltiples beneficios. Al utilizar los residuos orgánicos del banano para producir papel, se reduce la cantidad de desechos que terminan en vertederos o se queman, disminuyendo la contaminación ambiental y prolongando la vida útil de los rellenos sanitarios. Además, utilizar el tallo de banano como materia prima para papel permite aprovechar un recurso que de otra manera sería desechado, representando una forma eficiente y sostenible de utilizar los recursos naturales.

Transformar los residuos orgánicos en papel aporta valor agregado a la industria bananera, diversificando sus productos y creando nuevas oportunidades económicas para los productores y empresas del sector agrícola. Asimismo, utilizar los residuos orgánicos como materia prima para papel puede reducir los costos asociados con el manejo y disposición de estos desechos, generando beneficios económicos para las empresas.

El trabajo experimental pretende destacar el potencial del pseudotallo de banano como recurso para la producción de papel reciclado, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y económica del sector agrícola en Ecuador. La evaluación integral de este problema permitirá proporcionar soluciones prácticas y sustentables para la gestión de residuos

agrícolas en la industria bananera, promoviendo una economía circular y un manejo más eficiente de los recursos naturales disponibles.

1.1. Problema

La superficie cosechada de banano, en el año 2023, fue de 175.181 hectáreas, resultando en 7.159.816 toneladas métricas; registrando un crecimiento de 4,6 % con relación al año 2022. (INEC, 2023). Se ha señalado que por cada tonelada de racimos de banano se generan 3 toneladas de pseudotallo y 480 kg de hojas (França, 2010); con lo que se puede deducir que la cantidad de pseudotallo desechada equivaldría al triple de las toneladas métricas registradas por el Instituto Nacional de Estadística y Censos. Siendo el problema, el volumen de desperdicios generados por la industria agrícola, especialmente el desecho del pseudotallo de banano, que representan una gran cantidad de material orgánico que no está siendo aprovechado de manera adecuada, lo que conlleva a la saturación de los rellenos sanitarios y al deterioro del medio ambiente en el caso de una mala gestión.

1.2. Antecedentes

En el Ecuador, la industria agrícola es una de las principales fuentes de ingresos para el país, especialmente en lo que respecta a la producción de banano. Como se evidencia en la información proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC, el Ecuador se destaca por sus cifras elevadas en cuanto a las hectáreas cosechadas de banano; por con siguiente, existe una cantidad de residuos respectiva ante su proceso productivo. (INEC, 2023).

A pesar de la importancia de esta industria, persiste el desafío de gestionar de manera integral y sostenible estos desechos. La disposición final inadecuada de estos residuos puede contribuir a la saturación de los rellenos sanitarios, contaminación ambiental, la emisión de gases de efecto invernadero y la pérdida de recursos naturales.

El pseudotallo del banano es una parte fundamental de la planta, ya que proporciona soporte estructural y nutrientes a la fruta durante su crecimiento. Sin embargo, una vez que se cosecha el banano, este suele ser desechado, quemado o dejado en los campos como abono orgánico. Esto representa un desperdicio de recursos naturales y una oportunidad perdida para aprovechar al máximo los residuos orgánicos generados por la industria agrícola.

La falta de una estrategia efectiva para gestionar los considerables volúmenes de desechos generados en la producción de banano puede ejercer una presión adicional sobre los sistemas de gestión de residuos existentes, lo que a su vez podría resultar en un desperdicio potencial de materiales valiosos que podrían ser reutilizados o reciclados. Esta situación resalta la urgente necesidad de implementar prácticas más sostenibles y eficientes en la gestión de los residuos agrícolas relacionados con el banano, con el objetivo de minimizar su impacto ambiental y fomentar una economía circular más sustentable.

1.3. Importancia y alcance

Dentro del proceso de producción del banano, se tienen alrededor de 90 toneladas de residuos agrícolas por cada hectárea cosecha, (Goya. E, 2013), los cuales deben tener un aprovechamiento y disposición adecuada. El uso del pseudotallo de banano para la elaboración de papel a través del método de pulpéo juega un rol importante en la reducción de cantidad de residuos orgánicos generados en el sector agrícola de Ecuador que actualmente se destinan a una disposición final, como a un botadero a cielo abierto o relleno sanitario. Esta práctica es significativa por diversas razones:

➤ En cuanto a la sostenibilidad ambiental, al utilizar los residuos orgánicos del banano para la producción de papel, se reduce la cantidad de desechos que terminan en vertederos o se queman, lo que contribuye a la reducción de la contaminación ambiental y a la extensión del tiempo de vida de los rellenos sanitarios o vertederos. (Pool Segarra Jiménez & Tobes, 2024).

- Con el aprovechamiento de recursos, el uso del tallo de banano como materia prima para la elaboración de papel permite aprovechar un recurso que de otra manera sería desechado, lo que representa una forma eficiente y sostenible de utilizar los recursos naturales. (Cortez. A, 2014). Esto le da cabida a la generación de valor agregado; la transformación de los residuos orgánicos en papel aporta valor agregado a la industria bananera, diversificando sus productos y generando nuevas oportunidades económicas para los productores y empresas del sector agrícola.

- A su vez, se daría una reducción de costos, pues al utilizar los residuos orgánicos como materia prima para la producción de papel, se pueden reducir los costos asociados con el manejo y disposición de estos desechos, lo que puede resultar en beneficios económicos para las empresas. (Elbehri et al., 2015).

En resumen, el aprovechamiento del pseudotallo de banano para la elaboración de papel a través del método de pulpéo no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental y al uso eficiente de recursos, sino que también genera beneficios económicos y sociales para la industria bananera del Ecuador.

1.4. Delimitación

El trabajo experimental se centrará en explorar la utilización del pseudotallo de banano como materia prima para la producción de papel reciclado mediante el método del pulpéo. Este enfoque busca abordar la problemática del exceso de residuos en la industria agrícola del Ecuador, especialmente en el sector bananero. La investigación se desarrollará teniendo en cuenta dimensiones geográficas, temporales, sectoriales, y metodológicas (Moreno, 2021) que se describen a continuación.

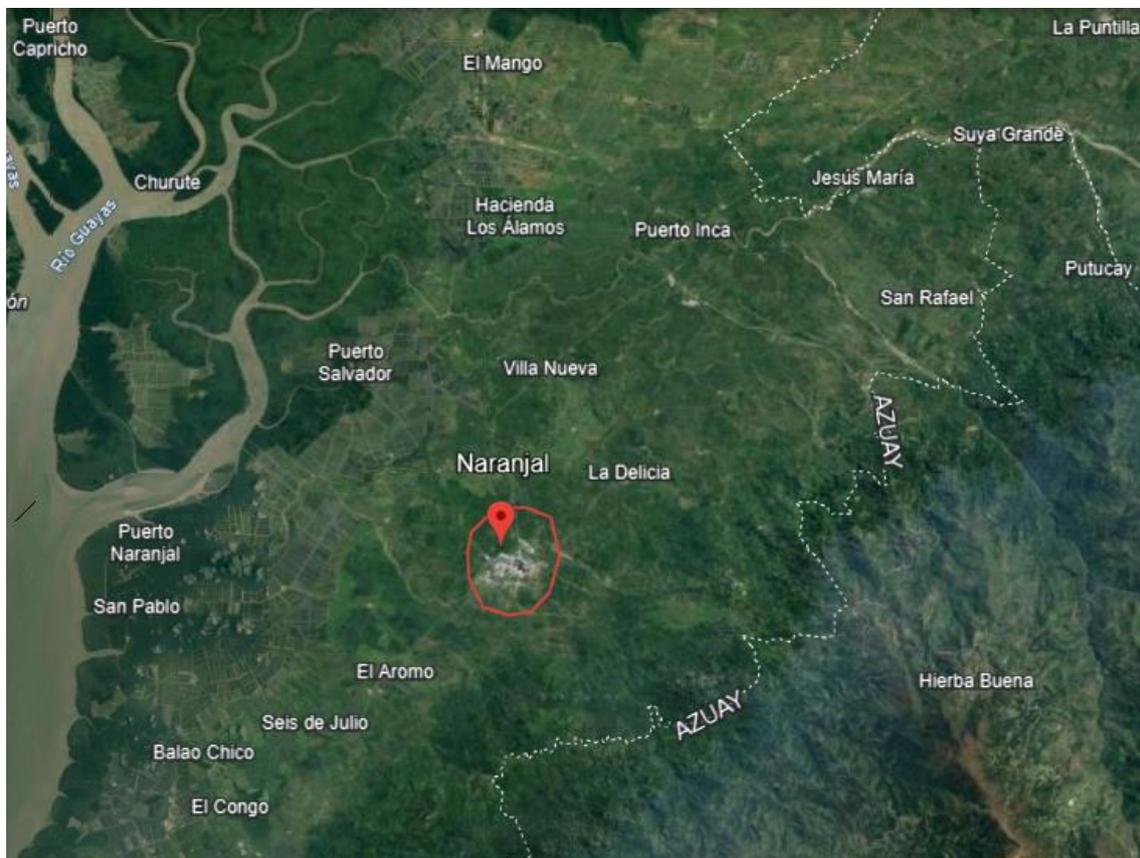
1.4.1 Delimitación geográfica

Ecuador, uno de los mayores productores de banano a nivel mundial, es el escenario de esta investigación. Las provincias de Los Ríos, Guayas y El Oro (Ministerio de Comercio Exterior, 2017), que son las principales zonas productoras de banano, se seleccionarán

para obtener una muestra representativa de la producción y gestión de residuos en el país. Estas áreas proporcionan un contexto adecuado para evaluar la viabilidad del aprovechamiento del pseudotallo de banano debido a su alta producción y la cantidad significativa de residuos generados.

Los pseudotallos empleados en el proceso experimental fueron seleccionados, procediendo de la provincia del Guayas, específicamente del cantón Naranjal, en el recinto Puerto Inca, perteneciente a la parroquia San Carlos.

Imagen 1 *Delimitación geográfica*



Fuente: Google Earth

El proceso experimental destinado a la producción de papel reciclado a partir del pseudotallo de banano se llevó a cabo en los laboratorios de Ciencias de la Vida, de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, campus María Auxiliadora, ubicada en el kilómetro 19 de la vía a la costa.

1.4.2 Delimitación temporal

El trabajo experimental abarcó los meses de mayo a septiembre del 2024. Este marco temporal es suficiente para analizar la situación actual de la producción de banano, la gestión de sus residuos y la implementación del método de pulpeo. Además, permitió evaluar el impacto a corto plazo de las posibles soluciones propuestas, proporcionando una visión completa y actualizada del problema y sus alternativas de solución.

1.4.3 Delimitación sectorial

El enfoque de la investigación se centró en la industria bananera, específicamente en la gestión de los residuos generados durante la cosecha del banano. El pseudotallo, un subproducto significativo de esta industria, será el principal objeto de estudio; se analizaron las prácticas actuales de manejo de estos residuos, identificando las deficiencias y oportunidades para su aprovechamiento. Este tipo de delimitación permitió profundizar en las particularidades y desafíos específicos del sector bananero ecuatoriano.

1.4.4 Delimitación metodológica

Para alcanzar los objetivos establecidos, se empleó una metodología combinada que integra técnicas cualitativas y cuantitativas, centrándose en la producción de pulpa de papel a partir del pseudotallo de banano, acompañado de un análisis de las propiedades físicas y químicas del material resultante. Paralelamente, se realizaron estudios y análisis de costos para determinar la viabilidad económica de esta alternativa, generando datos precisos y pertinentes que resultan fundamentales para respaldar las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

En resumen, el trabajo experimental tiene su enfoque dirigido a destacar el potencial del pseudotallo de banano como recurso para la producción de papel reciclado, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y económica del sector agrícola en Ecuador. La delimitación geográfica, temporal, sectorial y metodológica permitió abordar el problema de manera integral, proporcionando soluciones prácticas y sustentables para la gestión de residuos agrícolas en la industria bananera.

1.5 Pregunta de investigación

¿Podría ser el pseudotallo de banano una materia prima para la elaboración de papel reciclado, como opción viable?

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Aprovechar el pseudotallo del banano como materia prima para la obtención de papel reciclado, mediante el método del pulpéo con el fin de reducir el residuo generado en el sector agrícola.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Experimentar producción de papel reciclado, para obtener diferentes texturas y resistencia, utilizando el pseudotallo del banano.
- Determinar las propiedades físicas y químicas del papel obtenido a partir del pseudotallo de banano y compararlas con las del papel convencional.
- Evaluar la viabilidad económica de la producción de papel a base del pseudotallo de banano en comparación con el papel convencional.

1.7 Marco hipotético

1.7.1 Hipótesis general

Se espera que con el uso del pseudotallo del banano como materia prima para la obtención de papel reciclado mediante el método del pulpéo se logre obtener un papel de calidad y resistencia adecuadas para su uso en diversas aplicaciones, promoviendo la economía circular al darle un nuevo uso a un material que anteriormente era considerado como desecho.

1.7.2 Hipótesis específicas

- Se espera que al experimentar con la producción de papel reciclado utilizando el pseudotallo de banano, se logre obtener diferentes texturas y resistencias, lo que podría ofrecer nuevas posibilidades en la industria del papel.
- Se plantea que el papel obtenido a partir del pseudotallo de banano presentará propiedades físicas y químicas similares o superiores a las del papel convencional, debido a las características naturales de la fibra de banano.
- Se plantea que la producción de papel a base del pseudotallo de banano podría resultar más económica en comparación con el papel convencional, debido a la disponibilidad y bajo costo de la materia prima.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 Términos y definiciones

Los términos y definiciones mencionados a continuación, son tomados del Libro VI de la Calidad Ambiental del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, TULSMA (Acuerdo Ministerial 061, 2015).

- **Almacenamiento de residuos/desechos no peligrosos:** Acción de almacenar temporalmente residuos sólidos bajo condiciones que salvaguarden el medio ambiente y la salud de las personas.
- **Aprovechamiento de residuos no peligrosos:** Procesos mediante los cuales los materiales recuperados se reincorporan a un nuevo ciclo económico y productivo, utilizando métodos como reutilización, reciclaje, compostaje u otros.
- **Celda emergente para desechos y/o residuos sólidos no peligrosos:** Espacio destinado para la disposición temporal de residuos sólidos no peligrosos, que incluye compactación, cobertura diaria y sistemas para la evacuación y recolección.
- **Corrección en la fuente:** Responsabilidad de los sujetos de control de implementar medidas para prevenir, reducir, mitigar y corregir impactos ambientales desde el inicio del proceso productivo. Este principio se aplica en proyectos y planes de manejo desde su fase inicial.
- **Contaminador-pagador:** Principio que requiere que quienes realicen actividades con riesgo ambiental asuman los costos relacionados con la prevención, el control de la contaminación y la restauración de ecosistemas dañados. También se aplica en procedimientos sancionatorios y en la determinación de obligaciones administrativas o tributarias.
- **Tratamiento de residuos sólidos no peligrosos:** Conjunto de técnicas y procesos para transformar físicamente, químicamente o biológicamente los residuos sólidos, con el fin de modificar sus propiedades o aprovechar su potencial, generando un nuevo desecho sólido con características distintas.

- **Valorización térmica de residuos y/o desechos:** Procesos que transforman los residuos mediante la aplicación de calor (como incineración, pirolisis, gasificación, secado, etc.). Este método no elimina los residuos, sino que produce nuevos residuos que deben ser gestionados según sus características.
- **Tecnología disponible:** Uso de los métodos técnicos más adecuados para prevenir y reducir los impactos ambientales en las actividades realizadas.
- **Vulnerabilidad al cambio climático:** Grado en que un sistema es susceptible a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo variaciones climáticas y fenómenos extremos. Esta vulnerabilidad depende de la naturaleza, magnitud y rapidez de los cambios climáticos a los que está expuesto el sistema, así como de su sensibilidad y capacidad de adaptación.

2.2 Industria bananera

La industria bananera en Ecuador ha desempeñado un papel fundamental en la economía del país a lo largo de su historia, convirtiéndose en uno de los principales motores de desarrollo y generador de empleo. Desde sus inicios, la producción y exportación de banano han sido pilares fundamentales en la economía ecuatoriana, contribuyendo significativamente al crecimiento económico y al posicionamiento del país en el mercado internacional. (LATAM, 2023).

La historia de la industria bananera en Ecuador se remonta a inicios del siglo XX, cuando comenzaron a cultivarse las primeras plantaciones de banano en la región costera del país. (Poveda Burgos, Cabrera Jara, Carrera López, & Sambonino García, 2021). Con el paso de los años, la industria experimentó un rápido crecimiento gracias a factores como el clima favorable, la calidad de los suelos y la mano de obra disponible. La introducción de nuevas tecnologías y prácticas agrícolas también contribuyó al aumento de la productividad y la competitividad del sector.

En la actualidad, Ecuador es uno de los principales exportadores mundiales de banano, siendo reconocido por la calidad y variedad de sus productos. La industria bananera ecuatoriana ha logrado posicionarse en mercados internacionales exigentes, como

Estados Unidos y Europa, gracias a su compromiso con la sostenibilidad ambiental, social y económica. La implementación de prácticas agrícolas responsables, el respeto por el medio ambiente y el bienestar de los trabajadores han sido aspectos clave para mantener la competitividad y el prestigio del banano ecuatoriano a nivel global.

Con los datos brindados por el INEC en el año 2023, se logra apreciar el protagonismo que tiene actualmente el banano dentro del comercio ecuatoriano:

Tabla 1 *Tabulados de la encuesta de superficie y producción agropecuaria continua*

REGIÓN Y PROVINCIA	SUPERFICIE (Ha)		PRODUCCIÓN (Tm)	VENTAS (Tm)
	Plantada	Cosechada		
Total Nacional	184.034	175.181	7.159.816	6.931.106
Región Sierra	13.456	12.714	249.626	244.030
Región Costa	168.785	160.813	6.895.349	6.679.982
Región Amazónica	1.793	1.654	14.841	7.095

Fuente: ESPAC 2023 – INEC

Las importaciones de bananos orgánicos en Estados Unidos han mostrado un crecimiento significativo, según las estadísticas del USDA; en 2023, estas importaciones aumentaron un 10% en comparación con el año anterior, alcanzando un valor total de \$342,2 millones, frente a los \$311,4 millones de 2022. (USDA,2023). Ecuador se consolidó como el principal proveedor de bananos orgánicos para el mercado estadounidense, representando el 50% del valor total importado en 2023, un aumento notable desde el 38% en 2022 y el 37% en 2021. Es interesante observar las variaciones en el valor de las importaciones

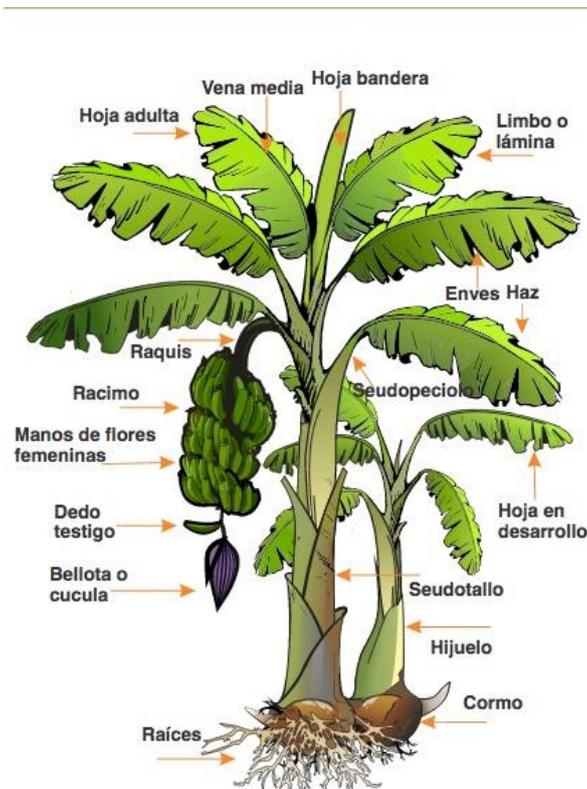
desde Ecuador, se alcanzaron \$170,1 millones, un aumento del 45% en comparación con 2022. (The Packer, 2024).

Además del impacto económico, la industria bananera ha tenido un importante papel social en Ecuador, generando empleo directo e indirecto para miles de familias en zonas rurales. El banano para el Ecuador no solo ha sido un motor económico crucial para el país a lo largo de su historia, sino que también ha demostrado ser un ejemplo de éxito en términos de sostenibilidad y responsabilidad social. (INEC, 2023).

2.3 Pseudotallo de banano

El plátano Cavendish es la variedad más consumida a nivel global, su nombre científico es "*Musa Cavendishii*". Se adapta mejor a climas frescos en zonas subtropicales, generando racimos grandes de frutas de tamaño medio que alcanzan entre 15 y 25 cm; su piel es verde al momento de la venta en los mercados, tornándose amarilla al madurar, durante este proceso, se desarrollan los azúcares y aromas característicos del plátano. (INEC, 2012).

Imagen 2 Morfología del banano



Fuente: Agricultura Ecuador (2016).

El pseudotallo del banano, es una parte fundamental de la planta de banano que desempeña un papel crucial en su crecimiento y desarrollo. En cuanto a su composición, el pseudotallo está compuesto principalmente por agua (alrededor del 90%), lo que le confiere una textura jugosa y suave; además, contiene carbohidratos, principalmente en forma de almidón y azúcares como la glucosa y la fructosa, que proporcionan energía a la planta durante su crecimiento. (Vargas Soto, Martínez Yepes, & Guarnizo Franco, 2013).

Las fibras presentes en el pseudotallo del banano, también conocidas como "fibras de celulosa", son uno de los aspectos más interesantes de esta estructura; son largas y resistentes, lo que las convierte en un material ideal para diversos usos industriales y artesanales. Su fibra tiene entre 13-15% de lignina, lo que le confiere al papel de pseudotallo de banano propiedades comparables con la fibra maderera. (ACI, 2020), por

lo que son utilizadas en la fabricación de papel, textiles, cuerdas, tejidos y productos de artesanía, entre otros.

2.4 Aprovechamiento del pseudotallo

El banano es una de las frutas más consumidas en el mundo, pero lo que muchos desconocen es que su pseudotallo también puede ser aprovechado de diversas formas, contribuyendo así a la economía circular y promoviendo la sostenibilidad.

El pseudotallo del banano es una parte de la planta que generalmente se desecha después de la cosecha de los frutos. Sin embargo, este material fibroso tiene un gran potencial para ser utilizado en la fabricación de diversos productos, gracias a sus propiedades resistentes y flexibles. "De hecho, se ha indicado que por cada tonelada de racimos de banano se producen 3 toneladas de pseudotallo y 480 kg de hojas (França, 2010) [5], motivo por el cual se considera de gran pertinencia y aplicación estudiar alternativas de aprovechamiento de los residuos de la cosecha y postcosecha del plátano, específicamente del pseudotallo, con el objetivo de poder brindarle un valor agregado al cultivo de la especie y contribuir con la disminución de desechos". (UNEMI, 2019). Siendo así, una de las principales ventajas del aprovechamiento del pseudotallo de banano su contribución a la economía circular, ya que se trata de un recurso renovable que puede ser reutilizado en lugar de desecharse. De esta manera, se reduce la generación de residuos y se promueve un uso más eficiente de los recursos naturales.

Las fibras del pseudotallo del banano son muy versátiles y pueden ser utilizadas en la fabricación de una amplia gama de productos, como textiles, papel, envases biodegradables, muebles y artículos de decoración. Estas fibras son resistentes y duraderas, lo que las hace ideales para aplicaciones donde se requiere un material fuerte y flexible. "El pseudotallo: es una fuente de fibra y, en especial, las especies de Musa textiles de Musa (el abacá, manila, el cáñamo) sirven para hacer ropas, cordones, hilos, forros interiores de vehículos. La fibra común que se extrae de los pecíolos secos y el pseudo tallo de la planta son utilizados en la fabricación de ciertos papeles (INFOMUSA, 1994). También se han demostrado las propiedades antioxidantes del polvo del pseudo

tallo, las cuales le confieren al producto cualidades promotoras de salud (Pérez Capote M.R. et al., 2008) ". Revista Educación en Ingeniería (2010)

En particular, el potencial del pseudotallo del banano para la producción de papel es muy prometedor. Las fibras del tallo son adecuadas para la fabricación de papel reciclado, ya que tienen propiedades similares a las fibras de celulosa utilizadas tradicionalmente en la industria papelera. Además, el proceso de obtención de estas fibras es menos contaminante que el proceso convencional de fabricación de papel a partir de pulpa de madera.

La producción de papel a partir del pseudotallo del banano no solo contribuye a reducir la deforestación y la contaminación ambiental, sino que también genera oportunidades económicas para comunidades rurales donde se cultiva esta fruta. Al aprovechar este recurso subutilizado, se pueden crear empleos locales y fomentar el desarrollo sostenible en regiones productoras de banano.

2.5 Marco legal

2.5.1 Constitución de la Republica. (2008)

Artículo 14 - Establece el derecho a un ambiente sano y subraya la importancia de la preservación ecológica y la recuperación de espacios naturales degradados.

Artículo 350 - Define que el sistema de educación superior debe enfocarse en la formación integral, la investigación, la innovación y la resolución de problemas del país.

Estos artículos son relevantes para la producción de papel reciclado a base de pseudotallo de banano en Ecuador porque fomentan un enfoque sostenible hacia el manejo de residuos, como el pseudotallo de banano, un subproducto de la industria bananera que generalmente se desperdicia. La aplicación de estos principios podría impulsar investigaciones y desarrollos innovadores en el sector educativo, facilitando la creación de soluciones ecológicas que contribuyan tanto a la conservación del ambiente como al aprovechamiento eficiente de recursos locales.

2.5.2 Global G.A.P. - BPA

Esta es una norma mundial para Las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), que se refieren a métodos que buscan la sostenibilidad ambiental, económica y social en los procesos de producción agrícola, garantizando la calidad e inocuidad de los alimentos y productos no alimenticios. En la industria del banano, las BPA son fundamentales para asegurar la sostenibilidad de la producción, minimizar el impacto ambiental y garantizar condiciones higiénicas en las actividades de cosecha, empaque y transporte, con el fin de ofrecer fruta segura y de alta calidad a los consumidores. Además, es crucial abordar los riesgos laborales asociados con ciertas actividades en el sector bananero para garantizar una producción segura y eficiente.

2.5.3 Código Orgánico Ambiental.

Publicado en el Registro Oficial 983 – Suplemento. Abril, 2017.

Artículo 229 - Aborda la gestión adecuada de residuos sólidos no peligrosos, destacando que una gestión apropiada es crucial para prevenir impactos ambientales y riesgos para la salud humana.

Este artículo se relaciona de manera importante con la producción de papel reciclado a base de pseudotallo de banano, ya que el pseudotallo es un residuo comúnmente generado por la industria bananera. La implementación efectiva de la gestión integral de estos residuos, tal como lo prescribe el artículo, no solo ayuda a minimizar daños ambientales y riesgos a la salud, sino que también facilita la valorización de este subproducto en el proceso de reciclaje, promoviendo una solución sostenible y ecológica para el aprovechamiento de residuos bananeros.

2.5.4 Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones, COPCI.

Publicado en el Registro Oficial Suplemento 351 de 29-dic.-2010. Última modificación: 31-dic.-2019 Estado: Reformado

El COPCI, abarca todo el proceso productivo, desde la utilización de los recursos hasta la distribución y consumo de los productos. Busca promover la actividad productiva a nivel nacional, incluyendo a la economía popular y solidaria, así como a las diversas formas de organización de la producción reconocidas en la Constitución. También se rige por principios que permiten una articulación estratégica a nivel internacional a través de la política comercial y un régimen aduanero moderno y eficiente.

A su vez, esta normativa detalla en sus artículos pertenecientes al "Libro VI Sostenibilidad de la Producción y su Relación con el Ecosistema - Título I - De la Eco-eficiencia y Producción Sostenible", que los procesos productivos eficientes son aquellos que utilizan tecnologías limpias y energías alternativas no contaminantes, con el objetivo de reducir los impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente. Las medidas tomadas por estos artículos tienen el fin de mejorar la producción considerando el ciclo de vida de los productos y promover el uso sustentable de los recursos naturales. Además, hace énfasis en que los procesos productivos eficientes son aquellos que implementan tecnologías avanzadas para administrar y utilizar de manera racional los recursos, así como prevenir y controlar la contaminación ambiental generada por los procesos productivos.

2.5.5 Reforma al Reglamento a la ley para estimular y controlar la producción y comercialización del banano, plátano (Barraganete) y otras musáceas afines destinadas a la exportación.

Publicado en el Suplemento Registro Oficial N° 315. 16 de abril del 2004

El Decreto actualiza el Reglamento de la Ley que regula la producción y comercialización del banano, plátano y otras musáceas para exportación. Se establecen cambios en la convocatoria de reuniones para fijar los precios mínimos de las cajas de banano, así como en la responsabilidad del productor en cuanto a la calidad de la fruta.

2.5.6 Acuerdo No. 061 reforma del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria - Capítulo VI. Gestión integral de residuos sólidos no peligrosos, y desechos peligrosos y/o especiales.

Publicado en la Edición Especial N° 316 - Registro Oficial. 4 de mayo de 2015.

Artículo 55 - Gestión Integral de Residuos y/o Desechos Sólidos No Peligrosos:

Define la gestión integral como el conjunto de acciones y disposiciones para manejar los residuos sólidos no peligrosos de manera técnica, ambiental y socioeconómicamente adecuada. Esto incluye fases como la minimización en la generación, separación en la fuente, almacenamiento, recolección, transporte, acopio y/o transferencia, tratamiento, aprovechamiento y disposición final. El artículo subraya la importancia de una gestión adecuada para reducir impactos ambientales en cada etapa.

Artículo 56 - Normas Técnicas: Establece que la Autoridad Ambiental Nacional debe definir las normas técnicas para la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos en todas sus fases, garantizando estándares uniformes para su manejo.

Artículo 57 - Responsabilidades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales:

Detalla las responsabilidades de los Gobiernos Municipales en la gestión integral de residuos, que incluyen la minimización de residuos, separación en la fuente, recolección, almacenamiento temporal, acopio, transferencia, tratamiento y disposición final. También deben elaborar planes municipales de gestión, fomentar la cultura de reciclaje y asegurar una disposición final adecuada. Además, deben eliminar botaderos a cielo abierto y promover la instalación de centros de recuperación de residuos.

Artículo 58 - Viabilidad Técnica:

La Autoridad Ambiental Nacional otorgará viabilidad técnica a los estudios de factibilidad y diseños para proyectos de gestión de residuos, incluyendo un análisis detallado de todas las fases del manejo de residuos y la selección de alternativas viables desde el punto de vista técnico, ambiental y socioeconómico.

Artículo 59 - Fases de Manejo de Desechos y/o Residuos Sólidos No Peligrosos:

Define las etapas del manejo de residuos sólidos no peligrosos, incluyendo minimización en la generación, separación en la fuente, almacenamiento, recolección, transporte, acopio y/o transferencia, aprovechamiento, tratamiento y disposición final.

Artículo 60 - Del Generador: Establece las responsabilidades de los generadores de residuos no peligrosos, que deben minimizar la generación, separar y clasificar los residuos en la fuente, almacenar temporalmente bajo condiciones adecuadas y llevar un registro mensual de residuos. Los grandes generadores deben entregar los residuos clasificados a gestores autorizados y realizar una declaración anual de manejo de residuos.

Artículo 61 - De las Prohibiciones: Prohíbe el depósito de sustancias líquidas, pastosas, excretas y desechos peligrosos en los recipientes destinados para residuos sólidos no peligrosos.

Artículo 62 - De la Separación en la Fuente: Obliga a los generadores de residuos sólidos no peligrosos a realizar la separación en la fuente, de acuerdo con el Plan Integral de Gestión de Residuos y la normativa aplicable.

Artículo 63 - Del Almacenamiento Temporal Urbano: Define los parámetros para el almacenamiento temporal de residuos sólidos no peligrosos, incluyendo el uso de recipientes cerrados, con identificación adecuada y condiciones técnicas establecidas por la normativa.

Artículo 64 - De las Actividades Comerciales y/o Industriales: Establece requisitos para el almacenamiento temporal de residuos en actividades comerciales e industriales, incluyendo instalaciones adecuadas, limpieza periódica, ventilación y acceso restringido.

Artículo 66 - De la Recolección: Define la responsabilidad de los Gobiernos Municipales en la recolección de residuos, incluyendo métodos de recolección y frecuencia, con el objetivo de evitar impactos negativos en la salud y el ambiente.

Artículo 67 - Del Transporte: Regula el transporte de residuos sólidos no peligrosos, estableciendo requisitos para el equipo de transporte, evitando derrames y asegurando la limpieza y desinfección de vehículos y recipientes.

Artículo 69 - Del Acopio y/o Transferencia: Requiere que los Gobiernos Municipales instalen centros de acopio y/o transferencia para optimizar recursos y reducir impactos ambientales, cumpliendo con ciertos requisitos como área delimitada, ventilación y prevención de filtraciones.

Artículo 70 - De los Centros de Acopio: Define los requisitos para los centros de acopio de residuos, incluyendo iluminación, ventilación, impermeabilización del suelo y control de olores.

Artículo 73 - Del Aprovechamiento: Exige a las empresas y municipalidades implementar programas de aprovechamiento de residuos, mediante reciclaje, reutilización, compostaje u otras modalidades que beneficien el medio ambiente y la economía.

Artículo 74 - Del Tratamiento: Establece que los generadores, empresas y municipalidades deben dar un tratamiento adecuado a los residuos sólidos no peligrosos, modificando sus características para reducir impactos ambientales y facilitar su manejo.

Art. 75 - De la disposición final: Define las condiciones para la disposición final de residuos en rellenos sanitarios o alternativas aprobadas, asegurando que se minimicen los impactos ambientales. Para el sector bananero, esto es relevante para los residuos que no pueden ser reciclados o aprovechados.

Art. 76 - Del plan de gestión integral de residuos sólidos no peligrosos: Exige la elaboración y actualización de un plan de gestión integral de residuos, que debe ser aprobado por la Autoridad Ambiental Nacional. En la industria bananera, este plan debe abordar la generación, separación, almacenamiento, recolección, y disposición de residuos específicos.

Art. 77 - Contenido del plan para la gestión integral de los residuos sólidos no peligrosos: Define el contenido que debe incluir el plan de gestión, como diagnóstico, alternativas de manejo, programas de separación y reciclaje, y objetivos. Para la industria bananera, el plan debe adaptarse a los tipos y volúmenes de residuos generados en el proceso de producción y comercialización del banano.

CAPÍTULO III

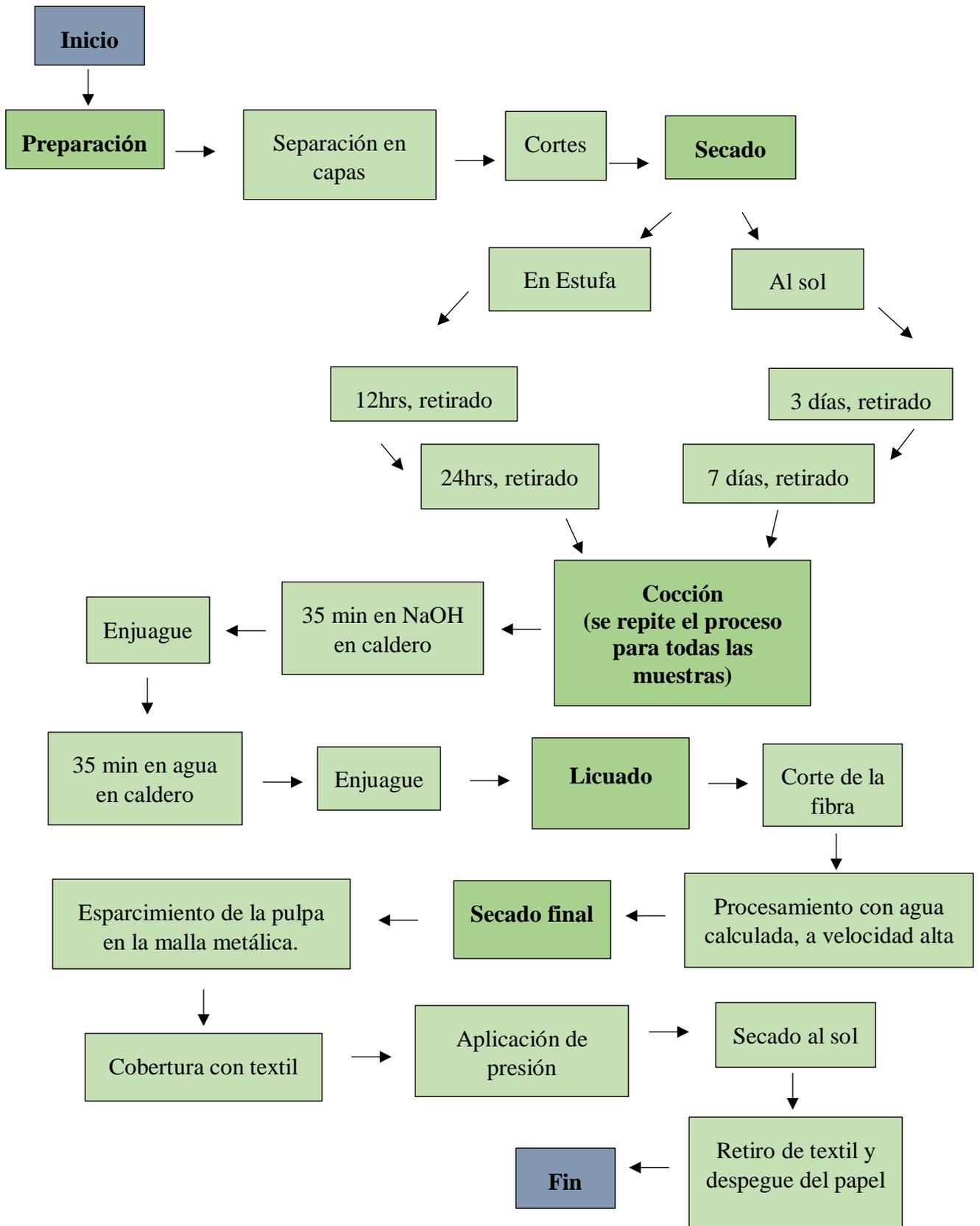
3 MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso metodológico empleado, para la producción de papel reciclado utilizando el pseudotallo de banano como materia prima principal, abarca desde la preparación inicial del pseudotallo, que incluye la separación en capas y su corte en tiras finas, hasta las etapas de secado, cocción, licuado y secado final. Cada etapa del proceso está diseñada para maximizar la eficiencia y calidad del papel reciclado, comenzando con la deshidratación del material mediante exposición solar y estufa, seguida por la cocción en una solución alcalina para la preparación de las fibras. El proceso culmina en el licuado controlado de las fibras y el secado final al aire libre, con medidas precisas para asegurar una pulpa homogénea y un producto final con características óptimas. Esta metodología busca no solo generar un papel reciclado de alta calidad, sino también demostrar la viabilidad del pseudotallo de banano como alternativa sostenible en la industria del papel.

3.1 Fases del proceso de elaboración de papel reciclado

- 1) Preparación
- 2) Secado al sol
- 3) Secado en estufa
- 4) Cocción
- 5) Licuado
- 6) Secado final

Imagen 3 Diagrama de flujo de proceso de elaboración de papel reciclado a base de pseudotallo de banana



Fuente: Autora

Preparación: Se llevó a cabo la separación del pseudotallo en sus capas individuales. Posteriormente, se realizaron cortes horizontales en cada capa, posicionada verticalmente, para obtener piezas de tamaño manejable. Finalmente, estas piezas se cortaron en tiras finas verticales, facilitando su procesamiento posterior.

Secado al sol: Se extendieron sobre un sustrato textil para facilitar su manejo y protección contra la intemperie. Después de tres días de exposición solar, se recogió la mitad de las tiras, ya secas y listas para el siguiente paso. Tras siete días de secado, la otra mitad de las tiras alcanzó un nivel óptimo de deshidratación y fue retirada para su uso posterior.

Secado en estufa: Los pseudotallos de banano se dispusieron uniformemente en recipientes de aluminio para termoprocesamiento, para así poder asegurar un secado homogéneo. Estos recipientes se introdujeron en la estufa, ajustada a una temperatura constante de 100 grados Celsius, donde los pseudotallos comenzaron a deshidratarse lentamente. Después de 12 horas, se retiró la primera tanda de la materia antes mencionada, y tras 24 horas, se retiró la segunda tanda, completando el proceso de secado.

Cocción: Los pseudotallos de banano se sumergieron en una olla con 3 litros de solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 9%, cocinándose a temperatura baja durante 35 minutos para ablandar las fibras sin romperlas. Posteriormente, se enjuagaron con agua para eliminar residuos alcalinos. Luego, se cocieron a fuego medio en agua limpia durante otros 35 minutos para hidratar y limpiar las fibras restantes. Finalmente, se enjuagaron nuevamente para asegurar la completa eliminación de cualquier residuo de NaOH, dejándolos listos para su uso final.

Licuadao: Se ajustó el volumen de agua utilizado en función de la humedad variable de las muestras de pseudotallo de banano. Tras realizar los cálculos necesarios, se cortaron los pseudotallos en trozos más pequeños para evitar que las fibras largas se enredaran en las cuchillas de la licuadora, asegurando un flujo eficiente y evitando daños al equipo. Los trozos se colocaron en la licuadora junto con la cantidad precisa de agua calculada, garantizando la proporción adecuada entre fibra y agua para obtener una pulpa con la consistencia deseada. Se encendió la licuadora y se procesó la mezcla a una velocidad moderada a alta hasta obtener una pulpa homogénea, cuidando que la textura resultante fuera suave y uniforme para asegurar la calidad del papel final.

Secado final: Se seleccionó un área al aire libre con óptima exposición solar y buena ventilación, evitando lugares expuestos a vientos fuertes que pudieran afectar el secado. Se utilizó una malla metálica, debidamente dividida y etiquetada para cada muestra, como superficie para esparcir la pulpa de manera uniforme, asegurando un grosor consistente en todo el papel. Para proteger la pulpa de contaminantes, se cubrió con una tela fina que permitía la circulación de aire y luz solar. Se aplicó presión moderada sobre la tela con un libro para lograr una superficie lisa y uniforme. La pulpa se dejó secar al sol durante un día, monitoreando constantemente el proceso para garantizar un secado homogéneo. Una vez seco, con una textura firme y sin humedad residual, se retiró cuidadosamente la tela y se despegó el papel de la malla metálica utilizando una espátula plana o las yemas de los dedos para mantener su integridad.

3.2 Materiales y equipos

A continuación, se detallan las etapas del proceso de elaboración de papel reciclado a base de pseudotallo de banano, detallando los materiales y equipos utilizados:

Tabla 2 *Materiales y equipos utilizados en el proceso*

ETAPAS DEL PROCESO	MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS	DETALLE Y PROPÓSITO
Preparación	Pseudotallo de banano Cuchillo de sierra	Pseudotallo de banano: Materia prima. Cuchillo de sierra: Para cortar el pseudotallo en capas y tiras manejables.
Secado al Sol	Sustrato textil liso	Sustrato textil liso: Para extender las tiras y protegerlas de la intemperie.

Secado en Estufa	<p>Recipientes de aluminio para termo procesamiento</p> <p>Estufa</p>	<p>Recipientes de aluminio: Para el secado uniforme en estufa.</p> <p>Estufa: Secado de los pseudotallos de banano a 100 grados Celsius.</p>
Cocción	<p>Bowl de acero inoxidable</p> <p>3 litros de NaOH al 12%</p> <p>Agua disponible para lavado</p> <p>Cuchareta</p> <p>Pinzas de manipulación</p> <p>Placa calefactora (cocción a baja temperatura)</p>	<p>Bowl de acero inoxidable: Contenedor para la cocción.</p> <p>NaOH al 12%: Solución alcalina para ablandar las fibras.</p> <p>Cuchareta: Para manipular el NaOH.</p> <p>Placa calefactora: Para mantener una temperatura constante de 100°C.</p> <p>Pinzas: Para retirar los tallos y evitar quemaduras.</p>
Licudo	<p>Licuada</p> <p>Agua</p> <p>Cizallas de laboratorio</p> <p>Cuchareta</p>	<p>Licuada: Para procesar la pulpa de las fibras.</p> <p>Agua para el licudo: Ajustada según la humedad de las muestras.</p> <p>Cizallas y cuchareta: Para cortar y manipular las muestras antes y después del licudo.</p>
Secado Final	<p>Malla metálica (con divisiones: 3d y 7d, 12h y 14h)</p> <p>Sustrato textil liso</p> <p>Bloque o material pesado y plano</p>	<p>Malla metálica: Para esparcir la pulpa de manera uniforme.</p> <p>Sustrato textil liso: Para cubrir la pulpa y protegerla durante el secado.</p>

Bloque o material pesado: Para
aplanar la pulpa y asegurar un grosor
uniforme.

Elaborado por: Autora

CAPITULO IV

4 RESULTADOS

4.1 Experimentación en la elaboración de papel reciclado a base de pseudotallo de banano

4.1.1 Preparación

- 1) Se realizó la separación de capas del pseudotallo de banano.
- 2) Cortes horizontales de cada capa posicionada verticalmente, para la obtención de tamaños más manejables para el proceso.
- 3) Corte de cada parte de dichas capas, en tiras finas verticales.

Imagen 4 Corte de pseudotallos de banano



Fuente: Autora

4.1.2 Secado al sol

- 1) Las tiras del pseudotallo de banano fueron dispuestas cuidadosamente sobre una sábana extendida al sol, aprovechando este material para facilitar su recolección en caso de que fuera necesario moverlas o protegerlas a causa de los efectos de la intemperie.
- 2) Tras tres días de secado al sol en Guayaquil, durante las fechas del 15, 16 y 17 de julio, se procedió a recoger la mitad de las tiras, ya secas y listas para el siguiente paso en su procesamiento.
- 3) Cumplidos los siete días bajo el sol en Guayaquil, durante las fechas 15, 16, 17, 18, 19, 20, y 21 de julio, se retiró la otra mitad de las tiras, que habían alcanzado un nivel óptimo de deshidratación, listas para ser utilizadas según lo previsto.

4.1.2.1 Observaciones

- Durante el secado al sol de los pseudotallos de banano, realizado las fechas mencionadas, se registraron condiciones meteorológicas extremas en Ecuador. El lunes 15 de julio, la temperatura superó los 21 grados centígrados, y el país experimentó niveles elevados de radiación ultravioleta, particularmente en la región de la Sierra y en ciertos sectores de la Costa; el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) emitió una alerta meteorológica advirtiendo sobre un aumento en la temperatura diurna (INAMHI, 2024), intensificando la exposición a la radiación solar durante el período de secado.
- En general se pudo observar un secado progresivo y uniforme debido a la extensión sobre la sabana, dándole espacio a cada tallo de recibir el sol equitativamente.
- Con respecto al color, en ningún momento se nota un cambio drástico en él. El cambio es sutil dentro de la gama de tonos amarillos pálidos y tonos crema, inclinándose hacia un tono algo más bronceado dentro de las últimas etapas de secado.
- En cuanto a la textura y apariencia, se nota desde las primeras horas de exposición que existe un cambio rápido y notorio en la deshidratación del tallo; en las últimas etapas de deshidratación el cambio pasa más desapercibido.

Imagen 5 *Secado de pseudotallos de banano al sol*



Fuente: Autora

4.1.3 Secado en estufa

- 1) Los pseudotallos de banano se colocaron cuidadosamente en bandejas especiales, asegurándose de que cada pieza estuviera bien distribuida para permitir un secado uniforme en la estufa.
- 2) Las bandejas con los tallos fueron introducidas en la estufa, la cual se ajustó a una temperatura constante de 100 grados Celsius. El proceso de deshidratación comenzó, permitiendo que el calor envolviera lentamente los tallos.
- 3) Transcurridas las primeras 12 horas, se procedió a retirar la primera tanda de tallos.
- 4) Después de 24 horas de secado, se retiró la segunda tanda de tallos.

4.1.3.1 Observaciones

- Hora 1: Los tallos comienzan a adquirir una temperatura tibia al tacto. Aunque no se observa un cambio significativo en su apariencia, se percibe que el proceso de deshidratación ha comenzado de manera muy gradual.
- Hora 2: Los tallos se sienten más calientes y empiezan a mostrar un cambio de color, pasando de su tono natural a uno levemente más oscuro. Durante esta etapa, se observa que los tallos están liberando una cantidad considerable de agua, lo que

provoca la formación de pequeñas gotas en la superficie. El proceso de deshidratación se vuelve más evidente.

- Hora 4: Los tallos comienzan a perder más humedad y su textura se vuelve notablemente más deshidratada al tacto. El color continúa oscureciéndose, y las piezas se tornan de un tono marrón más profundo. Aunque aún contienen alta humedad, la diferencia entre su estado inicial y actual es ya significativa.
- Hora 12: Los tallos han adquirido un color predominantemente marrón oscuro, con algunas áreas que presentan un tono negro. Sin embargo, aún se pueden encontrar algunas partes que permanecen más claras, con colores que van desde el tono crema hasta un marrón más suave. A pesar de que están considerablemente deshidratados, al tacto se puede sentir que algunas piezas aún retienen una cantidad apreciable de humedad.
- Hora 16: A esta altura, los tallos presentan un color que varía entre marrón oscuro y marrón más claro, con algunas áreas que mantienen un tono crema. Han alcanzado un estado de sequedad en el que, aunque siguen siendo flexibles y manejables, se nota una pérdida considerable de humedad. Su textura es más áspera, pero aún no han perdido totalmente su capacidad de movimiento.
- Hora 24: Los tallos se han secado completamente, presentando una textura mucho más rígida y seca. El color es predominantemente marrón oscuro, aunque algunas áreas aún muestran tonos más claros o crema. Estas características en textura de los tallos en esta etapa indican que han alcanzado un punto alto de deshidratación.

Imagen 6 Secado de pseudotallos de banano en estufa



Fuente: Autora

4.1.4 Cocción

- 1) Se colocaron los tallos de banano en un recipiente de acero inoxidable. Se agregaron 3 litros de solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 9%, asegurándose de que los tallos queden completamente sumergidos.
- 2) Se cocinaron los tallos a fuego bajo durante 35 minutos en la solución de NaOH. Esta cocción suave permite que las fibras del tallo se ablanden sin que se rompan, iniciando el proceso de descomposición controlada. Mantener el fuego bajo es crucial para evitar un hervor excesivo, que podría dañar la estructura de las fibras y afectar la calidad del proceso.
- 3) Una vez finalizada la cocción en NaOH, se retiraron los tallos del recipiente y fueron enjuagados cuidadosamente con agua. Este paso es fundamental para eliminar los restos de la solución alcalina y neutralizar el pH de las fibras antes de proceder con la siguiente cocción.
- 4) Una vez enjuagados, se colocaron nuevamente los tallos en un recipiente, llenándola esta vez con agua suficiente para cubrirlos completamente.
- 5) Se cocinaron los tallos a fuego medio durante 35 minutos. Esta segunda cocción a una temperatura más alta permite que las fibras se hidraten y se limpien de cualquier residuo alcalino, mejorando su textura y preparación. El fuego medio es

clave para asegurar una cocción uniforme sin evaporar el agua demasiado rápido, garantizando que los tallos absorban suficiente humedad.

- 6) Después de la cocción en agua, se retiraron los tallos y se enjuagaron nuevamente bajo agua corriente. Este último enjuague asegura que cualquier residuo restante de NaOH sea eliminado, dejando los tallos completamente limpios y listos para su uso final.

4.1.4.1 Observaciones

- Todo el proceso se repitió para las 4 muestras.
- Importancia del control de temperatura: Mantener un fuego bajo durante la cocción en la solución de NaOH es esencial para evitar un daño excesivo a las fibras del tallo de banana. Un calor excesivo podría provocar la ruptura de las fibras, afectando negativamente la calidad del papel final. Por lo tanto, es crucial monitorear constantemente la temperatura para garantizar una descomposición controlada y efectiva.
- Enjuague cuidadoso para neutralización: El enjuague de los tallos después de la cocción en NaOH no solo elimina los residuos de la solución alcalina, sino que también neutraliza el pH de las fibras. Este paso es fundamental para prevenir cualquier reacción química adversa durante la siguiente etapa de cocción y asegura que las fibras estén en las mejores condiciones para su posterior procesamiento.
- Optimización de la segunda cocción: La segunda cocción a fuego medio permite una mejor hidratación y limpieza de las fibras. Es importante asegurarse de que los tallos estén completamente sumergidos en agua durante esta fase, lo que facilita la eliminación de cualquier residuo alcalino restante y mejora la calidad final del papel. El equilibrio en la temperatura es clave para garantizar que las fibras absorban la cantidad adecuada de humedad sin que el agua se evapore demasiado rápido.
- Precisión en los enjuagues finales: El enjuague final bajo agua corriente es un paso crítico para garantizar que las fibras estén completamente libres de residuos de NaOH. Cualquier resto de la solución alcalina podría comprometer la integridad del papel y afectar su durabilidad. Por lo tanto, un enjuague meticuloso

asegura que los tallos estén en condiciones óptimas para el proceso de fabricación de papel, resultando en un producto final limpio y de alta calidad.

Imagen 7 *Cocción de pseudotallos de banana*



Fuente: Autora

4.1.5 Licuado

Dado que la cantidad de humedad presente en cada muestra de tallo de banana varía, es fundamental ajustar el cálculo del volumen de agua utilizado en el licuado para asegurar la consistencia del proceso. Para lograr esto, se utilizó la regla de tres, permitiendo establecer una proporción adecuada entre el peso de cada muestra y el volumen de agua necesario para su licuado.

Se decidió que cada muestra tendría un peso estándar de 50 gramos, para lo que se necesitó el uso de la balanza. Sin embargo, debido a las variaciones en el contenido de humedad, la cantidad de tallo neto (fibra seca) en cada muestra difiere, lo que afecta directamente la cantidad de agua requerida para el licuado.

En el caso de la muestra secada 7 días al sol, se determinó que se necesitarían 500 ml de agua para un licuado óptimo. A partir de este dato, se aplicó la regla de tres a cada una de las demás muestras, calculando de manera precisa el volumen de agua necesario para el licuado de acuerdo con el peso específico de cada una.

Fórmula empleada:

$$\frac{(\text{Vol en ml de la muestra elegida} \times \text{masa en gr de la nueva muestra})}{(\text{masa en gr de la muestra elegida})} = \text{Vol en ml ideal para licuado de la nueva muestra}$$

Tabla 3 *Cálculo de la cantidad de agua utilizada en cada muestra para el licuado*

PSEUDOTALLO DE BANANO	OPERACIÓN MATEMÁTICA	RESULTADO
Secado al sol 3 días	$(500\text{ml} \times 138.70\text{gr}) / (200.70\text{gr})$	346ml
Secado en estufa 12hrs	$(500\text{ml} \times 76.58\text{gr}) / (200.70\text{gr})$	191ml
Secado en estufa 24hrs	$(500\text{ml} \times 199.33\text{gr}) / (200.70\text{gr})$	497ml

Elaborado por: Autora

Luego de realizar los correspondientes cálculos, se procedió con el siguiente proceso:

- 1) Antes de licuar, se procedió a cortar la fibra del tallo de banano en trozos más pequeños. Este paso es esencial para prevenir que las fibras largas se enreden en las cuchillas de la licuadora, lo cual podría obstaculizar el proceso de licuado y dañar el equipo. Los cortes deben ser lo suficientemente pequeños como para permitir un movimiento fluido dentro de la licuadora, pero lo bastante grandes como para mantener la integridad de las fibras.

- 2) Se colocaron los trozos de fibra cortada en la licuadora, junto con la cantidad de agua previamente calculada para la mezcla. Es importante respetar la proporción adecuada de fibra a agua, ya que esto facilita el proceso de licuado y asegura que la pulpa resultante tenga la consistencia deseada. La cantidad de agua debe ser suficiente para cubrir la fibra y permitir que se licúe sin dificultades, pero no tanta como para diluir excesivamente la pulpa.
- 3) Se encendió la licuadora y se licuó la mezcla a una velocidad moderada a alta. El licuado continuó hasta que se obtuvo una pulpa homogénea. La textura de la pulpa debe ser suave y uniforme, lo que garantiza que el papel final tenga una superficie consistente. Durante este proceso, se monitoreó cuidadosamente la mezcla para asegurarse de que las fibras se desintegraran completamente y se integraran de manera uniforme en el agua.

4.1.5.1 Observaciones

- Aunque las fibras sean notorias en la pulpa, esta característica puede ser beneficiosa si se busca un acabado rústico y artesanal en el papel final. Las fibras visibles pueden añadir una textura única y natural al papel, lo que lo hace especialmente atractivo para aplicaciones artísticas o decorativas donde se valoran las imperfecciones y la autenticidad del material.
- La presencia de fibras largas y visibles en la pulpa puede contribuir a la resistencia y durabilidad del papel. Estas fibras actúan como refuerzos dentro de la estructura del papel, lo que puede resultar en un producto final más robusto y menos propenso a rasgarse o deteriorarse, especialmente si se va a utilizar para fines que requieren una mayor resistencia.

Imagen 8 Licuado para obtención de pulpa de pseudotallo de banano



Fuente: Autora

4.1.6 Secado final

- 1) Se seleccionó un área al aire libre con buena exposición al sol y adecuada ventilación. Es importante elegir un lugar que reciba luz solar directa durante la mayor parte del día y que esté protegido del viento fuerte que podría alterar la uniformidad del secado.
- 2) Se utilizó una malla metálica, dividida y rubricada para la identificación de cada muestra, como superficie del secado. La pulpa fue esparcida de manera uniforme sobre esta, asegurándose de que no quedaran áreas más gruesas que otras. Una distribución homogénea es clave para obtener un papel de grosor consistente.
- 3) Para proteger la pulpa de la contaminación por polvo, insectos o partículas ambientales, se cubrió con una tela fina y limpia. Esta tela permitió que la luz solar y el aire pasaran sin problemas, al tiempo que protegía la pulpa durante el secado.
- 4) Sobre las muestras cubiertas con la tela lisa, se le aplicó presión con un libro simulando la presión aplicada por un bloque; para así tener como resultado una apariencia uniforme y lisa. La presión fue aplicada con fuerza moderada durante segundos sobre cada muestra.

- 5) La pulpa se dejó al sol durante un día, y durante este tiempo, se monitoreó constantemente para asegurar que el secado fuera uniforme y que no quedaran áreas húmedas.
- 6) Una vez que la pulpa alcanzó un estado seco, con una textura firme y sin humedad residual, se retiró cuidadosamente la tela utilizada como superficie de secado.
- 7) Se procedió a retirar cuidadosamente las muestras de papel de la malla metálica. Para retirarlo sin dañarlo, se comienza despegando suavemente un borde con las yemas de los dedos o utilizando una espátula plana para levantar una esquina. Luego, con movimientos lentos y uniformes, se continúa despegando el papel a lo largo de toda la malla. Aunque está firmemente adherido, el papel se desprende de manera uniforme, conservando su integridad y forma perfecta.

4.1.6.1 Observaciones

- El secado al sol es un método eficiente y económico, pero su éxito depende en gran medida de las condiciones climáticas. Días nublados, lluvias inesperadas o incluso una humedad ambiental elevada pueden retrasar el proceso de secado y afectar la calidad del papel, haciendo necesario un monitoreo constante y posibles ajustes en la ubicación de la pulpa.
- Es crucial esparcir la pulpa de manera uniforme sobre la superficie de secado para evitar que queden áreas más gruesas o más delgadas, lo que podría resultar en un papel de grosor inconsistente. Un esparcimiento desigual podría llevar a un secado incompleto en algunas áreas, lo que podría causar fragilidad o defectos en el papel final.
- Durante el secado al sol, la pulpa está expuesta a elementos ambientales como polvo, insectos y otras partículas que pueden adherirse a la superficie del papel. Cubrir la pulpa con una tela fina es una medida efectiva para protegerla, pero es importante elegir una tela que permita una buena circulación de aire y no deje residuos en el papel.
- Es crucial retirar el papel de la malla con sumo cuidado para evitar rasgaduras o deformaciones en la muestra. Aplicar demasiada fuerza o intentar despegarlo rápidamente puede dañar la estructura del papel, especialmente en las áreas más

delgadas. Al proceder con paciencia y atención, se garantiza que la muestra final conserve su calidad y uniformidad.

Imagen 9 *Proceso final de secado para obtención de papel reciclado*



Fuente: Autora

4.2 Caracterización fisicoquímica de materia prima y subproductos

La caracterización fisicoquímica del pseudotallo de banano, en comparación con la materia prima tradicional para la fabricación de papel, como la madera, proporciona una comprensión profunda del comportamiento de ambas materias en el proceso de generación de pulpa y, por ende, en la producción de papel. Este análisis no solo revela el potencial de cada materia prima, sino que también ofrece una visión detallada sobre cómo se puede optimizar su procesamiento y mejorar la conservación del producto final.

4.2.1 Humedad

La humedad, tanto en la madera como en los pseudotallos de banano, se define como la relación entre la cantidad de agua presente en un volumen específico de materia y la masa de esa materia completamente seca, expresada en porcentaje. El contenido de agua en estas materias primas es un factor crucial que influye en su comportamiento físico y mecánico.

En el caso de la madera, el proceso de secado es relativamente más sencillo, ya que el porcentaje de agua no está estructuralmente ligado a las células, y la mayoría de los poros están llenos de aire. Sin embargo, aunque el secado de la madera mediante evaporación natural es bastante lento, estudios sugieren que la madera puede alcanzar un contenido de humedad aproximado del 20%, dependiendo de la especie. Este nivel de humedad es determinante para su posterior procesamiento y uso en la industria papelera. (CITEmadera, 2009)

En cuanto al pseudotallo de banano, tras realizar las pruebas de humedad que se realizaron en la balanza de humedad con medición directa a las muestras, se logró obtener los siguientes datos:

Tabla 4 *Resultados de % de Humedad*

PSEUDOTALLO DE BANANO	TEMPERATURA °C	TIEMPO	PORCENTAJE DE HUMEDAD
Materia prima	115°	70min12seg	91.1%
Secado al sol 3 días	115°	11min19seg	16%
Secado al sol 7 días	115°	09min31seg	12.5%
Secado en estufa 12hrs	115°	26min13seg	16.2%
Secado en estufa 24hrs	115°	9min28seg	10%

Elaborado por: Autora

Imagen 10 Prueba de humedad a muestras de pseudotallo de banano



Fuente: Autora

Los resultados de la prueba de humedad realizada a las muestras de pseudotallo de banano revelan diferencias significativas dependiendo del método y tiempo de secado, frente a la materia prima. Inicialmente, la materia prima fresca presentó un alto contenido de humedad del 91.1% cuando se sometió a 115°C durante 70 minutos y 12 segundos (cabe recalcar que es el tiempo en que el equipo de medición de humedad demoró en llegar a identificar su porcentaje de humedad, mas no un tiempo elegido para secado). Sin embargo, al someter las muestras a diferentes métodos de secado, la humedad disminuyó considerablemente, como lo demuestran los datos en la tabla 5. Se logra apreciar una comparación entre las muestras, y la igual eficiencia de secado entre los ambos métodos propuestos, con la diferencia de tiempo. Estos resultados destacan la eficacia del secado en estufa para reducir la humedad en un tiempo más corto en comparación con el secado al sol.

4.2.2 pH

Los valores de acidez obtenidos se pueden utilizar para predecir la estabilidad relativa de los papeles. El cambio en el contenido de celulosa alfa de un papel durante el

envejecimiento acelerado por calor se considera un indicador de su estabilidad relativa. Este criterio es especialmente útil cuando las comparaciones se limitan a papeles hechos con la misma fibra. En el caso del papel convencional, dentro de la mayoría de procesos, se logra identificar un pH moderadamente ácido, en un rango que varía entre 5 y 7. (Launer, H. F, 1939). Un pH ácido, causará una degradación, amarillamiento, pérdida de la resistencia mecánica de las fibras y proliferación de microorganismos en la superficie del papel. (F. Carvajal, 2021).

Las dos muestras expuestas al sol y las dos muestras tratadas en estufa indicaron un valor de 9-10 UpH utilizando tirillas de pH reactivas; esta prueba permite determinar el pH de una solución comparando el color obtenido con una escala de referencia. Este resultado sugiere una mayor concentración de iones de hidróxido (OH^-) en comparación con los iones de hidrógeno (H^+). En el contexto del papel, un pH elevado sugiere que este ha sido tratado para resistir la acidez, lo cual es una característica común en papeles archivísticos o en aplicaciones donde se busca evitar la degradación ácida. Este rango de pH contribuye a prolongar la vida útil del papel, protegiéndolo del deterioro químico en entornos ácidos; es decir, se neutraliza la acidez y se minimiza la hidrólisis y oxidación de la celulosa durante el almacenamiento, asegurando así su preservación a largo plazo. (Araujo, J. F, 2011).

Imagen 11 Pruebas de pH a muestras de pulpa de pseudotallo de banano



Fuente: Autora

4.2.3 Resistencia

La prueba de resistencia se llevó a cabo utilizando una prensa hidráulica de compresión marca HUMBOLDT, modelo HCM-100. La prueba se realizó en diferentes tipos de papel, comenzando con muestras de papel Bond, aplicando diferentes cargas en cada muestra. Una vez que se llegó a notar una deformación considerable en el papel Bond, se prosiguió a realizar con esa misma carga, las pruebas en cartulina Marfil. Tras la segunda prueba en la cartulina, se observó una deformación considerable. Una vez alcanzado ese punto crítico en la cartulina, se repitió el proceso utilizando la última carga ejercida sobre cada muestra de papel elaborado a partir de pseudotallo de banano.

Imagen 12 *Pruebas de resistencia en prensa hidráulica de compresión*



Fuente: Autora

4.2.3.1 Datos Obtenidos

Tabla 5 *Pruebas de resistencia a papel Bond*

PAPEL BOND	VELOCIDAD	CARGA DESEADA	CARGA EJERCIDA
Muestra 1	0.05 MPa/seg	50KN	58.52KN
Muestra 2	0.05 MPa/seg	100KN	110.56KN
Muestra 3	0.05 MPa/seg	150KN	158.37KN
Muestra 4	0.05 MPa/seg	200KN	205.64KN
Muestra 5	0.05 MPa/seg	250KN	254.80KN
Muestra 6	0.05 MPa/seg	300KN	303.83KN

Elaborado por: Autora

Tabla 6 *Pruebas de resistencia a cartulinas Marfil*

CARTULINA MARFIL	VELOCIDAD	CARGA DESEADA	CARGA EJERCIDA
Muestra 1	0.05 MPa/seg	300KN	303,85KN
Muestra 2	0.05 MPa/seg	400KN	403,56KN

Elaborado por: Autora

Tabla 7 Pruebas de resistencia a papel a base de pseudotallo de banano

PSEUDOTALLO DE BANANO	VELOCIDAD	CARGA DESEADA	CARGA EJERCIDA
Secado al sol 3 días	0.05 MPa/seg	400KN	404,56KN
Secado al sol 7 días	0.05 MPa/seg	400KN	403,31KN
Secado en estufa 12hrs	0.05 MPa/seg	400KN	408,52KN
Secado en estufa 24hrs	0.05 MPa/seg	400KN	405,84KN

Elaborado por: Autora

4.2.3.2 Análisis de datos obtenidos

Durante las pruebas de resistencia en el papel Bond, se observó un deterioro progresivo a medida que la carga aumentaba. Con una carga de 58.52KN, aparecieron pequeñas marcas superficiales que indicaban el inicio de la deformación. Al aplicar 110.56KN, la deformación se hizo más evidente en la zona de presión, señalando que el papel comenzaba a perder su elasticidad. Con 158.37KN, la deformación fue considerable, y se observó una leve transparencia en el área afectada, lo que reflejaba un debilitamiento significativo de las fibras. A 205.64KN, la transparencia en la zona de carga fue casi total, y aparecieron pequeñas grietas, sugiriendo un inminente colapso del material. Con 254.80KN, el papel Bond comenzó a perforarse en ciertas partes de la zona comprimida, formando una abertura visible que indicaba un fallo crítico en la estructura. Finalmente, bajo una carga máxima de 303.83KN, la perforación se amplió considerablemente, con bordes desgarrados, dejando el material sin capacidad de recuperación estructural.

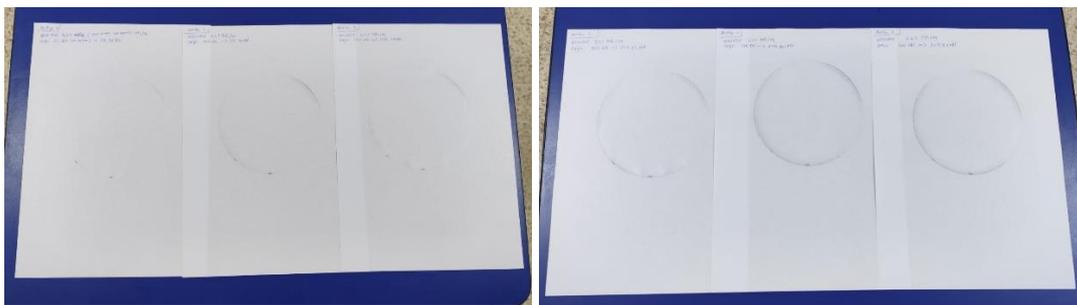
Las pruebas realizadas en la cartulina Marfil demuestran que este material posee una mayor resistencia a la compresión en comparación con el papel Bond, resistiendo cargas significativamente mayores antes de mostrar signos de deterioro. Al alcanzar una carga de 303.85KN comenzaron a deformarse visiblemente en su superficie. Esto indica que la cartulina estaba empezando a ceder bajo la presión, pero aún mantenía su integridad sin

mostrar signos de transparencia; mientras que, al aplicar una carga de 403.56KN, la deformación en la cartulina fue aún más pronunciada que en la primera prueba, y lo más significativo fue la aparición de transparencia en algunas áreas, particularmente en la zona central donde se ejerció la presión. Esta transparencia indicaba un debilitamiento crítico de las fibras de la cartulina, sugiriendo que el material estaba alcanzando su límite estructural, aunque no llegó a perforarse.

En las pruebas realizadas, el papel reciclado mostró una notable resistencia sin sufrir deformaciones, transparencia o perforaciones significativas. En la muestra secada al sol durante 3 días, con una carga ejercida de 404.56KN, la estructura del material permaneció íntegra, con un aplanamiento que produjo una superficie lisa similar a la cartulina Marfil. De manera similar, en la muestra secada al sol durante 7 días, con una carga de 403.31KN, no se observaron deformaciones ni signos de transparencia, y la textura fibrosa característica se suavizó notablemente. En la prueba con secado en estufa durante 12 horas y una carga de 408.52KN, el papel reciclado continuó demostrando su resistencia, manteniendo su estructura sin ceder a la presión, con una superficie aplanada y lisa comparable a la cartulina Marfil. Finalmente, la muestra secada en estufa durante 24 horas, sometida a una carga de 405.84KN, reflejó la misma tendencia de alta resistencia y alisamiento en el área de compresión, sin deformaciones críticas ni transparencia.

El papel reciclado a base de pseudotallo de banano destacó por su excelente resistencia a la compresión, superando al papel Bond y a la cartulina Marfil en términos de integridad estructural bajo carga; a diferencia de estos materiales, no presentó deformaciones pronunciadas, transparencia ni perforaciones, lo que subraya su robustez. A pesar de su textura inicial rústica y fibrosa, derivada del pseudotallo de banano, el área sometida a carga se alisó considerablemente, asemejándose a la cartulina Marfil. Esto sugiere que, con un procesamiento adicional para refinar su textura, el papel reciclado podría competir directamente con la cartulina Marfil, ofreciendo una textura similar, pero con una resistencia significativamente mayor, convirtiéndose en una alternativa viable para aplicaciones que requieren tanto resistencia como una superficie suave y uniforme.

Imagen 13 *Prueba de resistencia a papel Bond*



Muestras: 1, 2, 3

Muestras: 4, 5, 6

Fuente: Autora

Imagen 14 *Prueba de resistencia a cartulina Marfil*



Muestras: 1 y 2

Fuente: Autora

Imagen 15 Prueba de resistencia a papel reciclado a base de pseudotallo de banano



Muestras: en estufa
12hrs y 24 hrs

Muestras: al sol 3
días y 7 días

Fuente: Autora

4.2.4 Análisis de textura

Al caracterizar las diferentes muestras de papel reciclado a base de pseudotallo de banano, es esencial considerar las variaciones en la textura y el tacto, que resultan directamente del método de secado empleado en cada muestra; estas diferencias no solo influyen en la apariencia visual del papel, sino también en su aplicación potencial.

La siguiente tabla detalla estas observaciones para cada muestra, subrayando la importancia de estos factores en la evaluación y selección del material adecuado para aplicaciones específicas:

Tabla 8 *Análisis de textura*

MUESTRA	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Secado en estufa 12 horas	La muestra presenta un tono café-marrón uniforme con fibras más claras que aportan un contraste visual. Su textura es fina y áspera, indicando una estructura densa y bien compactada.	
Secado en estufa 24 horas	Similar a la muestra de 12 horas, muestra un tono café-marrón con variaciones más claras. La textura es igualmente fina y áspera, destacándose por su homogeneidad y resistencia.	
Secado al sol 3 días	De tono crema con áreas grisáceas, la muestra exhibe una textura rústica y áspera. La consistencia es notablemente uniforme, reflejando un entrelazado homogéneo de las fibras en la pulpa.	
Secado al sol 7 días	Con un tono crema similar al de 3 días, esta muestra también presenta áreas grisáceas. Su textura es rústica y áspera, con una consistencia sólida que denota un entrelazado uniforme de fibras.	

Elaborado por: Autora

4.2.5 Propuesta financiera

La presente propuesta financiera tiene como objetivo detallar y justificar los recursos necesarios para la implementación de un proyecto innovador enfocado en la producción de papel reciclado a partir del pseudotallo de banano. Este proyecto busca aprovechar los residuos generados por la industria bananera en el Ecuador, específicamente en la provincia de Guayas, cantón Naranjal, recinto Puerto Inca, sector parroquia San Carlos.

En esta propuesta se ha realizado un análisis detallado de los costos asociados a la inversión inicial, los gastos de operación y los costos directos e indirectos de producción. La información presentada abarca la adquisición de terrenos, la compra de maquinaria y equipos, así como los materiales directos necesarios para el proceso de producción, incluyendo el costo del transporte y otros elementos críticos. Se ha contemplado la estimación de costos ajustados a un escenario realista.

Esta evaluación pretende proporcionar una visión clara y fundamentada sobre la inversión requerida, optimizando los recursos disponibles y estableciendo un marco de referencia para futuras fases de expansión y desarrollo industrial.

4.2.5.1 Datos financieros

A continuación, te presento una versión ajustada de las tablas financieras para tu proyecto, tomando en cuenta los costos de terrenos en sectores como Naranjal, el transporte de pseudotallos, y el cálculo de producción basado en la cantidad de pseudotallos disponibles:

Tabla 9 *Terrenos y obras civiles*

DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO (USD)	CANTIDAD	TOTAL (USD)
Terreno (Sector Naranjal, precio por m ²)	40	304	12,160.00
Área de Bodega	20	80	1,600.00
Área de Administración	25	80	2,000.00
Tumbado área de administración	5	80	400.00
Techado área bodega y administración	15	160	2,400.00
Instalación de puntos eléctricos	20	6	120.00
TOTAL			18,680.00

Elaborado por: Autora

Tabla 10 *Maquinarias, mobiliarios y equipos*

DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO (USD)	CANTIDAD	TOTAL (USD)
Báscula industrial 3000 Kg Rhino plaba	1,427.61	1	1,427.61
Triciclo (para transporte de pseudotallos)	220.00	2	440.00
Molino Machine Pasen 1,2 Ton/hr	2,500.00	1	2,500.00
Tanques plásticos azules de 55 Kg	93.48	10	934.80
Tanques plásticos pequeños de 20 Kg	8.40	100	840.00
Palas	12.98	10	129.80
Rastrillos	15.79	10	157.90
Cosedora Industrial de sacos Oriente	115.00	1	115.00
Escritorios	150.00	3	450.00
Sillas giratorias	80.00	3	240.00
Sillas Plásticas	10.00	5	50.00

Repisas	70.00	2	140.00
Anaqueles (aéreos)	30.00	3	90.00
Computadores completos	800.00	2	1,600.00
Teléfonos	80.00	1	80.00
Dispensador de agua	100.00	1	100.00
Acondicionador de aire de 10000 BTU	500.00	1	500.00
Impresora	200.00	1	200.00
TOTAL			9,994.11

Elaborado por: Autora

Tabla 11 Materiales

DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO (USD)	CANTIDAD	TOTAL (USD)
Pseudotallo (costo de transporte)	0.02	50,000	1,000.00
Pseudotallo de banano (Materia prima)	0.01	50,000	500.00
Cuchillo de sierra	12.00	5	60.00
Sustrato textil liso	110.00	6.44	708.40
Recipientes de aluminio	30.00	5	150.00
Estufa	1,500.00	1	1,500.00
Bowl de acero inoxidable	20.00	5	100.00
NaOH al 12%	3.00	10 Kg	30.00
Cuchareta	1.50	5	7.50
Placa calefactora	50.00	1	50.00
Pinzas	5.00	5	25.00
Licuada	100.00	1	100.00
Agua para el licuado	0.23	48 L	11.04
Cizallas	12.00	1	12.00
Malla metálica	15.00	1	15.00
Bloque o material pesado	20.00	1	20.00
Plástico negro	110.00	6.44	708.40
Sacos	0.10	960.00	96.00

Hilo	2.00	2.00	4.00
Etiqueta	0.01	960.00	9.60
TOTAL			4,846.94

Elaborado por: Autora

Tabla 12 *Mano de obra directa*

DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO (USD)	CANTIDAD	TOTAL (USD)
Operarios	6,000.00	1	6,000.00
TOTAL			6,000.00

Elaborado por: Autora

Tabla 13 *Costos Recurrentes Anuales*

DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO (USD)	CANTIDAD ANUAL	TOTAL ANUAL (USD)
Pseudotallo (costo de transporte)	\$0.02	50,000	\$1,000.00
Pseudotallo de banano (Materia prima)	\$0.01	50,000	\$500.00
Sustrato textil liso	\$110.00	6.44	\$708.40
Recipientes de aluminio	\$30.00	5	\$150.00

NaOH al 12%	\$3.00	10 Kg	\$30.00
Agua para el licuado	\$0.23	48 L	\$11.04
Sacos	\$0.10	960	\$96.00
Etiqueta	\$0.01	960	\$9.60
Mano de obra directa	\$6,000.00	1	\$6,000.00
Total			\$8,604.04

Elaborado por: Autora

Tabla 14 *Costos del proyecto en cinco años*

Año	Costo Anual (USD)
Primer Año	\$38,679.91
Segundo Año	\$8,604.04
Tercer Año	\$8,604.04
Cuarto Año	\$8,604.04
Quinto Año	\$8,604.04
Total 5 Años	\$73,096.07

Elaborado por: Autora

Tabla 15 Costos, precios de venta y ganancia neta en cinco años

Año	Costos Totales (USD)	Ingresos Anuales (USD)	Ganancia Neta Anual (USD)
Primer Año	38,679.91	21,900.00	-16,779.91
Segundo Año	8,604.04	21,900.00	13,295.96
Tercer Año	8,604.04	21,900.00	13,295.96
Cuarto Año	8,604.04	21,900.00	13,295.96
Quinto Año	8,604.04	21,900.00	13,295.96
Total	73,096.07	109,500.00	36,403.93

Elaborado por: Autora

4.2.5.2 Análisis de datos financieros

Para determinar el valor de venta de cada hoja de papel y recuperar la inversión en 5 años, necesitas calcular el costo total de producción, sumar los costos recurrentes y luego dividirlo por la cantidad total de hojas que planeas producir en esos 5 años. Aquí están los pasos detallados para calcular el precio de venta:

1. Calcular el costo total en 5 años:

- **Costo total primer año:** \$38,679.91
- **Costo recurrente anual (años 2 a 5):** \$8,604.04 por año
- **Costo total años 2 a 5:** $\$8,604.04 \times 4 = \$34,416.16$

Costo total en 5 años:

- Costo total en 5 años = Costo primer año + Costo recurrente años 4 años faltantes
- Costo total en 5 años = 38,679.91 + 34,416.16 = 73,096.07

Determinar la cantidad total de hojas producidas en 5 años:

- Producción anual: 1,000,000 hojas

Cantidad total de hojas en 5 años:

- Total de hojas = Producción anua \times 5
- Total de hojas= 1,000,000 \times 5 = 5,000,000

Calcular el costo por hoja:

- Costo por hoja= Costo total en 5 años / Total de hojas = Costo total en 5 años
- Costo por hoja = 73,096.075,000,000 = 0.0146 USD por hoja

Determinación el valor de venta:

- Costo por hoja: \$0.0146
- Para cubrir costos y obtener una ganancia, se fijó un precio que cubra el costo y proporcione un margen de ganancia.

Se eligió un margen de ganancia del 50%:

- Precio de venta=0.0146 \times (1+0.50) = 0.0146 \times 1.50 = 0.0219 USD por hoja

Entonces, para recuperar la inversión en 5 años y considerando un margen de ganancia del 50%, el valor de venta de cada hoja debería ser \$0.0219 USD.

Costos Totales (USD):

- Primer Año: Incluye todos los costos iniciales y recurrentes (\$38,679.91).

- Años 2 a 5: Solo los costos recurrentes (\$8,604.04 por año).

Ingresos Anuales (USD):

- Calculado como el precio de venta por hoja (\$0.0219) multiplicado por la producción anual (1,000,000 hojas), lo que da \$21,900.00.

Ganancia Neta Anual (USD):

- Primer Año: Ingresos (\$21,900.00) menos Costos Totales (\$38,679.91) = -\$16,779.91 (pérdida).
- Años 2 a 5: Ingresos (\$21,900.00) menos Costos Recurrentes (\$8,604.04) = \$13,295.96 (ganancia).

Total en 5 años:

- **Costos Totales:** Suma de costos de los cinco años ($\$38,679.91 + 4 \times \$8,604.04 = \$73,096.07$).
- **Ingresos Totales:** Suma de ingresos de los cinco años ($\$21,900.00 \times 5 = \$109,500.00$).
- **Ganancia Neta Total:** Ingresos Totales (\$109,500.00) menos Costos Totales (\$73,096.07) = \$36,403.93.

El primer año del proyecto implica una inversión significativa debido a los costos iniciales, que incluyen la adquisición de terrenos, la compra de maquinaria y equipos, y otros gastos relacionados con la infraestructura. Estos costos ascienden a \$38,679.91. Esta cifra incluye elementos esenciales como la construcción de áreas de bodega y administración, la compra de maquinaria especializada, y la adquisición de materiales directos y equipos necesarios para el proceso de producción. Estos costos iniciales son cruciales para establecer una base sólida para el proyecto, pero su impacto se reduce a medida que el proyecto avanza en los años siguientes.

A partir del segundo año, los costos recurrentes representan los gastos operativos continuos, que suman \$8,604.04 anuales. Estos costos recurrentes incluyen los materiales directos utilizados en la producción de papel, el mantenimiento de la maquinaria, y la mano de obra directa. La reducción significativa de los costos en los años posteriores refleja la eliminación de los costos iniciales y la eficiencia operativa que se logra con el tiempo.

El proyecto propone una producción anual de 1,000,000 hojas de papel, con un precio de venta de \$0.0219 por hoja. Esto resulta en ingresos anuales de \$21,900.00. Comparado con los costos recurrentes, que son mucho menores, se observa una ganancia neta anual significativa a partir del segundo año. La ganancia neta anual se calcula en \$13,295.96, lo que indica que el proyecto se vuelve rentable y autosuficiente después de la recuperación de la inversión inicial.

El papel reciclado a base de pseudotallo de banano, con un costo de producción de \$0.0219 por hoja, representa una opción sumamente competitiva en el mercado de papelería. Comparado con el papel Bond, que tiene un costo de \$0.028 por hoja, el papel reciclado es significativamente más económico, lo que le otorga una ventaja en términos de costo unitario. Sin embargo, es en la comparación con el papel Marfil donde la verdadera competitividad se manifiesta. El papel Marfil tiene un costo de \$0.125 por hoja, lo que lo coloca en un rango de precio considerablemente superior al del papel reciclado. A pesar de esta diferencia de costo, la calidad y textura del papel reciclado a base de pseudotallo de banano permiten que compita directamente con el papel Marfil. Esto se debe a que, a pesar de su bajo costo, el papel reciclado ofrece una textura y resistencia comparables a las del papel Marfil, posicionándose como una alternativa viable y de alta calidad para aplicaciones que requieren un acabado refinado. Los costos de papel Bond y papel Marfil fueron obtenidos a través de un levantamiento de información en una papelería de Guayaquil, proporcionando una referencia precisa y realista para evaluar la competitividad de este nuevo producto en el mercado.

El análisis financiero del proyecto demuestra que, a pesar de la inversión inicial significativa, el proyecto de producción de papel reciclado a base de pseudotallo de banano es viable y rentable a largo plazo. La eliminación de costos iniciales después del

primer año y la estabilidad en los costos recurrentes contribuyen a una sólida rentabilidad. El retorno de la inversión se realiza en el segundo año, y el proyecto sigue generando ganancias consistentes a lo largo del tiempo. Además, el proyecto no solo ofrece una oportunidad de rentabilidad económica, sino que también promueve prácticas sostenibles y ecológicas al reutilizar un subproducto agrícola. Este enfoque no solo beneficia a los inversores, sino que también contribuye positivamente al medio ambiente, consolidando la viabilidad y el atractivo del proyecto.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La experimentación en la producción de papel reciclado utilizando el pseudotallo de banano permitió obtener muestras con una variedad de texturas y niveles de resistencia. A través de diferentes métodos de secado y procesamiento, se logró identificar que las muestras podían alcanzar una textura lisa similar a la cartulina marfil, y que poseen una resistencia superior. Estos resultados destacan la versatilidad del pseudotallo de banano como materia prima en la fabricación de papel con características competitivas.
- El análisis de las propiedades físicas y químicas del papel elaborado a partir del pseudotallo de banano reveló que, aunque existen diferencias con respecto al papel convencional, las características del papel de pseudotallo cumplen favorablemente con los estándares de calidad. Las pruebas mostraron que el papel de pseudotallo posee una resistencia adecuada y un comportamiento fisicoquímico comparable a la cartulina Marfil, consolidando su potencial como una alternativa sostenible al papel tradicional.
- La evaluación económica de la producción de papel a partir del pseudotallo de banano indicó que, aunque los costos iniciales de implementación pueden ser elevados debido a la novedad del proceso, el uso de este material podría resultar económicamente viable a largo plazo. La reducción de costos en materia prima y el menor impacto ambiental asociado a la producción de papel a partir de residuos agrícolas, posicionan al pseudotallo de banano como una opción competitiva frente al papel convencional, tipo cartulina.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda continuar experimentando con distintos métodos de procesamiento y secado del pseudotallo de banano, con el fin de optimizar las texturas y la resistencia del papel; además, se sugiere investigar el uso de aditivos naturales que puedan mejorar aún más sus propiedades físicas, permitiendo su aplicación en una variedad más amplia de productos.

- Se recomienda realizar estudios adicionales comparativos en condiciones de uso real del papel de pseudotallo, para validar su desempeño en diferentes aplicaciones industriales; es importante desarrollar una línea base de parámetros fisicoquímicos específicos que puedan estandarizarse para la producción en masa, asegurando una calidad consistente del producto final.
- Se recomienda llevar a cabo un análisis de mercado más profundo para identificar oportunidades de comercialización del papel de pseudotallo de banano, especialmente en nichos de mercado que valoren productos sostenibles; también, se debe explorar la posibilidad de establecer alianzas con industrias que deseen reducir su huella ambiental mediante el uso de materiales ecológicos, lo que podría mejorar la viabilidad económica del proyecto.

6 BIBLIOGRAFÍAS

Piguave, I. (2018). *Proceso de obtención de papel a partir del tallo de banano*. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Batabunde, G. M. (1992). Availability of banana and plantain products for animal feeding. In D. Machin & S. Nyvold (Eds.), *Roots, tubers, plantains and bananas in animal feeding* (pp. 251-276). FAO.

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2023). *Manual del encuestador y supervisor "Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC" 2023*. Quito.

Banco Central del Ecuador [BCE]. (2021). *Información Estadística Mensual No. 2052 – febrero 2023: Producto interno bruto por industria*.

Goya Muentes, E. E. (2013). *Microorganismos eficientes (EM) en la elaboración de compost a partir del raquis y pseudotallo de banano (Musa spp.)* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo.

Asamblea Nacional de la República del Ecuador. (2010). *Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones, COPCI*. Registro Oficial Suplemento, 351, 29 de diciembre de 2010. Última modificación: 31 de diciembre de 2019. Estado: Reformado. pp. 4, 73-74.

Pérez, J., & González, M. (2019). Composición química y actividad biológica del pseudotallo de Musa x paradisiaca L (banano). *Revista Ciencia Unemi*, 12(31), 19-29.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (n.d.). *Buenas prácticas agrícolas*. World Banana Forum.

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2023). *Boletín técnico ESPAC 2023*.

Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. (n.d.). *Banano, plátano y otras musáceas*. INIAP.

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2021). *Boletín técnico ESPAC 2021*.

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2021). *Boletín técnico residuos sólidos 2021*.

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2022, noviembre 15). Según la última estadística de información ambiental, cada ecuatoriano produce 0,58 kilogramos de residuos sólidos al día. *INEC*.

Cortez Vega, A. E. (2014). *Elaboración de papel a base de residuos de banano* (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Repositorio Institucional.

Sosa, A., et al. (2011). Evaluación papelera del pseudotallo de plátano (*Musa paradisiaca*) en formulaciones con *Hevea brasiliensis*, *Eucalyptus urophylla* y *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. *La Revista Forestal Venezolana*, 55(1), 9+. Gale OneFile: Informe Académico.

Cabezas, W., Freire, C., Dávila, D., Hernández, S., & Morales, A. (2021). Elaboración de papel a base del banano. *Athenae Journal in Engineering Sciences*.

Ministerio de Comercio Exterior. (2017). *Informe sector bananero ecuatoriano*. Quito, Ecuador.

Murgueitio Manzanares, E. L. (2018). *Composición química y actividad biológica del pseudotallo de Musa x paradisiaca* (banano) (Tesis de grado). Universidad de Machala.

Gaviria Chaverra, J. C. (2016). Evaluación del efecto del corte del pseudotallo en planta madre, sobre los rendimientos del fruto y tiempo de floración en hijos de sucesión de la segunda generación en banano de variedad (Cavendish valery) (Tesis de grado). Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Karst, T. (2024). Organic banana imports rise. *The Packer*.

Guatemala García, M. A., & Sepulveda Ruiz, N. E. (1987). *Estudio de las propiedades químicas, anatómicas y fisico-mecánicas de la madera de tres especies forestales de importancia económica*. Managua, Nicaragua.

Launer, H. F. (1939). Determination of the pH value of papers. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 22, U.S. Department of Commerce National Bureau of Standards Research Paper RP1205.

Murgueitio Manzanares, E. L. (2018). *Composición química y actividad biológica del pseudotallo de Musa x paradisiaca*. UTMACH, Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud, Machala, Ecuador.

Cevallos, A., Herdoíza, V., Yagual, M., Zambrano, V., Llive, P., & Carvajal, F. *Utilización de la fibra de banano (Musa sapientum) proveniente de los pseudotallos para la elaboración de papel y el aprovechamiento de residuos agrícolas*. Universidad San Francisco de Quito USFQ, Colegio de Ciencias e Ingenierías, Quito, Ecuador.

Araujo, J. F. (2011). *Requerimientos establecidos por las normas ISO para papeles permanentes*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

Manjarrez Fuentes, N., Muñoz Heredia, C., Guerra Herrera, K., & Egas Loor, M. A. (2023). Costos de producción y comercialización en la industria bananera en la zona norte, cantón Quevedo-Ecuador. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(1), 736-749.

Universidad de Costa Rica. (2018, 13 de noviembre). *Rellenos sanitarios: ¿una bomba de tiempo para el ambiente? Malas prácticas en el manejo de residuos y poco control los convierten en una amenaza*. Ciencia y Tecnología.

Quevedo Guerrero, J. N., Delgado Pontón, I. G., & García Batista, R. M. (2019). Evaluación de la aplicación de fertilizante al pseudotallo de plantas cosechadas de banano (*Musa x paradisiaca* L.) y su efecto en la velocidad de crecimiento del hijo retorno. *Revista Científica Agroecosistemas*.

LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades. (2023). *Rellenos sanitarios: ¿una bomba de tiempo para el ambiente? Malas prácticas en el manejo de residuos y poco control los convierten en una amenaza*. Asunción, Paraguay.

Moreno Galindo, E. (2021, agosto). *Metodología de investigación, pautas para hacer tesis: Definición operacional*. Blog. Eliseo Moreno. <https://tesisinvestigacion-cientifica.blogspot.com/2018/03/definicion-operacional-de-las-variables.html>

Vargas Soto, L. F., Martínez Yepes, P. N., & Guarnizo Franco, A. (2013). Algunas características fisicoquímicas del jugo del pseudotallo de plátano Dominic Hartón. *Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad del Valle*.

Centro de Innovación Tecnológico de la Madera [CITEmadera], Ministerio de la Producción. (2009). *Técnicas de secado de la madera*. Lima, Perú.

Poveda Burgos, G. H., Cabrera Jara, C. A., Carrera López, J. S., & Sambonino García, B. de L. (2021). *Afectación a las exportaciones de banano ecuatoriano a causa de la pandemia por el COVID-19: Impact on Ecuadorian banana exports due to the COVID-19 pandemic*. <https://doi.org/10.46932/sfjdv2n2-158>

Elbehri, A., G. Calberto, C. Staver, A. Hospido, L. Roibas, D. Skully, P. Siles, J. Arguello, I. Sotomayor, y A. Bustamante. 2015. *Cambio climático y sostenibilidad del banano en el Ecuador: Evaluación de impacto y directrices de política*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma, Italia.

Cortez Vega, A. E. (2014). *Elaboración de papel a base de residuos de banano*. Proyecto de graduación, Facultad de Especialidades Empresariales, Carrera de Ingeniería en Comercio y Finanzas Internacionales Bilingüe. Guayaquil, Ecuador.

Pool Segarra Jiménez, M., & Tobes, I. (2024). *Upcycling the banana industry in Ecuador: A methodology to estimate biowaste and catalogue of bioproducts*. Centro de Investigación de la Biodiversidad y Cambio Climático (BioCamb), e Ingeniería en Biodiversidad y Recursos Genéticos, Facultad de Ciencias de Medio Ambiente, Universidad Indoamérica. https://www.researchgate.net/publication/375113985_Upcycling_the_Banana_Industry_in_Ecuador_A_Methodology_to_Estimate_Organic_Waste_Availability_and_a_Catalogue_of_Potential_Biodegradable_Products