

**PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DEL PSEUDOTALLO O VÁSTAGO DE  
PLÁTANO PARA FABRICAR FIBRAS TEXTILES EN COLOMBIA**

**SEBASTIAN COLLAZOS BUITRAGO  
LUISA ALEJANDRA PINZÓN SILVA**

**Proyecto integral de grado para optar al título de  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**Orientador  
Juan Carlos Robles Camargo  
Ingeniero industrial**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BOGOTÁ D.C.  
2022**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

Nombre  
Firma del director

---

Nombre  
Firma del presidente Jurado

---

Nombre  
Firma del Jurado

---

Nombre  
Firma del Jurado

Bogotá D.C. Febrero 2022

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dra. José Luis Macías Rodríguez

Decana de la Facultad

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director del Programa

Dr. Julio Aníbal Moreno Galindo

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1 Antecedentes	10
1.2 Justificación	12
1.3 Objetivo general	13
1.4 Objetivos específicos	13
1.5 Delimitación	13
1.6 Marco referencial	13
1.6.1 Marco conceptual	14
1.6.2 Marco teórico	18
1.6.3 Marco histórico	34
1.6.4 Marco legal	35
1.7 Diseño metodológico	37
1.7.1 Tipo y método de investigación	37
1.7.2 Fuentes y técnicas de información	37
1.7.3 Fases	37
1.7.4 Explorativa	38
1.7.5 Descriptiva	38
1.7.6 Diseño	38
2. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DEL CULTIVO DE PLÁTANO EN COLOMBIA FRENTE AL ÁREA COSECHADA, CANTIDAD DE PRODUCCIÓN Y DESECHOS AGROINDUSTRIALES	40
3. IDENTIFICACIÓN DE DIVERSAS PRÁCTICAS DE APROVECHAMIENTO DEL PSEUDOTALLO O VÁSTAGO DE PLÁTANO PARA LA FABRICACIÓN DE FIBRAS TEXTILES	45
4. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE LA FIBRA DEL VÁSTAGO DE PLÁTANO	48
4.1 Métodos biológicos	48
4.2 Método químico	48
4.3 Métodos mecánicos	49
5. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE LA FIBRA DEL PSEUDOTALLO O VÁSTAGO DE PLÁTANO PARA PRODUCIR FIBRAS TEXTILES	50
6. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DEL PSEUDOTALLO O VÁSTAGO DE PLÁTANO	53

6.1 Ubicación de la instalación	53
6.2 Lugares que proveerán la materia prima	55
6.3 Transporte de la materia prima	56
<i>6.3.1 Vehículo</i>	56
6.4 Proceso de llegada al almacén	57
7. CONCLUSIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	61

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. <i>Herramienta causal</i>	10
Figura 2. <i>Producto interno bruto</i>	40
Figura 3. <i>Área cosechada y cantidad producida anual</i>	41
Figura 4. <i>Zonas productoras de plátano</i>	42
Figura 5. <i>Matriz pestel</i>	43
Figura 6. <i>Ciclo de vida de los bolsos de Bananatex</i>	45
Figura 7. <i>Fibras de plátano</i>	46
Figura 8. <i>Resumen de producción de plátano</i>	53
Figura 9. <i>Proceso de extracción de la fibra de plátano</i>	54
Figura 10. <i>Propuesta de Layout</i>	57

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación centra la importancia de reutilizar los desechos agroindustriales generados en los cultivos de plátano, con el fin de reducir impactos ambientales y la proliferación de plagas y enfermedades que deterioran la calidad del fruto. Por esta razón, se realizó un levantamiento de la información con el fin de identificar las diferentes prácticas de aprovechamiento que se le hacen a este desecho para elaborar subproductos como el papel, bolsas de té, sombreros, monederos, zapatos, entre otros. Evidenciando esta variedad de productos hechos con base a las fibras de plátano, se contempla la idea de realizar fibras textiles que ayuden a mitigar las masivas contaminaciones que ocasiona la industria textil en el mundo.

Esta propuesta consiste en aprovechar el pseudotallo o vástago de plátano para producir fibras textiles en Colombia. Para su desarrollo se realizó un diagnóstico de la situación actual de la producción de plátano, con el fin de determinar los lugares productores, la cantidad que producen, el área cosechada y el rendimiento de los cultivos de plátano. Posteriormente, se identifican los diferentes métodos de extracción de la fibra de plátano que existen y se realiza una comparación entre el costo, tiempo, cantidad de fibra obtenida y los impactos ambientales que generan para lograr seleccionar el método acorde a los fines del proyecto. De acuerdo con lo anterior, se estructuró una propuesta de metodología de logística inversa, que contempla la ubicación de la instalación en donde se realizará la extracción de la fibra de plátano y se convertirá en una fibra textil; los municipios que proveerán de vástago a la instalación; el transporte de la materia prima con sus cuidados de conservación y, por último, el proceso de llegada al almacén mediante una propuesta de Layout.

**PALABRAS CLAVE:** Fibras textiles, vástago de plátano, aprovechamiento, logística inversa, economía circular, reciclaje.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, la industria textil es una de las industrias más contaminantes del mundo debido a los procesos a los que se deben someter las materias primas para lograr obtener productos textiles como la tela. Además, La vida útil de estos productos es muy larga, lo cual ocasiona mayores contaminaciones en el medio ambiente. Siendo una de las industrias con un gran consumo, se ve la necesidad de contribuir en operaciones que disminuyan de manera significativa los impactos ambientales en Colombia. De tal modo, en los últimos años se han realizado diferentes investigaciones para cerrar el ciclo de vida de productos de otras industrias convirtiéndolos mediante un proceso específico en productos textiles (tela).

Una de estas investigaciones se ha hecho con un residuo que se genera en los cultivos de plátano en el país, el cual impacta negativamente al medio ambiente debido a la mala disposición que tienen los agricultores. Este desecho es el pseudotallo o vástago de plátano, materia orgánica que, por medio de la extracción de su fibra, permite elaborar productos textiles como sombreros, bolsos, tenis, entre otros. Se evidencia el potencial que tiene el vástago de plátano para generar diversas aplicaciones de manera profunda en la industria textil. Por esta razón, este proyecto de investigación plantea una propuesta de aprovechamiento con base a este desecho agroindustrial para producir fibras textiles con el fin de reducir al mismo tiempo impactos ambientales en las dos industrias.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia, el plátano es el cultivo más sembrado en el territorio nacional con un área de 453.438 hectáreas y el más importante en la industria de la agricultura gracias a que genera empleos directos e indirectos a 960.000 trabajadores, de igual forma, es un producto consumido con frecuencia por los colombianos dado a que pertenece a la canasta familiar. Dentro de las variedades de plátano que consumen los colombianos se encuentra el hartón, dominico y cachaco donde este último tiene más predominio en Tolima y Huila.

De acuerdo con el ministerio de agricultura en el último informe generado en junio del 2020, en el territorio colombiano se encuentran 13 departamentos que tienen cultivo de plátano, en el cual cada uno de estos en promedio tienen un área destinada de 3,5 hectáreas, produciendo 4.494.324 toneladas de plátano en el año 2020 y teniendo un incremento del 3% aproximadamente de la producción en comparación con el año 2019 [1].

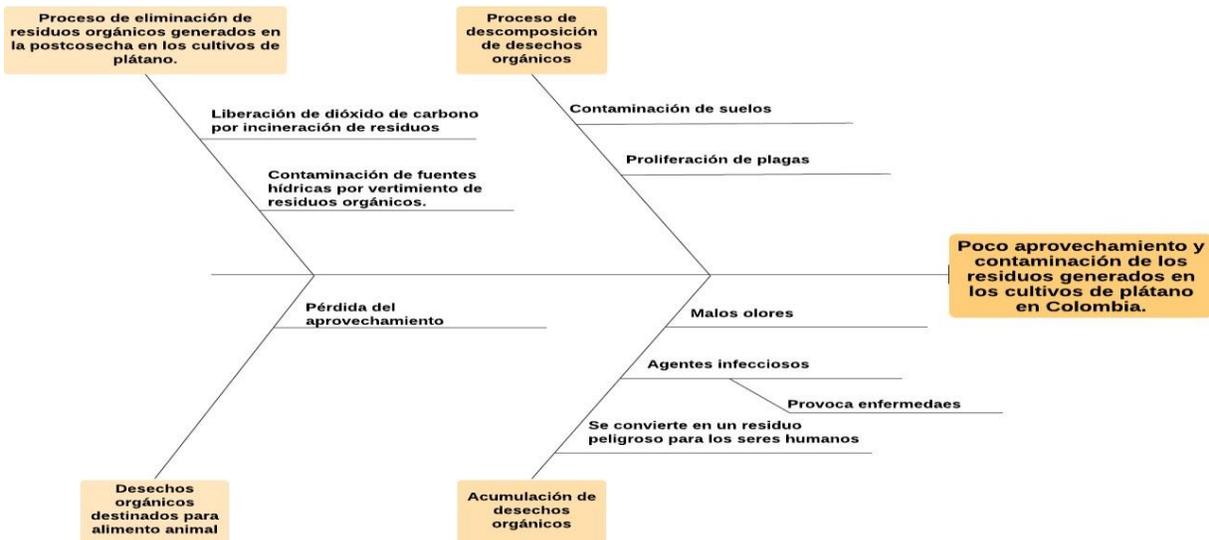
Sin embargo, en la postcosecha solo se aprovecha la parte del fruto equivalente a un 20 o 30% de toda la planta, desechando el restante 70% u 80% pertenecientes al follaje, la vaina, el pseudotallo o vástago y el raquis [2], los cuales no son aprovechados en el mercado nacional y son denominados residuos agroindustriales, que debido a su gran cantidad son comúnmente vertidos en fuentes hídricas e incinerados sin ningún tratamiento [3]. También, estos desechos son arrojados en las zonas donde se encuentra el cultivo, que al pasar del tiempo [4], el 95% de toda esta materia orgánica inicia un proceso de descomposición, convirtiéndose en un residuo peligroso debido a la presencia de agentes infecciosos y gracias a los microorganismos que hacen posible este proceso y ocasionan que se proliferen las plagas y enfermedades en los cultivos, generando malos olores que afecta la salud de los seres humanos e impactan negativamente al medio ambiente [5]. De igual forma, en los cultivos es usual (como en toda industria) descartar algunos de los frutos producidos porque no cumplen con la calidad exigida por el mercado y es destinado para alimento animal, perdiendo la posibilidad de ser aprovechado para producir subproductos que se pueden elaborar con base en estos materiales orgánicos.

Por esta razón, se considera pertinente crear alternativas donde se pueda hacer uso de estos residuos de manera sostenible y que ayuden mitigar la contaminación de la industria agrícola. Razón por la que, en este proyecto se hará una propuesta de aprovechamiento del vástago de plátano para fabricar fibras textiles, mitigando el impacto ambiental generado por la industria textil, ya que es considerada la segunda más contaminante del mundo debido a los procesos a los

que se deben someter las telas que se utilizan en las prendas de vestir para ser fabricadas. Las causas y los efectos del problema definido se pueden observar de forma estructural en la figura 1

Figura 1.

*Herramienta causal*



*Nota.* Se realizó la descripción de las causas y los efectos del problema definido.

Por las razones argumentadas anteriormente, se plantea la siguiente pregunta de investigación **¿Cómo aprovechar el pseudotallo o vástago de plátano para fabricar fibras textiles en Colombia?**

### 1.1 Antecedentes

En los últimos años se ha visto la preocupación de mitigar los impactos ambientales que se generan en la industria textil, identificando la necesidad de buscar procesos de fabricación amigables con la naturaleza que sirvan como alternativas para disminuir las contaminaciones emitidas. Algunas de estas alternativas que la industria textil ejecuta, es cerrar el ciclo de vida de ciertos productos introduciéndolos como materia prima en la elaboración de prendas de vestir y así reutilizar materiales que sencillamente pudieron ser desechados.

Por otro lado, en la industria de la agricultura, específicamente en los cultivos de plátano, se encuentra un desorden en el tratamiento de los desechos orgánicos que generan sus procesos, gracias a que una palma de plátano solo brinda un racimo y posterior a eso se corta y se desecha, ocasionando desastres ambientales debido a las grandes cantidades que se cortan, ya que se arrojan en fuentes hídricas, se incineran o simplemente se dejan en un espacio cerca del cultivo, generando

una proliferación de plagas y enfermedades que afectan la cosecha y la salud de los seres humanos. Por esta razón, se han abarcado diversos estudios que buscan un aprovechamiento oportuno en el cual se reutilice de manera eficiente estos desechos dentro del cultivo como compostajes o darles distintas aplicaciones en la elaboración de subproductos biodegradables.

Dentro de estos estudios realizados, hay un artículo [6], que aborda en la musa textil, la cual es una fibra extraída del pseudotallo de plátano mediante un proceso determinando y gracias a su peso y grosor, se utiliza para diversos tejidos sirviendo para fabricar subproductos como: bolsas de té, billeteras, carteras, bolsos, papel vegano y prendas de vestir.

En el marco de más aplicabilidades, se encuentra uno que profundizan sobre los diferentes aprovechamientos que se les da los residuos orgánicos generados en la cosecha y postcosecha de plátano en el departamento de Caldas [2], donde priorizan la aplicabilidad que tiene el raquis para elaborar harina natural y del pseudotallo o vástago que se utiliza para producir papel biodegradable y así lograr reducir impactos ambientales al momento de ser desechados estos subproductos.

Se evidencia que con los residuos orgánicos que deja la postcosecha de los cultivos de plátano, se pueden fabricar distintos subproductos como lo son los empaques biodegradables, que se hace mediante las vainas de plátano, ya que son resistentes a altas temperaturas, con una buena humedad y conservan los alimentos eficientemente. En este documento [7], se ahonda principalmente en las diversas partes de la palma de plátano en las que se le puede hacer empaques biodegradables y así aprovechar lo máximo posible del desecho orgánico.

A raíz de la contaminación del plástico en los últimos años y a las amplias inconformidades por parte de la sociedad, la humanidad busca distintas alternativas para crear plástico mucho más amigable con el medio ambiente y reducir la contaminación. Por esta razón se realizan estudios que proponen otros camino más limpios y este artículo [4], en el cual se enuncia que se puede aprovechar materias primas orgánicas desechadas en los cultivos de plátano que sirven como alternativa para elaborar plástico, se encuentra el raquis y el vástago o pseudotallo, ya que estas partes de la planta poseen una amplia densidad de fibra y a un alto contenido de celulosa y almidón, permitiendo que este subproducto denominado “bioplástico” posea una descomposición ligera y amigable con el planeta tierra.

## 1.2 Justificación

Colombia es el quinto país que más produce plátano en el mundo, generando aproximadamente un 95% de desechos orgánicos en la cosecha y postcosecha [4], asimismo afecta de manera directa al medio ambiente y la salud de las personas que trabajan en estas zonas. El proceso de descomposición de esta materia orgánica ayuda a la proliferación de plagas que deterioran la calidad del fruto en los cultivos de plátano [5], ocasionando un impacto social y económico en estas regiones agricultoras, aumentando la tasa de desempleo debido a los bajos ingresos atribuidos a un mal programa fitosanitario. Por esta razón, se identifica la necesidad de aprovechar todos estos desechos orgánicos para mitigar los impactos ambientales de estas regiones cultivadoras de plátano, y del mismo modo, lograr una producción de subproductos que ayude a incrementar la economía y las condiciones de vida de las personas de la región. Una de esas aplicaciones, es fabricar fibras textiles a partir del vástago de plátano, el cual tiene un peso aproximado, según el autor [5], de 40kg donde el 92% es agua y el 3% fibra, por lo tanto, solo se extrae 1,2 kg de fibra que sirve para poder ser aplicada en subproductos derivados de la industria textil. Dicha industria es la segunda más contaminante del mundo por causa de los procesos en los que son sometidas las telas, generando el 20% de aguas residuales y el 10% en emisiones de dióxido de carbono y ocasionando un deterioro significativo hacia la capa de ozono [8].

En la actualidad, desde la disciplina de ingeniería industrial, se buscan alternativas que mitiguen dichas contaminaciones para generar un progreso económico sostenible, donde las organizaciones migran a adoptar una cultura de producción limpia en la cual se cierra el ciclo de toda la trazabilidad del producto que se vende, y adquirir materias primas más amigables con el medio ambiente, de este modo lograr producir más bienes y servicios de buena calidad con pocos recursos nuevos, por medio del reciclaje de productos que han terminado con su utilidad y pueden servir para elaborar otros productos o subproductos y todo tipo de desecho orgánico, por ejemplo, provenientes de los cultivos de plátano durante el proceso de cosecha y postcosecha. De igual forma, bajo en el marco de la agenda 2030 para el desarrollo económico y sostenible propuesta por la ONU el proyecto da lugar al objetivo número ocho de desarrollo sostenible en el cual habla de promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible mediante la diversificación e innovación de distintos sectores que generen subproductos o productos que creen valor añadido en los procesos y asimismo que brinden mejores oportunidades laborales [9].

### **1.3 Objetivo general**

*Elaborar una propuesta de aprovechamiento del vástago de plátano para fabricar fibras textiles en Colombia.*

### **1.4 Objetivos específicos**

Realizar un diagnóstico de la situación del cultivo de plátano en Colombia frente al área cosechada, cantidad de producción y desechos agroindustriales.

Identificar las prácticas de aprovechamiento del pseudotallo o vástago de plátano para la fabricación de fibras textiles.

Enumerar los diferentes métodos de extracción del vástago de plátano.

Seleccionar el método de extracción más eficiente para la producción de fibras textiles con base al vástago de plátano, realizando una comparación de costos, cantidad de fibra extraída y tiempo de extracción.

Enunciar los diferentes factores que intervienen en la propuesta de aprovechamiento del pseudotallo o vástago de plátano.

### **1.5 Delimitación**

Presentar una propuesta estratégica donde se analizarán los factores que rigen la investigación de forma general y teórica mediante el aprovechamiento de desechos orgánicos generados por la industria agrícola, específicamente en los cultivos de plátano, para fabricar fibras textiles a partir del pseudotallo o vástago, debido a que estos desechos generan contaminación al momento de su descomposición ocasionando una proliferación de enfermedades y plagas.

Esta investigación tendrá una duración de 4.5 meses, será realizada en Colombia y en el cual se utilizarán documentos recolectados en un espacio temporal no superior a 10 años.

### **1.6 Marco referencial**

En este marco se adjuntará toda la información considerada importante y necesaria sobre conceptos, teorías, referentes históricos y normatividad que brinde entendimiento sobre los temas tratados en este documento y que ayuden a argumentar esta investigación.

### ***1.6.1. Marco conceptual***

A continuación, se presentarán conceptos de las palabras claves que permiten profundizar y entender estos términos necesarios para apoyar el desarrollo del problema que rige esta investigación.

1.6.1.a Economía circular. Según el departamento administrativo nacional de estadística (DANE) [10], el concepto de Economía Circular surge como Síntesis de las problemáticas ambientales y económicas generadas de la producción de bienes y servicios de forma lineal-que se basa en extraer, utilizar y desechar. Este propone un cambio de paradigma que permite frenar el deterioro del capital natural del planeta y reducir el crecimiento exponencial de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero -GEI. En particular, invita a rediseñar los sistemas de producción y consumo, a través de la armonización de estos con el cuidado, protección, resiliencia y restauración de las capacidades de la naturaleza para proveer bienes y servicios a la sociedad; al pasar de la denominada economía lineal, a la circular”. De igual forma, para complementar la definición del DANE este autor [11], menciona que la economía circular “es una estrategia que busca generar crecimiento económico optimizando el uso de recursos, incrementando la vida útil de los productos y reduciendo la generación de contaminación e impactos ambientales negativos”. Por otro lado, hay dos autores que centran su definición en el despilfarro de los recursos y en una mala gestión de los desperdicios al ser arrojados al planeta tierra. El primero expresa que la economía circular es “reconstituyente y regenerativa por diseño, y se propone mantener siempre los productos, componentes y materiales en sus niveles de uso más altos. El concepto distingue entre ciclos biológicos y ciclos técnicos. Tal como fue previsto por sus creadores, una economía circular es un ciclo de desarrollo continuo positivo que preserva y aumenta el capital natural, optimiza los rendimientos de los recursos y minimiza los riesgos del sistema, gestionando stocks finitos y flujos renovables” [12]. El segundo y último autor define a la economía circular “como una alternativa innovadora al modelo lineal. La idea fuerza es redefinir un sistema económico esencialmente regenerativo a base de mantener los productos, componentes y materiales en su nivel más alto de utilidad y valor, bajo el principio de eliminar el despilfarro y no destruir innecesariamente los recursos para conservar el capital natural” [13].

Por consiguiente, la economía circular es un conjunto de acciones que generan una utilidad prolongada en los desperdicios, de esta forma reduce el despilfarro de los recursos naturales y la cantidad de desechos arrojados al planeta tierra gracias a un aprovechamiento de materiales.

1.6.1.b Logística inversa. La logística inversa consiste “en el proceso de planificación, ejecución y control de la eficiencia y eficacia del flujo de las materias primas, inventario en proceso, productos terminados e información relacionada, desde el punto de consumo hasta el punto de origen, con el fin de recuperar valor o la correcta eliminación”. Por otro lado, la logística inversa se utiliza generalmente para los productos, argumentado que “es el conjunto de actividades relacionadas con el manejo y gestión de equipos para la recuperación de productos, componentes, materiales o incluso sistemas técnicos completos”. De igual forma, otro concepto maneja el mismo eje central en los productos, expresando que “la Logística Inversa supone integración de los productos usados y obsoletos de nuevo en la cadena de suministro como recursos valiosos”. Al igual que este concepto, se centra en los productos, pero se complementa en que se debe asegurar una recuperación sostenible, manifestando que “la Logística Inversa comprende las operaciones relacionadas con la reutilización de productos y materiales incluyendo todas las actividades logísticas de recolección, desensamblaje y proceso de materiales, productos usados, y/o sus partes, para asegurar una recuperación ecológica sostenida” [14].

Por otro lado, para las empresas, la logística inversa es “el proceso de mover bienes de su destino final típico a otro punto, con el propósito de capturar valor que de otra manera no estaría disponible, para la disposición apropiada de los productos” [15]. Y el último autor consultado [16], expresa que “la logística Inversa es un flujo de información y de materiales que nos ayudan a tener una cadena de suministro cíclica y no lineal del flujo de materiales, obteniendo ventajas competitivas sostenibles ya que nos permite una interrelación con la satisfacción de clientes finales y así como también poder gestionar los productos fuera de uso, recuperando su valor, la devolución o destrucción”.

De acuerdo con los autores, la logística inversa es un conjunto de procesos que se centran en recuperar el valor de un producto, componentes o materiales que han terminado su vida útil o simplemente son defectuosos, y así reutilizar todo este material para elaborar el mismo producto u otros totalmente diferentes a su procedencia. Garantizando una recuperación ecológica sostenible que ayude a mitigar los impactos ambientales.

1.6.1.c Reciclaje. Según el decreto 1713 el reciclaje “es el proceso mediante el cual se aprovechan y transforman los residuos sólidos recuperados y se devuelve a los materiales su potencialidad de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos. El reciclaje puede constar de varias etapas: procesos de tecnologías limpias, reconversión industrial, separación,

recolección selectiva acopio, reutilización, transformación y comercialización” [17]. Del mismo modo, la Ley 22/2011 expresa que reciclar, es “toda operación de valorización mediante la cual los materiales de residuos son transformados de nuevo en productos, materiales o sustancias, tanto si es con la finalidad original como con cualquier otra finalidad. Incluye la transformación del material orgánico, pero no la valorización energética ni la transformación en materiales que se vayan a usar como combustibles o para operaciones de relleno” [18]. Por otro lado, este autor [19], describe “el reciclaje como la operación compleja que permite la recuperación, transformación y elaboración de un material a partir de residuos, ya sea total o parcial en la composición definitiva. Por lo tanto, el reciclaje y los residuos responden a diversas actividades que pueden llevarse a cabo sobre los diferentes flujos de residuos para aprovecharse, desde el mismo uso hasta otra aplicación”.

Sintetizando los conceptos expuestos anteriormente, se puede definir el reciclaje como toda operación que transforma los residuos recuperados de diferentes actividades para elaborar nuevos productos de esta o distinta procedencia de dicho desecho.

1.6.1.e Aprovechamiento. Según el decreto 1077, el aprovechamiento “comprende la recolección de residuos aprovechables, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación y aprovechamiento o hasta la planta de aprovechamiento” [20]. Por otro lado, en un proyecto de investigación el autor [21], argumenta que el aprovechamiento es un “conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía”. No obstante “el aprovechamiento de los residuos constituye un conjunto de actividades que conlleven a la inclusión de un artículo que ha salido de su cadena productiva o ha perdido su valor original, ya sea en la producción de uno diferente o transformándolo para cumplir otra función” [22].

Mediante los conceptos de los autores presentados anteriormente, se define por aprovechamiento a toda acción que pretenda recuperar el valor de un material que ha salido de su cadena productiva, transformándolo para la misma producción o utilizándolo para elaborar productos secundarios.

1.6.1.f Fibras textiles. Según el autor [23], una fibra textil “es un sólido de estructura más o menos cilíndrica, macroscópicamente homogéneo, caracterizado por su flexibilidad, pequeña sección transversal y una elevada relación longitud/grosor. Se utiliza como materia prima para obtener materiales textiles”. Pero para otro autor [24], el concepto trasciende a composiciones químicas

donde especifica que su estructura molecular determina la naturaleza de la fibra textil, y argumenta que “una fibra es un sólido con una pequeña sección transversal y una elevada relación longitud-sección. Cada fibra se compone de millones de largas cadenas moleculares individuales, de discreta estructura química. La estructura molecular (disposición y orientación de estas moléculas), así como la morfología de la fibra (forma y grosor de la sección transversal) afectarán sus propiedades, pero la primera determinará su naturaleza básica física y química”. Y el último autor consultado, se centra en las características físicas y define que una fibra textil “son unidades de materia de longitud muy superior a su diámetro, a partir de las cuales se preparan materiales empleados en la fabricación de tejidos” [25].

Según los diferentes conceptos de los autores citados anteriormente, se determina que las fibras textiles son estructuras flexibles con una sección transversal pequeña y una longitud superior a su diámetro o grosor y gracias a su estructura molecular estas fibras adoptan una forma más o menos cilíndrica. Son utilizadas como materia prima para la fabricación de tejidos.

1.6.1.g Pseudotallo o vástago de plátano. Según lo argumentado por el autor [26], el pseudotallo o vástago de plátano “está constituido por las vainas envolventes de las hojas que se disponen en forma helicoidal, unidas fuertemente unas con otras. La estructura del pseudotallo es tan resistente que permite mantener a la planta en posición ligeramente inclinada a pesar de su peso, el del sistema foliar y el del racimo a la parición”. Por otro lado, en este trabajo de grado, [27], mencionan que el pseudotallo es “la parte de la planta que se asemeja a un tronco es, en realidad, un falso tallo denominado pseudotallo, y está formado por un conjunto apretado de vainas foliares superpuestas. Aunque el pseudotallo es muy carnoso y está formado principalmente por agua, es bastante fuerte y puede soportar un racimo de 50 kg o más. A medida que las hojas emergen, el pseudotallo continúa creciendo hacia arriba y alcanza su máxima altura cuando el tallo verdadero el tallo floral que sirve de soporte a la inflorescencia surge en la parte superior de la planta”. En esta cita el autor [28], centra el concepto en la resistencia del pseudotallo para mantener a la planta perfectamente inclinada mientras carga con el peso del fruto, las láminas foliares, entre otros, “el pseudotallo es la parte aérea de la planta, y está formado por las vainas envolventes de las hojas. El pseudotallo ofrece a la planta apoyo a la capacidad de almacenar reservas amiláceas e hídricas. Una planta adulta puede llegar a medir 5 m de altura y 40 cm de diámetro, según el cultivar y el ciclo de producción. Su estructura es resistente y puede soportar el peso de las láminas foliares y de su inflorescencia, que puede alcanzar hasta 75 kg de peso”.

De acuerdo con los autores, el pseudotallo o vástago de plátano es la estructura de la planta formado por vainas envolventes de las hojas, que gracias a su gran resistencia soporta el peso de las láminas foliares y de su inflorescencia evitando que la planta se incline demasiado y permanezca en una posición adecuada para su crecimiento.

### **1.6.2. Marco teórico**

De acuerdo con los conceptos enunciados anteriormente, se profundizará en estos términos para apoyar con bases teóricas en el desarrollar esta investigación y de esta forma cumplir uno a uno con los objetivos propuestos.

1.6.2.a Economía circular. La economía circular se encarga de mantener siempre los productos, componentes y materiales en su uso más alto, teniendo en cuenta los ciclos biológicos y técnicos los cuales permiten que estos generen un desarrollo continuo que logren aumentar el capital natural, la optimización y rendimiento de los recursos, para una adecuada utilización de dichos materiales. La economía circular se apoya de los siguientes principios [12]:

- Principio N°1. Cuando los recursos son obtenidos se hace uso de un sistema circular que permite elegir qué tipo de tecnología y proceso es el adecuado para someter el recurso, el enfoque de este principio es preservar y aumentar el capital natural de manera que controlan los stocks y el flujo de los recursos renovables.
- Principio N°2. En este principio se enfoca en reelaborar, renovar y reciclar los materiales con el fin de que la vida útil del recurso se optimice de manera tal que se aumente el uso del producto.
- Principio N°3. La idea principal de implementar la economía circular es garantizar una efectividad para el sistema. Una vez se haga la transformación del recurso se deberá realizar patentes protegiendo la idea innovadora que se implementó.

1.6. 2.a.i Tipología de innovación. Las tipologías son iniciativas innovadoras que hacen uso de los recursos que son desechados para poder transformarlos y reutilizarlos. A continuación, se muestran las diferentes tipologías que conectan con la economía circular para mantener el flujo de los materiales, agua, energía y asimismo que estos se involucren en nuevos modelos que permitan aportar en cada uno de los procesos que una empresa necesita teniendo en cuenta toda la cadena suministro que conlleva la transformación de los materiales. A continuación, se presentan los distintos modelos [29]:

- Modelo de valoración de residuos: Para este modelo los residuos son utilizados en diferentes aplicaciones, como, por ejemplo, el producir energía a partir de los residuos, hacer reciclado de los envases e implementarlos en el compostaje.
- Modelos circulares: Los materiales para este método se utilizan para la misma aplicación como, por ejemplo, la reutilización de agua tratada y los escombros generados por diferentes actividades son recuperados como grava.
- Modelos de extender la vida útil: Los residuos obtenidos en este método son rediseñados para productos y procesos teniendo en cuenta que el impacto sea mínimo para el medio ambiente, en este método se encuentran los envases retornables, fuentes de energía renovables y lo más importante se enfoca en la producción limpia.
- Modelos de productos como servicios: En este método los servicios se presentan para compartir el producto con diferentes usuarios, incluyendo las bibliotecas públicas y sistemas de transporte masivo.
- Modelos de plataforma: Se hace uso de la tecnología y data para poder optimizar los sistemas.

1.6.2.a.ii Beneficios de la economía circular. Para hablar de los beneficios que trae la implementación de la economía se debe tener en cuenta los diferentes aspectos ambientales, sociales y económicos. Por lo tanto, para evidenciar estos factores podrán ser evidenciados en las entradas y salidas del modelo de transformación [29].

En las entradas es muy importante tener en cuenta los beneficios ambientales y económicos, debido a que son estos los cuales permitirán llevar a cabo el proceso. Los beneficios ambientales generan que se use esta materia prima para fuentes de energía con los recursos renovables y la generación de nuevos subproductos. Los beneficios económicos se evidencian una reducción en los costos de la materia prima y energía, minimizan el material escaso, reducen costos para el cumplimiento de la normatividad y da un valor diferenciador en el mercado al que se aplique.

En la parte intermedia se encuentra el Re-uso, Re- manufactura, Reciclaje y disposición esto traerá beneficios sociales ya que generara nuevos empleos debido a las nuevas actividades y modelos de negocios, permitirá un fortalecimiento por parte de los colaboradores y los intercambios generado por estos mismos, y por consiguiente los productos y servicios, y por último generar patentes que permitan aumentar la innovación y tecnología cumpliendo con uno de los objetivos de desarrollo sostenible.

Finalmente, las salidas traerán beneficios ambientales, los cuales permitirá que se genere una reducción de residuos y emisiones de gases invernaderos, el Re-uso de los productos o materiales y por último permitirá diseñar energías renovables a partir de subproductos biodegradables, cabe señalar que también las salidas incluirán beneficios económicos que generaran ingresos por la venta de nuevos subproductos, se reducirán los costos del manejo de residuos y el costo que provoca el control de emisiones, y se tendrá nuevas fuentes de financiación.

1.6.2.a.iii Aspectos importantes. La economía circular cuenta con 5 mandamientos para su debida implementación [11].

- **Recircular:** En este primer mandamiento se explica la prefabricación de productos y componentes para que sean producidos como nuevos, el reciclaje del material para evitar que estos sean depositados en los rellenos sanitarios, hacer un uso efectivo y adecuado de los residuos orgánicos los cuales permitirán elaborar productos con un alto valor agregado.
- **Reutilizar:** En esta parte se tiene en cuenta el uso de productos de segunda mano, el intercambio o el acceso a materiales producidos por otras empresas y por último ampliar la vida útil por medio del mantenimiento.
- **Reducir:** Se debe tener en cuenta la reducción del uso de sustancias toxicas que afectan en gran medida el medio ambiente y prevenir la generación de residuos que genera la producción y la cadena de valor.
- **Regenerar:** Es importante comenzar a hacer uso de la energía y materiales renovables para recuperar y mantener el ecosistema.
- **Reemplazar:** Aplicar nuevas tecnologías que permitan sustituir el material obsoleto por otros que otorguen un mayor desempeño y que faciliten la durabilidad del producto.

Por consiguiente, la economía circular pretende cerrar el ciclo de vida de los productos para darles un aprovechamiento que permitan reducir impactos ambientales y el despilfarro de recursos naturales y tiene un apoyo de la logística inversa ya que esta retorna los productos o residuos generados para que obtengan un valor al ser incluidos nuevamente en el ciclo de producción. Al implementar estas dos herramientas permiten obtener beneficios económicos por medio a la reducción de costos de fabricación y ambientales por medio de usos sostenibles.

1.6.2.b. Logística inversa. La logística inversa acoge todos los procesos que se llevan a cabo en una organización para recuperar productos que ellos fabricaron, los cuales han terminado su vida de uso y para el consumidor ya no son de utilidad o simplemente son defectuosos. Todo esto con

el fin de poder aprovechar al máximo sus partes para fabricarlo nuevamente con las mismas características y sacarlo al mercado. Dentro de los procesos que se llevan en la gestión de la logística inversa se encuentran la remanufactura, el reciclado, la reutilización, reparación y canibalización. El objetivo de todos estos procesos es lograr elaborar nuevamente el producto o con las partes producir otra unidad con las mismas características y funcionalidad que el producto recuperado [30].

1.6.2.b.i Recuperación de materiales. Cuando se envía el producto a su destino final, el cliente puede devolverlo o rechazarlo. En el primer caso, sucede cuando el cliente asume la unidad y el retorno se realiza en una fecha posterior a la del envío. Por el contrario, cuando el cliente rechaza el producto él no se hace cargo de la unidad y el retorno es de manera inmediata en cuanto el producto llega al lugar pactado por el cliente. Las causas de estas acciones pueden ser generadas por los siguientes escenarios: productos que culminan su vida útil, residuos que dejan los productos durante su vida útil, devoluciones comerciales, productos devueltos por defectos de fábrica; puede ocasionarse por fallos en su elaboración o golpes que deterioran el estado del producto durante el envío. Este retorno de materiales requiere de una gestión adecuada de la logística, donde la planificación de las actividades y el control de los procesos que se ejecutan en la entrega y devolución de la mercancía, se convierten en elementos cruciales para lograr satisfacer a los clientes y aprovechar al máximo los productos retornados [31].

1.6.2.b.ii Aprovechamiento de los materiales. El aprovechamiento de los productos retornados, brindan ventajas económicas cuando su gestión se realiza de manera adecuada, permitiendo ser organizaciones verdes que apuntan dentro de sus políticas a cuidados ambientales por medio de una gestión de los residuos totalmente amigable con la naturaleza, haciéndose responsable de los desechos generados por sus productos fabricados.

En la actualidad, las organizaciones acogen esta responsabilidad de los productos por normativas que los obligan a gestionar sus desechos gracias a la presión de fuertes grupos sociales que exigen respeto con el medio ambiente. De esta forma, las empresas pueden producir de la mano con la naturaleza, reduciendo impactos ambientales que deterioran la vida en el planeta tierra. Estas normativas, buscan reducir la cantidad de desechos industriales que serán eliminados. El principal objetivo es lograr reutilizar lo máximo posible los productos que ya no son útiles para los consumidores y los residuos de la empresa para aplicarlos nuevamente en el proceso de

fabricación de la organización y lograr reutilizarlos en productos con iguales características, todo eso con el fin de reducir la explotación de recursos naturales [32].

1.6.2.b.iii Características de la logística inversa. La incertidumbre es una de las características más relevantes que tiene la logística inversa, esto se debe a que enfrenta dos problemas en sus procesos: el primero centra su atención en determinar cuándo, qué cantidad, de qué clase de producto ofertado por la empresa y con qué calidad se encuentra la mercancía que hará retorno. Por otro lado, el segundo radica en la recolección de esos productos, en el transporte, la inspección, clasificación y desensamble de dichos productos que retornan su rumbo a la empresa para recuperar su utilidad por medio de una reparación o canibalización de sus partes para utilizarlas en otros productos [30].

La innovación es otra característica que posee la logística inversa, debido a que resuelve inconvenientes que se presentan al momento de encontrarle aplicabilidad a los productos y materiales retornados. La integración y la coordinación son otras características que hacen que interactúan diferentes elementos de un sistema para enfocar las acciones y lograr un fin común propuesto [30].

1.6.2.b.iv Beneficios de la logística inversa. La logística inversa o también llamada logística verde, permite la reducción o minimización de los impactos ambientales generados en los distintos procesos que se realizan en las organizaciones, logrando mejorar la sostenibilidad del proceso productivo y la distribución. Además, permite reducir los costos de producción por medio del reciclado de materiales o productos que han perdido total o parcialmente su utilidad. Del mismo modo, tendrá un mejoramiento en el rendimiento del servicio ya que se tendrán en cuenta otros canales de distribución para transportar el producto a las tiendas y consumidores [33].

La logística inversa también tiene un beneficio muy importante la cual reduce el impacto ambiental ya que se aprovecha los residuos, envases, embalajes o productos no vendidos como materia prima, que son reparados o transformados [34].

Por lo tanto, se evidencia una recuperación de productos fuera de su uso y la capacidad que tiene para poder ser reintroducido en la cadena de suministro convirtiéndose en un instrumento comercial, por consiguiente, esta recuperación de materiales y productos fuera de uso permite sustituir algunos materiales o componentes que se necesita para la fabricación de algunos productos.

1.6.2.c Reciclaje. Reciclar es la acción de recuperar el valor y aprovechar los residuos que fueron desechados por el portador del bien, ya que no le es de mayor utilidad. Estos residuos se pueden dividir en 2 grandes grupos que rigen el proceso de reciclado en el concepto del tratamiento de los materiales y su aprovechamiento (algunos sirven para elaborar productos iguales o distintos) [32].

El primer grupo se clasifica por su estado, son residuos en los que su estado físico se encuentra en algunos de estos tres: sólido, gaseoso o líquido.

El segundo grupo se clasifica por su origen y los tipos de residuos que tienen mayor relevancia son los siguientes:

1.6.2.c.i Residuos sólidos urbanos. Dentro de estos residuos se encuentra la basura doméstica, donde tal desecho varía por los hábitos de consumo, avances tecnológicos, calidad de población e ingresos de los individuos.

1.6.2.c.ii Residuos industriales. Estos desechos dependen de la tecnología que tenga la empresa en sus procesos productivos, calidad de los materiales que se requiere para la fabricación, combustibles y envases de los procesos ejecutados. Los desechos industriales se dividen en desechos tóxicos y peligrosos, inertes, residuos radioactivos, mineros y hospitalarios.

1.6.2.c.iii Inertes. Son aquellos residuos que mantienen su estructura física estable en el tiempo, provocando que no generen impactos importantes en el medio ambiente al momento de tener contacto con la naturaleza.

1.6.2.c.iv Residuos radiactivos. Desechos que emiten radiactividad.

1.6.2.c.v Residuos tóxicos y peligrosos. Son aquellos residuos que requieren de un tratamiento o eliminación específica gracias a sus características físicas o químicas.

1.6.2.c.vi Residuos mineros. Son todos los materiales removidos de su posición inicial para lograr acceder a los minerales buscados y los demás residuos que se generan en los procesos que se ejecutan en la minería.

1.6.2.c.vii Residuos hospitalarios: Estos residuos se pueden generar del trabajo clínico o de investigación. Dentro de estos desechos se encuentran los aprovechables; son los materiales que después de su uso se pueden reutilizar incorporándose a los procesos de manera eficiente. Y lo no aprovechables; son los materiales que culminan su vida útil y se les debe realizar un adecuado tratamiento para evitar afectaciones en el medio ambiente.

1.6.2.c.viii Contenedores de los residuos. Los diferentes tipos de contenedores se diferencian por colores, en cada color va cierto grupo de residuos, esto permite que el aprovechamiento de los materiales sea más efectivo al momento de la separación de los desechos reciclados [35].

- *Blanco*: Residuos aprovechables limpios y secos, como plástico, vidrio, metales, papel y cartón.
- *Negro*: Residuos no aprovechables como el papel higiénico; servilletas, papeles y cartones contaminados con comida; papeles metalizados, entre otros. En esta bolsa o recipiente también deberán disponerse los residuos covid-19 como tapabocas, guantes, entre otros.
- *Verde*: Residuos orgánicos aprovechables como los restos de comida, residuos de corte de césped y poda de jardín, entre otros.

1.6.2.c.ix Contenedores especiales de residuos. Son para aquellos desechos que requieren de un tratamiento o reutilización específica, como contenedores de ropa, contenedores de pilas y contenedores de medicamentos.

1.6.2.d Aprovechamiento. Uno de los aprovechamientos en los que se implementa los residuos agrícolas son en la producción de energía por medio de procesos térmicos o mecánicos donde se obtienen biocombustibles sólidos, como lo son el carbón vegetal, briquetas o pollets. Este biocombustible funciona para generar calor en las estufas, chimeneas, salamandras, hornos o calderas. Además, cuando estos residuos son sometidos a procesos termo mecánicos su densidad energética aumenta, es así cómo son capaces de generar bioenergía [36].

Por otro lado, los residuos agrícolas permiten elaborar subproductos los cuales brindan que la materia prima vuelva a reincorporarse en el mercado, pero se debe tener en cuenta que esta materia prima debe estar libre de cualquier tipo de contaminación. Otras de las opciones donde se utilizan los residuos agrícolas, son la valorización energética que se usa para la realización de combustible debido a que algunos residuos producen un gran poder calorífico.

Sobre todo, estos residuos orgánicos se han convertido de gran importancia en la realización de compostaje, siendo un proceso de transformación de residuos orgánicos, animales y vegetales, los cuales trascienden bajo la acción de lombrices, bacterias y hongos que descomponen la materia orgánica. Este compostaje se convirtió en una gran ayuda para el crecimiento de las plantas, pero también tiene la capacidad de devolverle al suelo todos aquellos elementos que son extraídos en

el proceso de producción, como lo es el mejoramiento de la fertilidad del suelo, química y biológicamente [37].

Los residuos sólidos también pueden otorgar biocarbón, este ayuda a poseer o enmendar propiedades físicas, químicas y biológicas al suelo y a las plantas, generando un buen rendimiento agrícola y nutrientes al suelo, además, convierten el carbono atmosférico en carbono vegetal, dejando de ser un factor negativo para el medio ambiente y convirtiéndose en una fuente energética debido a que tiene características que limitan su cantidad de hidrógeno y oxígeno. Los materiales que permiten generar biocarbón son aquellos residuos que provienen de biomasa vegetal o material orgánico [38].

Además, estos residuos se pueden clasificar según la procedencia. En el sector primario se encuentra la agricultura, ganadería y residuos forestales los cuales representan un 80%; en el sector secundario se encuentra la parte de transformación, la cual representa el 10% de los residuos generados por las industrias, asimilables a urbanos, inertes, tóxicos, peligrosos y mineros; en el tercer sector se encuentran los servicios que también tienen una participación del 10%, incluyendo los residuos sólidos urbanos y aguas residuales urbanas [39].

Actualmente se comenzó a implementar en Colombia, una solución de aprovechamiento donde los residuos que se generaban en los cultivos, tenían un gran potencial de ser aprovechados como material energético, es así como una de las comunidades indígenas del país ha desarrollado biodigestores para generar una autonomía energética, la cual permite disminuir la deforestación que se presenta en los bosques, los costos por la adquisición de gas propano y los conflictos que se presentan en algunas zonas del país [40].

1.6.2.d.i Beneficios del aprovechamiento. Al tener un buen manejo de residuos orgánicos y también un buen aprovechamiento de estos, generará múltiples beneficios ambientales, sociales, de salud y económicos. A continuación, se describe cada uno de sus beneficios [41].

Los residuos orgánicos generan bastante volumen en los rellenos sanitarios y al tener un aprovechamiento de estos permitirán que esta cantidad se reduzca. Además, al momento de transformar la materia prima para el uso de los cultivos, ayudará a que se genere fertilización ecológica, recuperación de suelos, mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, regular el pH del suelo y disminuir la presión sobre los recursos naturales como la tierra negra y el petróleo que son materia prima de fertilizantes sintéticos. Por otra parte, permitirá que la comunidad tenga acceso a alimentos de alta calidad debido a que al implementar abonos orgánicos generan una

producción ecológica. En cuanto a lo social, se puede evidenciar que generaría una gran oportunidad para todos esos espacios que fueron degradados, ya que estos residuos permiten recuperar estos territorios y generando más cultivos en la comunidad, permitiendo que se transformen sus valores culturales, para trabajar en un desarrollo humano responsable y sostenible con el medio ambiente. Por otro lado, la salud de los seres humanos se verá implicada, gracias a que al obtener alimentos orgánicos libres de contaminantes como químicos, brindará una alimentación sana en cada una de las familias, debido que al implementar estos residuos orgánicos va a prevenir que aparezcan enfermedades que se generan muchas veces por el mal manejo de los recursos orgánicos. Finalmente, la parte económica tendrá la posibilidad de consolidar proyectos para la generación de ingresos en la producción de abonos y alimentos orgánicos, reduciendo así los costos que tienen actualmente debido a los fertilizantes usados que son derivados del petróleo.

1.6.2.e Fibras textiles. Las propiedades de una fibra permiten conocer su contenido y ser parte de un tejido, también se puede evidenciar para qué fin puede ser utilizada, ya que existen muchos recursos naturales que pueden extraer fibras, pero se usan para diferentes fines. Una fibra es seleccionada como fibra textil o utilizada para confeccionar, cuando cumple con unas determinadas propiedades [25], las cuales son:

1.6.2.e.i Propiedades físicas. Esta categoría está compuesta por la estructura externa y morfológica en donde se tiene en cuenta la longitud, la cual se considera una de las más importantes debido a que este determina el valor comercial de la fibra y es medida en milímetros o pulgadas. Algunas fibras están catalogadas como hebra corta o larga y filamento continuo, que son las fibras infinitas. Por otro lado, se tiene en cuenta el diámetro de la fibra, la cual determina el funcionamiento a la que será sometida debido a que las fibras largas son rígidas, ásperas y duras; por el contrario, las fibras cortas otorgan suavidad.

1.6.2.e.ii Propiedades mecánicas. Primordialmente se tiene en cuenta la resistencia a la abrasión, esta permitirá identificar si la fibra puede soportar el frote o a la fricción. Dicha característica es de mayor importancia para productos como alfombras, forros, cuerdas, entre otros. Por otro lado, la resistencia a la tracción es la capacidad de soportar un esfuerzo, se analiza a la hora de tener que lavar y secar (si se utiliza maquinaria como los secadores) un producto y que la fibra aguante los dos procesos sin mayores complicaciones o daños físicos. También se tiene en cuenta la resiliencia, esta se observa cuando la fibra se recupera después de sufrir alguna acción irregular como lo es la compresión y es aplicada en productos como las alfombras, tapetes y almohadas. Asimismo, se

tiene en cuenta la elongación y la recuperación elástica que tiene la fibra, de igual forma, el peso o densidad son propiedades mecánicas que se le atribuyen a toda fibra textil.

1.6.2.e.iii Propiedades químicas. Todas las fibras poseen diferente estructura molecular, es por eso por lo que en esta parte son sometidas a diferentes efectos o químicos como los ácidos, los álcalis, agentes oxidantes y disolventes para visualizar su comportamiento, y asimismo poder determinar su reactividad química. En esta categoría también se tiene en cuenta la resistencia que tiene la fibra a la luz solar, esta es una prueba donde se observa si la fibra presenta alguna degradación o decoloración amarillenta por causa de los rayos solares, pero también, es importante incluir la tasa de humedad que algunas fibras pueden proporcionar como la capacidad que tienen para absorber la humedad.

1.6.2.e.iv Clasificación de las fibras textiles.

- Naturales: Estas fibras son obtenidas de tres diferentes fuentes, la primera, son las fibras vegetales, las cuales son extraídas del reino vegetal por medio de las semillas, tallos, hojas y frutos. Estas poseen diferentes características y propiedades, categorizando en fibras blandas, duras, suaves, flexibles, elásticas y finas. Por otra parte, se encuentran las fibras animales, las cuales se adquieren de las plantas o de los folículos y glándulas de los animales. Finalmente, se considera como fibra natural de origen mineral a todas las que hacen parte de algunos metales de material inorgánico, como es el oro, cobre y plata [25].
- Químicas o manufactureras por el hombre: Estas fibras son obtenidas a partir de procesos en el cual el polímero es usado para formar fibras, se categorizan como orgánicas e inorgánicas. En las orgánicas, se encuentran las artificiales, ellas usan las fibras naturales y las transforman con procesos químicos generando una nueva fibra con características diferentes a través de una cadena de polímeros, además, en esta categoría se encuentran las sintéticas las cuales mediante un proceso de síntesis química o reacción de dos sustancias químicas generan esta fibra. Por último, las inorgánicas son aquellas que generan un producto químico como el carbón, la cerámica, el vidrio y el metal a partir de algunos elementos naturales, como los son el boro y el silicio [23].
- Ecológica: Para que una fibra textil se considere ecológica, debe durante su proceso de producción minimizar todos los impactos ambientales generados por las demás actividades que comúnmente se realizan en la industria textil, del mismo modo, utilizar de forma razonable los recursos naturales, a través de cultivos hidropónicos que son aquellos que solo necesitan de agua y no es necesario el uso de la tierra, ya que el agua provee todos los nutrientes necesarios para

crecimiento de la planta. Además, se debe mantener las características naturales de donde proceda la fibra de tal manera que se evite el uso de químicos [42].

1.6.2.f Métodos de extracción de fibras. Los métodos de extracción son seleccionados y evaluados dependiendo del material, costo económico, impacto ambiental, tiempo que se demora dicha extracción y la calidad con la que queda la fibra. A continuación, se observarán diferentes métodos generales de extracción de fibras [43].

1.6.2.f.i Métodos de extracción manual. Para la elaboración de este método se debe comenzar con la extracción manual del material natural, en el cual se fracciona el material cortándolo de abajo hacia arriba y, con ayuda de una cardadora metálica se extraen las fibras, la estructura de esta herramienta es como un cepillo que separa las fibras del resto del material, estas cepilladas que se realizan con el material deben ser de forma ordenada y secuencial, iniciando por la parte superior hasta la parte inferior lograr una adecuada extracción de fibras. Cuando ya las fibras son extraídas, pasan a un proceso de limpieza de forma manual retirando detalladamente el material que se encuentra adherido a las fibras, después deben ser colgadas en un lugar abierto o con ventilación para que puedan secarse correctamente. Este procedimiento tiene una duración de 13 días.

No obstante, existe otro procedimiento de forma manual, donde se pesa y se machaca la materia prima para sumergirla en agua. Este paso se llama enriado con machacado previo y tiene una duración de 5 días. Cuando se logran secar la materia prima se extraen las fibras usando una cardadora manual. En este procedimiento las fibras se limpian golpeándolas contra un pedazo de madera y después son sometidas a un lavado de agua rápido, después, se extienden en cuerdas y se dejan secar.

1.6.2.f.ii Método de extracción por descortezado. Para este método se debe lavar muy bien el material, luego se necesita de una descortezadora de cabuya modificada, esta máquina tiene un rodillo giratorio cubierto por unas cuchillas, estrías o agujas, que al introducir una hoja o un tallo es golpeado y raspado por el rodillo hasta obtener la fibra. Luego, se exponen al aire libre para secarlas y retirar todo exceso de humedad. Cuando las fibras están secas, se realiza la técnica de cardado donde se cepillan las fibras hasta quitarles los nudos que afectan su longitud.

Pero para la extracción manual se observa que después de la cosecha, los materiales pueden perder humedad generando que la extracción y la limpieza de las fibras sea un poco más difícil, además, comúnmente sucede que los materiales que se han utilizado tienen una capa protectora que dificulta la separación de la fibra.

1.6.2.f.iii Método de extracción química. Para poder desarrollar este método, la extracción del material inicialmente debe ser realizada de la misma manera que la extracción manual. Después, se corta el material y se realizan 2 baños distintos con hidróxido de sodio. El primero es un baño de impregnación y el segundo de deslignificación, eliminando total o parcialmente la lignina de un material vegetal por tratamientos químicos. Posterior a esto, se machaca el material para remover una pequeña parte de material no fibroso, ya que así facilita el ingreso de reactivos al interior de la estructura del material utilizado, a partir de este procedimiento se debe hacer un lavado neutralizado en el cual se hace uso de ácido acético al 3% para que llegue a un PH cerca de 7. Finalmente, se realiza el cardado o cepillado de las fibras y su respectivo lavado y secado al aire libre.

Para este método químico, también se puede obtener fibra por medio del sulfito de sodio con concentraciones de 15,30 y 50% sobre el material seco, en esta extracción se debe tener en cuenta el PH de la mezcla que se realiza debido a que esto podría afectar la fibra. Se realiza un baño deslignificado por un tiempo de 60 a 240 minutos para visualizar el cambio en el proceso, y posteriormente ya listas las fibras se hace el mismo procedimiento de cepillado, lavado y secado.

Para este método químico se debe hacer un análisis exhaustivo que ayude a decidir con qué compuesto químico se realizará la extracción de las fibras, teniendo en cuenta las diferentes características que tiene cada compuesto en su aplicación como lo es la facilidad de extracción, el tiempo de inmersión, la temperatura usada en los baños, la concentración de reactivos y la relación de peso del material.

1.6.2.f.iv Método de fraccionamiento o extracción de fibras. Para este método se debe tener en cuenta los diferentes tipos de procesos a los que deben ser sometidas algunas fibras naturales:

Compresión por medio de rodillos, la extracción en este proceso se hace mediante una máquina que cuenta con unos rodillos que presiona el material, este material debe pasarse varias veces por la máquina para sacar toda la humedad y asimismo separar lentamente las fibras, las cuales se ponen a secar al aire libre, este método permite que la calidad, la cantidad y el tamaño pueda estandarizarse. Dependiendo del material para hacer su debido fraccionamiento se utiliza una herramienta circular llamada esterilla en donde posee divisiones hechas con aproximadamente de 10 a 12 cuchilla [44].

1.6.2.f.v Spinning o torcida de las fibras para formar hilos. Este modelo de extracción de fibras consiste en las siguientes etapas: la primera es aflojado y limpieza, estas son realizadas

dependiendo del material ya que no todos tienen las mismas técnicas de aflojado y limpieza, cardado o cepillado, este proceso se lleva a cabo con ayuda de una máquina que afloja y separa las fibras que pasan entre dos tambores metálicos cubiertos de agujas alineando las fibras, además, después de este procedimiento se deben peinar para que las fibras estén acomodadas y remover las más cortas. Posteriormente, las fibras removidas anteriormente se les realiza un debido estirado y torcido, se mezclan con cintas que son estiradas manualmente para que las fibras estén más paralelas unas a las otras, luego, se realiza el proceso de espabilado que básicamente se tuercen las cintas mezcladas con las fibras formando una trenza. Una vez realizado esta acción, las fibras ya están listas para pasar a la sección de hilado, en el cual se convierte en hebra o hilo, sometiénolas a una tensión y torsión de para que finalmente se transforme en un hilo y poder ser enrollados en carretes, bobinas, conos o cualquier tipo de base. Para este método son comúnmente utilizadas las fibras vegetales, pero también las sintéticas, lo cual permite generar una mezcla de estas dos al producir una fibra [45].

1.6.2.f.vi Electrospinning (Electro hilado). Consiste en utilizar fuerzas electrostáticas que permiten producir fibras finas de diámetro micro y nanométricas con estructura porosa y versátil. Para extraer fibras por medio de este método, se necesita de una bomba inyectora conectada a una aguja capilar donde se coloca la solución, una fuente de alto voltaje y un cilindro conector, este proceso puede ser realizado de forma vertical u horizontal.

Para este proceso se suministra la solución polimétrica en la aguja capilar una vez esté ahí, esta va generando una gota que se ve involucrada por el campo eléctrico que induce la fuente de poder, cuando la gota supera la tensión superficial que proporciona la fuerza de arrastre del campo eléctrico comienza a deformarse de forma convexa, en este momento se evidencia una teoría llamada el cono de Taylor el cual expone que si la fuerza de atracción y repulsión de un sistema sufren inestabilidad, el cono se invierte para dar origen a las fibras de forma helicoidal hasta el cilindro formando así una fibra [46].

1.6.2.f.vii Método de desfibrado. Para este método existen otros procesos los cuales, dependiendo del tipo de del material vegetal escogido o de las características propias de cada especie al que se quiera extraer se pueden aplicar. A continuación, se explicarán cada uno de los procesos de forma general que se tienen en cuenta en este método [47].

1.6.2.f.viii Desfibrado manual. En este procedimiento las fibras son extraídas de manera manual, no se necesita de ninguna maquinaria o equipo, solo el uso de algunas herramientas básicas para facilitar la extracción.

1.6.2.f. ix Enriado. Para este proceso se debe tener en cuenta el cuidado en la recolección del material como lo son las hojas delgadas y flexibles, seguido a esto se realizará el macerar o poner en agua las hojas de donde se quiera extraer las fibra, en este macerado se debe tener en cuenta el tiempo y la temperatura, son muy importantes estas dos características ya que permitirán obtener la calidad de la fibra, y también que el agua penetre los tejidos y que produzca que las paredes y el material se debiliten para que luego estas hojas sean golpeadas con mazos de madera y se pueda retirar el sobrante del material obteniendo.

1.6.2.f.x Raspado. Este proceso consiste en tomar un cuchillo liso y un bloque de madera, tomar la hoja que se desea desfibrar y se comienza a quitar el material adherido a la fibra. Este método se hace totalmente manual. Su utilización es frecuente para extraer fibras de hojas delgadas y es un método utilizado artesanalmente.

1.6.2.g Pseudo tallo o vástago de plátano. La morfología de la planta de plátano no posee un tallo sino un pseudotallo donde puede alcanzar una altura de 9 metros, está conformado por vainas foliares que son las que contienen las fibras y también son las que le dan firmeza al pseudotallo para que la planta pueda mantenerse en posición vertical y también pueda aguantar el peso del racimo de plátano, el cual se produce una vez en todo el ciclo productivo de la planta. Por esta razón, su pseudotallo es cortado y desechado durante la post cosecha. La fibra del pseudotallo posee propiedades térmicas, caloríficas, volumétricas y difusivas que se verán a continuación detalladamente [5].

1.6.2.g.i Determinación física. La fibra del pseudotallo posee un peso de 0.0001 gramo categorizándola como una fibra liviana, por lo tanto, el grosor de esta fibra determina un factor muy importante de finura lo cual permite segmentar la utilización de esta materia prima junto con su longitud. La finura de un material indica que este podrá tener más valor comercial y técnico, del mismo modo, es más fácil de hilar. Por otra parte, la elongación de estos materiales es resistentes gracias a que tienen mayor cantidad de lignina y hemicelulosa en su estructura, siendo esto una característica muy importante ya que cuando se junta con la longitud de la fibra presenta mayor resistencia, lo cual es una de las composiciones que esperada de una fibra textil [48].

1.6.2.g.ii *Determinación química*: Esta fibra tiene una composición química, las cuales detectan que este material es clasificado como biodegradable, tiene una buena absorción y liberación de humedad. Además, se evidencia que es resistente a la intemperie y también contiene protección UV otorgada por la lignina, y otras sustancias identificadas en su composición química como la celulosa, hemicelulosa, pectinas, materiales solubles en agua, ceras y cenizas [5].

1.6.2.h Métodos para extraer la fibra del pseudotallo del plátano. *Método de Hagotán*: Para este método se utiliza una máquina llamada Hagotán que es especial para la extracción de fibras de pseudotallo, usada comúnmente para el abacá y también implementada en el plátano. Para este método se debe cortar las vainas foliares en tiras pequeñas que tengan un diámetro de 5 cm de ancho, una vez estén cortadas deberán ser enrolladas en un rodillo y la otra mitad deberá ponerse en medio de dos cuchillas cerradas; cuando el operario que maneje la máquina hace un leve tirón a la parte enrollada, el rodillo comenzará a hacer una fuerza de atracción, logrando que se realice un desfibrado adecuado y rápido, obteniendo las fibras del pseudotallo. Este procedimiento realizado extrae las fibras con un movimiento limpio y rápido, teniendo la característica de que mantiene la calidad de la fibra y no necesita de un lavado de fibras porque ya salen limpias dispuestas a colgarse para su debido secado [47].

1.6.2.h.i Método enriado. Este método es muy común para extraer fibras de pseudotallo o tallos. Posee dos procesos uno biológico y el otro químico, el biológico cuenta con dos subprocesos que se realizan de forma manual, [5]: El primer subproceso el enriado al rocío, consiste en separar una fracción del pseudotallo y sumergirlas en agua durante un determinado tiempo, este paso es muy importante porque el tiempo se considera dependiendo de el volumen o la dureza que conserve originalmente el material, este tipo de materiales contienen tejidos celulares los cuales rodean las fibras, es así que para acelerar esa descomposición de tejidos se sugiere hacer uso de hongos o bacterias, permitiendo que sea más fácil la extracción de la fibra. Al tener contacto las fibras con hongos o bacterias puede presentar efectos secundarios donde se vea afectado las propiedades químicas, porque se debe mantener en condiciones constantes de humedad y temperatura. Posteriormente, son lavadas y puestas a secar al aire libre. Este proceso tiene una duración de 21 a 42 días, lamentablemente la fibra que es extraída por este proceso es de baja calidad, a causa de que su color es alterado gracias al contacto que tiene con el suelo, este proceso es considerado de bajo costo, pero debido a los efectos secundarios mencionados anteriormente, su aplicación es un

poco limitado para aquellas personas del campo o artesanos que deseen realizar la extracción de fibras doméstico.

El segundo proceso de enriado biológico consiste en sumergir los tallos en agua, pero en este caso se utilizan ríos o tanques sellados o abiertos, es muy importante mantener una temperatura constante y que la calidad del agua sea muy buena. También se utilizan microorganismos que ayudan a liberar las fibras, este proceso tiene una duración de 7 a 14 días. La fibra es de mejor calidad, no obstante, este subproceso biológico consume grandes cantidades de agua que luego son vertidas en aguas residuales, contribuyendo a impactos ambientales negativos. Para los dos procesos manuales mencionados anteriormente, se debe tener en cuenta que el agricultor o persona que realice esta extracción de fibras debe poseer un conocimiento previo para saber con exactitud el tiempo en el que el pseudotallo debe permanecer en el agua, cuál debe ser su temperatura y además las condiciones climáticas, para que así se pueda obtener una fibra de alta calidad.

Por último, el proceso químico, como su palabra lo menciona, hace uso de diferentes concentraciones de sustancias o productos químicos en agua. Se utilizan enzimas que dependiendo de cuál de todas ellas se use en el proceso, indicará el valor exacto de la temperatura en la que se debe ejecutar control para mantenerla constante. Se necesitan tanques abiertos o cerrados, pero al usar estas sustancias químicas para eliminar o degradar la pectina, lignina y hemicelulosas que contienen este tipo de fibra, puede provocar inconvenientes ambientales. En el proceso químico las fibras extraídas son de buena calidad, pero de un costo muy elevado debido a todas las sustancias que se necesitan para poder hacer su debida extracción.

1.6.2.h.ii Método de decorticación manual o mecánica. Esta es una de las opciones más frecuentadas para la extracción de fibras de pseudotallo gracias a que genera un menor impacto ambiental. El decortinado mecánico es un proceso donde las fibras son separadas del material vegetal con ayuda de una máquina llamada decortinado, que cuenta con una serie de rodillos. El primero, es un rodillo llamado alimentador, su función principal es pasar el material hacia los rodillos dentados que son los que separan las fibras, esta máquina permite extraer una gran cantidad de fibras en un tiempo muy corto. Cuando las fibras ya son extraídas estas deben ser lavadas para eliminar las sustancias que ayudarán a mejorar la calidad de la fibra, y luego son secadas al aire libre. Para el proceso manual es necesario contar con un personal que esté capacitado para la realización de extracción de fibras ya que si no son conocedores del proceso pueden afectar la

calidad de la fibra extraída, además es necesario el uso de un cuchillo dentado porque la extracción se hace mediante el proceso de raspado [47].

1.6.2.h.iii Método desfibrado. Este método es muy utilizado de forma artesanal. Se necesita de sencillas herramientas para su ejecución, como una tabla despastada con dos puntillas, un rasero o manilla y un cuchillo de acero inoxidable. Inicialmente, las vainas del pseudotallo son colocadas en la parte superior de la tabla despastada, esta deberá estar apoyada con el raseo a la cintura del agricultor o persona que esté realizando la extracción. Una vez que esté todo acomodado se inicia el proceso de raspado bajando hasta el final de la tabla, las fibras quedan libres de todo tipo de residuos, en este proceso se obtiene una fibra de muy buena calidad en resistencia donde son difíciles de quebrarse o romperse, con un buen brillo, color y rendimiento. Una vez terminado el proceso de extracción el siguiente paso es el peinado o cepillado, utilizando una herramienta parecida a una peinilla, pero con dientes finos [49].

### ***1.6.3. Marco histórico***

Las fibras textiles han tenido un gran uso desde antes de cristo, primordialmente la fibra que más se utilizaba era el lino, usada por los primitivos y egipcios. En las primeras civilizaciones egipcias se utilizaba como símbolo de riqueza y nobleza donde los faraones más conocidos de la época cuando fallecían eran envueltos en sus tumbas con este tejido. Después, en el siglo II antes de cristo, se comenzó a implementar la seda, este material fue el primero en estar en la principal ruta de comercio entre china y el mediterráneo, expandiéndose hasta india. Al mismo tiempo que la seda llegaba a más países, apareció una nueva fibra que tomó gran importancia de utilidad en India y Perú, la cual fue la fibra de algodón [45], [50].

Con la llegada de la revolución industrial en el siglo XVII, Inglaterra se convirtió en el mayor exportador de fibra de lana y algodón, permitiendo que todos los países tuvieran acceso a estos tejidos para elaborar prendas de vestir. Una vez fue evolucionando la humanidad se generaron más necesidades de consumo y usos de los recursos naturales, los cuales fueron explotados para lograr abastecer a la demanda existente de la época, sin medir que estas acciones impactarán de manera negativa el medio ambiente generando acumulación de desechos, los cuales cada vez era más difícil de eliminar. Debido a esto se abrió paso a un nuevo término que surgiría en los años 90, el cual fue la logística inversa gracias a protestas que llevaron a cabo diferentes grupos ecológicos por el daño ambiental que estaban generando las industrias, esto fue un progreso muy grande porque las compañías ante la preocupación de ser señalados como responsables de la

contaminación, comenzaron a tomar medidas con elaborar productos más amigables con el medio ambiente que ayudarán a mitigar dichos impactos generados [51].

Durante la segunda guerra mundial se vio la necesidad de generar nuevas fibras que se adaptaran a las distintas situaciones con las que estaba viviendo la sociedad. De esta forma se comenzaron a utilizar los tejidos sintéticos, introduciéndose al mercado con la capacidad de fácil cuidado y lavado, como lo era el tergal y el nailon, una hecha de poliéster y la otra con propiedades elásticas y resistentes, respectivamente. Después de finalizar la segunda guerra mundial, la empresa británica Imperial chemical industries junto a DuPont creó el material más elástico y reconocido hoy en día llamado lycra, en 1958. Estos grandes acontecimientos generaron que en la década de los sesenta las fibras tuvieran un gran auge, ya que eran los primeros en mezclar los componentes naturales con químicos para desarrollar nuevos tejidos y texturas en cada una de las prendas. Sin embargo, estas fibras eran catalogadas como sustitutos baratos, pero el mundo de la moda los fue implementando en sus diferentes diseños convirtiéndolas así en un símbolo de modernidad [52].

Actualmente, las fibras textiles siguen evolucionando debido a que en la industria textil se han desarrollado nuevas tecnologías que han permitido un crecimiento en cada uno de sus procesos, siendo una de las industrias con una alta demanda y de requerimientos muy necesarios y detallados de mano de obra. También en estas épocas se ve la necesidad de generar fibras que en su proceso que mitiguen contaminaciones ambientales, igualmente aprovechar otros recursos por medio del reciclaje de los cuales se puedan extraer fibras textiles.

#### **1.6.4. Marco legal**

Para dar un adecuado abordaje a la investigación se tendrán en cuenta las siguientes leyes, decretos y políticas de gestión ambiental, que fundamentan el tratamiento de los desechos orgánicos, aprovechamientos de estos y la disposición de la materia orgánica.

**Tabla 1**  
*Marco legal*

<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
<i>DECRETO 2811 DEL 18 DE DICIEMBRE DE 1974</i>	"Esta ley es un código nacional de los recursos naturales renovables y de protección del Medio Ambiente. Establece artículos para la prevención y contaminación del recurso hídrico e igualmente se establecen normativas

	para evitar pérdidas o degradación del suelo agrícola." [53]
LEY 99 DE 1993	"Es creada por el Ministerio del Medio Ambiente y establece el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y de los recursos naturales renovables llamado SINA, el cual se responsabiliza de cumplir y en poner en marcha todos los principios generales estipulados en este." [54]
LEY 9 DE 1979	"Se le conoce como el Código Sanitario Nacional debido a que esta establece las normas sanitarias para la prevención y control de agentes biológicos, físicos o químicos que puedan alterar las características del ambiente relacionando así tanto la protección del medio ambiente como de la salud humana." [55]
RESOLUCIÓN NÚMERO 0176 30 MAR 2020	"Por la cual se reglamenta el capítulo 7, del título 2, de la parte 3, del libro 2, del Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 1077 del 26 de mayo de 2015, en lo relacionado con los criterios de elegibilidad y demás aspectos de los proyectos que pretendan acceder a los recursos del Incentivo al Aprovechamiento y Tratamiento de Residuos Sólidos" [56]

*Nota.* Se realizó un resumen breve de las normas que se consideraron relevantes para abarcar a cabalidad este proyecto o, que le daban un valor agregado al mismo.

Por lo tanto, estas leyes, decretos y resoluciones adjuntadas en la tabla 1 aportan al proyecto con información teórica para complementar el propósito de esta investigación y ayudar a dar

respuesta a la pregunta problema. Asimismo, se evidencia la presencia de entes institucionales que rigen el control por medio de normas para mitigar impactos ambientales convirtiéndose en una motivación para los investigadores de este proyecto en realizar un adecuado aprovechamiento del vástago de plátano o pseudotallo. Muchas de estas normas aluden a una gestión adecuada de los desechos como lo es el aprovechamiento de esta materia orgánica, con el fin de disminuir la explotación de recursos naturales y empezar a reutilizar materiales reciclados. De igual forma, enuncian los cuidados ambientales que se debe tener con la disposición de los desechos en fuentes hídricas e incineraciones, acciones que deterioran el planeta tierra y las condiciones de vida de animales y seres humanos que habitan en estas zonas agrícolas.

## **1.7 Diseño metodológico**

El propósito de este diseño metodológico es plantear las actividades consideradas necesarias y pertinentes para lograr el cumplimiento de los objetivos que tiene esta investigación.

### ***1.7.1. Tipo y método de investigación***

Esta investigación tiene un enfoque de tipo cualitativo con un alcance descriptivo de forma tal que los resultados se interpretan en función del contexto y se apliquen otros métodos de análisis teóricos para dar respuesta a la pregunta problema del documento. Además, se realizará un abordaje teórico y generalizado donde se partirá desde lo particular a lo general por medio del método inductivo.

### ***1.7.2. Fuentes y técnicas de información***

La investigación hará uso de la información de fuentes secundarias como libros, revistas científicas, periódicos, documentos oficiales de instituciones públicas o privadas, artículos de investigación, tesis, blogs, sitios web, monografías, trabajos de grado disponibles en el repositorio institucional de distintas universidades y algunas bases de datos que facilitan la Fundación Universidad de América como virtual Pro, Sciencedirect, Scopus, EBSCO y leyex. Esto, con el objeto de otorgar a la investigación una bibliografía de fuentes confiables y recolectar información que tenga relación directa con los diferentes temas que se mencionan en el documento.

### ***1.7.3. Fases***

En este apartado del diseño metodológico se presentarán las diferentes fases que tendrá el proyecto de investigación y se anunciarán las respectivas actividades que se llevarán a cabo para abordar adecuadamente el desarrollo de los objetivos propuestos.

#### ***1.7.4. Explorativa***

Se realizará una búsqueda de información en las fuentes secundarias para identificar los casos actuales sobre los diferentes aprovechamientos realizados al pseudotallo o vástago de plátano en Colombia, del mismo modo, conocer los métodos de extracción de la fibra del vástago de plátano para fabricar fibras textiles. Dentro de esta fase se encuentran las siguientes actividades:

1.7.4.a Identificar las zonas de Colombia donde se produce plátano.

1.7.4.b Identificar la cantidad de pseudotallo o vástago de plátano desechado en los cultivos de plátano en Colombia.

1.7.4.c Realizar una revisión bibliográfica sobre las diferentes maneras en que se puede aprovechar este desecho agrícola.

1.7.4.d Identificar las diferentes aplicaciones en que fue aprovechado el desecho al obtener fibras.

1.7.4.e Buscar información sobre los diferentes métodos de extracción del vástago de plátano.

#### ***1.7.5. Descriptiva***

Se desarrollará la descripción de los subproductos elaborados a partir del vástago de plátano y los diferentes métodos de extracción de la fibra de este material orgánico donde se mencionan los factores que intervienen en los procesos que se ejecutan en cada método como el presupuesto, maquinaria y equipos, mano de obra, gastos, cantidad de extracción, tiempo de extracción, calidad de la fibra extraída, entre otros. Dentro de esta fase se encuentran las siguientes actividades:

1.7.5.a Identificar los productos textiles que se elaboran a partir de las fibras obtenidas del vástago de plátano.

1.7.5.b Comparar cada método por medio de tres factores: costo de extracción, calidad de la fibra obtenida y tiempo de extracción.

1.7.5.c Identificar la cantidad de personal necesaria para tratar dicha cantidad de pseudotallo disponible y extraer la fibra del vástago.

1.7.5.d Identificar el tipo de maquinaria y equipos que son requeridos para ejecutar la extracción de la fibra del plátano dependiendo del método seleccionado.

#### ***1.7.6 Diseño***

Se realizará la explicación de los diferentes aspectos que intervienen al momento de la extracción de la fibra del vástago de plátano para fabricar fibras textiles. Dentro de esta fase se encuentran las siguientes actividades:

1.7.6.a Seleccionar el método de extracción más eficiente para elaborar fibras textiles con base al vástago de plátano.

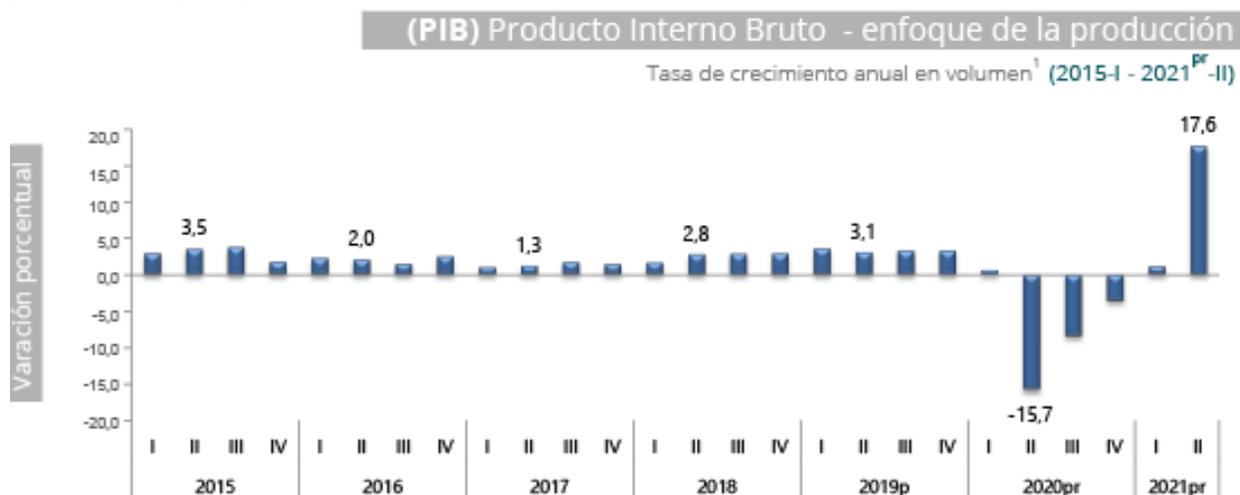
1.7.6.b Analizar los diferentes factores enunciados que intervienen en la propuesta de aprovechamiento del pseudotallo o vástago de plátano para la fabricación de fibras textiles.

## 2. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DEL CULTIVO DE PLÁTANO EN COLOMBIA FRENTE AL ÁREA COSECHADA, CANTIDAD DE PRODUCCIÓN Y DESECHOS AGROINDUSTRIALES

En el año 2020 se afectó el producto interno bruto (PIB) por causa de la pandemia generada por el COVID 19 dado que se pausaron varias actividades de la economía con el fin de cesar los contagios y contener el virus. No obstante, en el año 2021 se implementaron nuevas medidas de prevención que lograron reactivar la economía, dicha acción permitió que el PIB incrementara el 33,3% con respecto al año anterior, logrando alcanzar un 17,6% en el segundo trimestre del año 2021. Las actividades que mayor aportan a dicho crecimiento son: Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas; Transporte y almacenamiento; Alojamiento y servicios de comida contribuye 6,1 puntos porcentuales a la variación anual; industrias manufactureras representa 3,5 puntos porcentuales a la variación anual; actividades artísticas, de entretenimiento y recreación y otras actividades de servicios, actividades de los hogares individuales en calidad de empleadores, actividades no diferenciadas de los hogares individuales como productores de bienes y servicios para uso propio contribuye 1,9 puntos porcentuales a la variación anual [57].

**Figura 2.**

*Producto interno bruto*



<sup>1</sup>Serie originales encadenadas de volumen con año de referencia 2015  
<sup>P</sup>preliminar - <sup>PR</sup>provisional

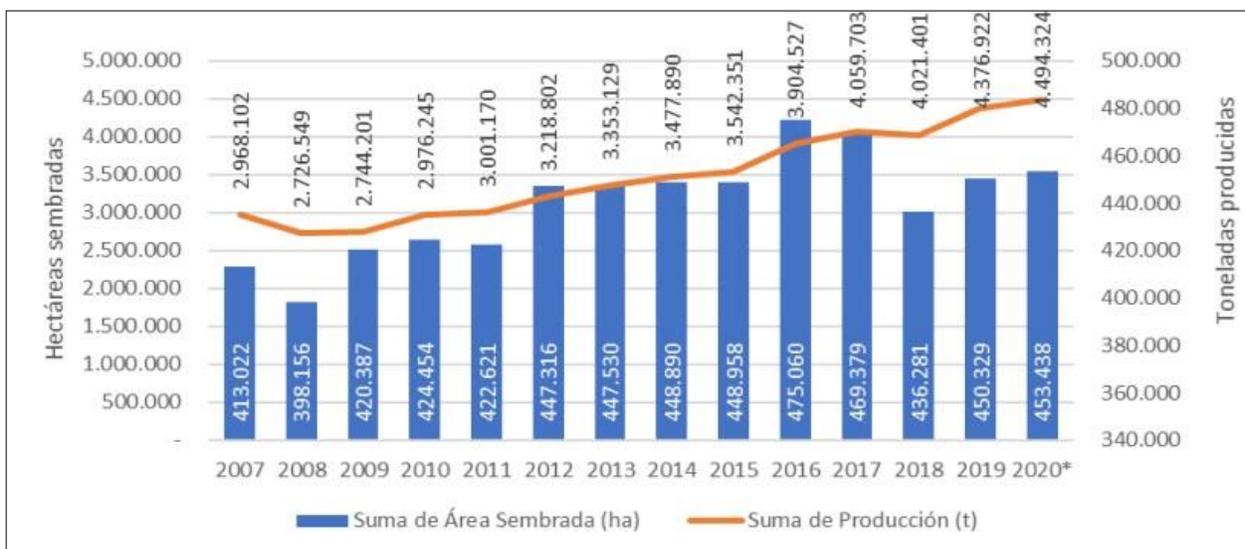
Fuente: DANE

**Nota.** Histórico anual del producto interno bruto (PIB) de Colombia. Tomado de: DANE, «Producto Interno Bruto -PIB- nacional trimestral,» 17 08 2021. [En línea]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-trimestrales/pib-informacion-tecnica>. [Último acceso: 18 08 2021].

Aunque la agricultura no tuvo un crecimiento tan notorio como las industrias enunciadas anteriormente, logró ascender de 2,8% a 3,8% con respecto al año anterior [58], [59]. Este valor se debe a que las actividades agrícolas no cesaron por completo frente a la llegada del virus debido a que la ciudadanía necesitaba abastecer su alacena, incrementando de esa forma la producción de diversos alimentos cosechados en el campo colombiano. Dentro de los cultivos agrícolas más sembrados en Colombia, está el plátano, dado a que pertenece a la canasta familiar de los colombianos y es el más importante en la seguridad alimentaria. Adicional a esto, para el año 2018, Colombia se situó en el quinto puesto de mayor productor de plátano a nivel mundial con un rendimiento de 8,8 ton/ha. Dicha posición se debe a las toneladas producidas que año tras año aumentan y el área sembrada varía dependiendo de la efectividad de la cosecha del periodo arrojando un determinado rendimiento. Para el año 2020 se alcanzó un área sembrada de 453.438 hectáreas y una producción de 4.494.324 toneladas en el territorio nacional, las cuales equivalen entre el 20% al 30% de toda la planta de plátano y, la materia orgánica restante que se genera en el proceso de la postcosecha es desechada por su poco conocimiento de aprovechamientos y catalogados como residuos agroindustriales [60].

**Figura 3.**

*Área cosechada y cantidad producida anual*

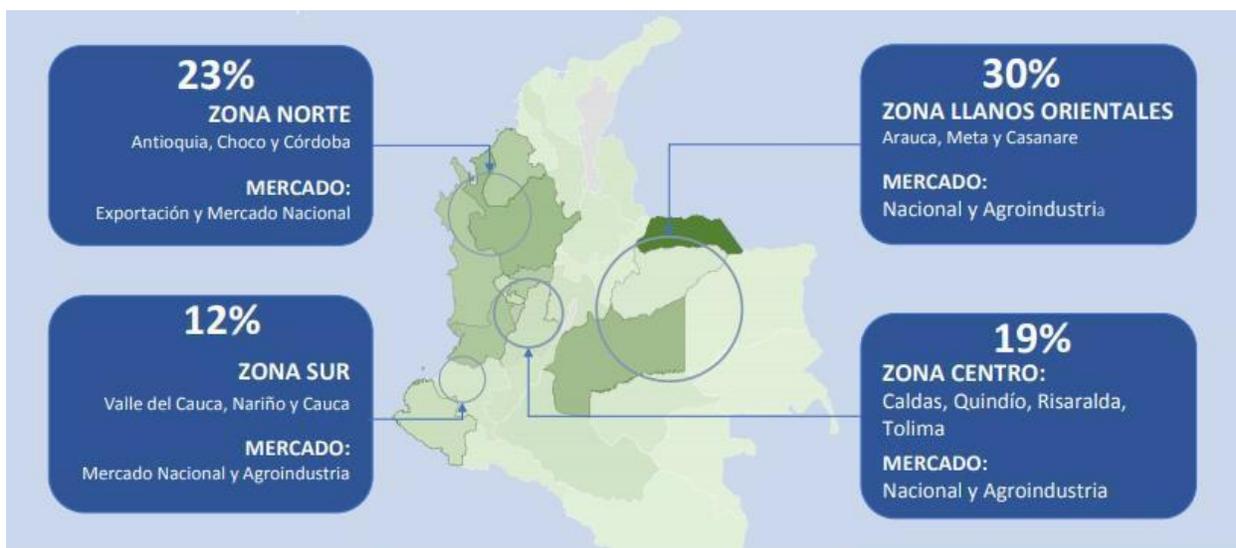


**Nota.** Histórico anual del área cosechada y cantidades producidas en Colombia. Tomado de: Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales, «Cadena de plátano,» *Ministerio de Agricultura*, 03 2021.

Actualmente, en Colombia se producen tres clases de plátano: hartón, cachaco (se produce más en Tolima y Huila) y dominico. Donde los principales cultivos del país se centran en las zonas de los llanos orientales (Arauca, Meta y Casanare) y la zona norte (Antioquia, Chocó y Córdoba), por consiguiente, en estas zonas se encuentran cuatro de los cinco departamentos que poseen el 52% de la producción de plátano del país junto con el Valle del Cauca situado en la zona sur. En la figura 4 se evidencia la distribución de los cultivos de plátano y los mercados que comprende cada zona en Colombia, donde el mercado nacional se abastece de todas las zonas del país; el mercado agroindustrial de las zonas sur, centro y llanos orientales; y, para el mercado internacional solamente la zona norte es la encargada de producir todos los plátanos que se exportarán posterior a su cosecha [60].

**Figura 4.**

*Zonas productoras de plátano*



*Nota.* Porcentaje de producción y ubicación de zonas productoras de plátano en Colombia. Tomado de: Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales, «Cadena de plátano,» *Ministerio de Agricultura*, 03 2021.

Para comprender a cabalidad los impactos negativos que generan los residuos agroindustriales en los procesos de la postcosecha en los cultivos de plátano en Colombia, se analizaron los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales con ayuda de la herramienta PESTEL.

**Figura 5.**

*Matriz pestel*



**Nota.** En esta matriz se evidencia cada uno de los factores negativos y positivos que intervienen en esta propuesta de aprovechamiento de una materia orgánica.

- **Política:** En este apartado se analizó la gobernabilidad frente al estilo de gobierno que se tiene en la actualidad y se identificó que este está encaminado a preservar el medio ambiente por medio de diversas actividades como mitigar los impactos ambientales de los cultivos agrícolas en el país garantizando el cumplimiento de políticas, normas, decretos, leyes y resoluciones por medio de entes reguladores.
- **Económico:** Cuando no se cumple con un adecuado tratamiento de este tipo de desecho agroindustrial, las acciones que realizan los agricultores para librarse de esta materia orgánica es dejarla cerca de los cultivos en contacto con la tierra, incinerarla o verterla en fuentes hídricas, generando impactos ambientales que repercuten en pérdidas durante la cosecha, debido a que la acumulación de esta materia orgánica mediante su proceso de descomposición por acción de los microorganismos ocasionan una proliferación de plagas y enfermedades. Además, afecta la estabilidad laboral de los campesinos situados en las regiones donde se cultiva este alimento y, al incurrir en costos elevados durante su producción provoca que aumente el precio del plátano. Igualmente, si no se protege el mercado nacional en temas de importaciones, afectará en sobremanera a los agricultores colombianos.
- **Social:** Como se ha comentado anteriormente, el plátano es el producto más sembrado en el país debido a que hace parte de la canasta familiar de los colombianos y tiene gran importancia

en la seguridad alimentaria. Por esta razón, dicho comportamiento de consumo aumenta al igual que las toneladas cosechadas. No obstante, este ascenso de producción implica mayores desechos agroindustriales que al momento de descomponerse emanan malos olores que afectan la calidad del cultivo y la salud de las personas que habitan cerca de estas zonas agrícolas.

- Tecnológico: El avance constante de la tecnología permite crear maquinaria o herramientas que facilitan realizar una adecuada recolección y disposición de los desechos agroindustriales generados en los cultivos de plátano u otro alimento proveniente de la agricultura, con el fin de evitar impactos ambientales que disminuyen la efectividad de la tierra y la impureza del agua y aire.

- Ecológico: Estas leyes soportan que el gobierno estandariza por medio de entes reguladores los procedimientos de recolección y disposición de dichos residuos agroindustriales. De igual manera, fomenta un desarrollo económico sostenible con ayuda de la economía circular por medio del aprovechamiento de residuos sólidos que permitan mitigar impactos ambientales.

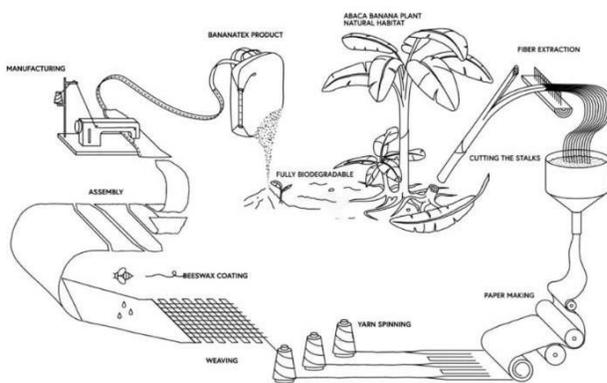
### 3. IDENTIFICACIÓN DE DIVERSAS PRÁCTICAS DE APROVECHAMIENTO DEL PSEUDOTALLO O VÁSTAGO DE PLÁTANO PARA LA FABRICACIÓN DE FIBRAS TEXTILES

En el mundo se fabrican diferentes productos hechos con fibra de plátano de los cuales se encuentran: individuales para la cocina, sombreros, bolsas de té, desechables biodegradables, mochilas, zapatos, billeteras, sillas, entre otros. Mediante una búsqueda realizada por los investigadores, se halló Bananatex, una empresa Taiwanesa que elaboró el primer tejido técnico del mundo con fibra de plátano, utilizándolo para fabricar productos textiles. Esta compañía con ayuda de sus socios realiza la extracción de la fibra del pseudotallo o vástago de plátano dentro de los cultivos en Filipinas, por medio del desfibrado. Posterior a la obtención de la fibra, se procede a trasladarla a una planta donde se le realizará el proceso de hilado del hilo para elaborar los productos derivados, los cuales son: bolsos y telas (productos propios de la compañía), y colaboraciones con otras empresas como zapatos, sillas mae y sofás [61].

Bananatex realizó tres años de investigación para lograr un modelo de economía circular en los cultivos de este fruto, logrando aprovecharse del desecho para comerciar con productos amigables con el medio ambiente. El ciclo de vida de los artículos que vende Bananatex, se compone de nueve pasos principales: a) corte del tallo de la planta, b) extracción de la fibra, c) fabricación del papel, d) hilado del hilo, e) costura, f) revestimiento de cera de abeja, g) montaje, h) fabricación del producto e i) biodegradación completa. En la figura 6 se puede observar con detalle el ciclo de vida de los productos de la empresa [61].

**Figura 6.**

*Ciclo de vida de los bolsos de Bananatex*



**Nota.** El proceso de ciclo de vida de los bolsos que fabrica la empresa Bananatex. Tomado de: BANANATEX, «BANANATEX UNA EVOLUCION TEXTIL,» [En línea]. Available: <https://www.bananatex.info/>. [Último acceso: 28 08 2021].

Por otro lado, en el municipio de San Agustín, Huila, Colombia, se encuentra Libertejidos, una empresa creada por campesinos de la región que a través de varios años experimentando diversos métodos de extracción de fibra totalmente manuales, lograron hallar un material que brinda resistencia y calidad para fabricar productos textiles, hilos y artesanías. Esta fibra extraída posee propiedades muy valiosas que producen una atención relevante hacia las demandas actuales del mercado, las cuales son: antibacteriales, rápido degradado de las fibras y aislante térmico y de sonido [62].

Los artículos que actualmente la compañía elabora y comercia en el mercado son: ruanas, sombreros, individuales de cocina, manteles, monederos, bolsos, entre otros. Para determinar la textura y el color adecuado de los productos, la empresa juega con los materiales mezclándolos entre sí. Por ejemplo, para elaborar prendas de vestir como ruanas, se adhiere algodón al hilo de plátano para obtener suavidad en el tejido y, para artículos del hogar se utiliza el cobre, material que proporciona un toque de elegancia en la decoración. Por otra parte, Libertejidos da color a sus productos con materiales orgánicos y lo realiza directamente al hilo y no al tejido compuesto, de esta forma se reducen impactos ambientales [62].

**Figura 7.**

*Fibras de plátano*



*Nota.* Fibras de plátano extraídas y tinturadas. Tomado de: Libertejidos, «Tejidos de fibra de plátano,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.libertejidos.com/>. [Último acceso: 28 08 2021].

Hacia el oriente de Colombia, en el municipio de Cabuyaro, Meta, se encuentra la cooperativa de mujeres que fabrican artesanías con fibra de plátano llamada Arfiplat. Hace diez años este proyecto tomó vida y brindó ayuda a muchas mujeres campesinas desplazadas por la violencia; ya que el personal que compone esta empresa en su mayoría son mujeres damnificadas por el conflicto armado. Los productos que fabrica y comercia la cooperativa son: individuales de mesa, canastos, centros de mesa, contenedores, bolsos, entre otros [63], [64].

Arfiplat, en su afán de darse a conocer al mundo ha participado en diversos eventos de artesanías como expoartesanías en el 2018 y 2019 y, fue miembro del laboratorio de diseño de artesanías de Colombia, el cual centra sus acciones en identificar las diferentes actividades artesanales sostenibles que se lleven en país. Mediante esta participación de eventos, Arfiplat, dio a conocer el método que realiza para extraer la fibra de plátano y los diferentes estilos de tejido que realizan; el primer procedimiento que realizan es la extracción de la fibra del plátano con ayuda de una máquina llamada desfibradora y así paso a paso llegan a hilar los hilos que son definidos por diferentes dimensiones dependiendo del producto que vayan a fabricar. Por último, se procede a la tejeduría en tres estilos: telar, macramé y crochet [63].

## **4. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE LA FIBRA DEL VÁSTAGO DE PLÁTANO**

Para la extracción de la fibra de plátano existen métodos biológicos, químicos y mecánicos, en los cuales se puede evidenciar el impacto ambiental, el tiempo, la calidad y cantidad de la fibra extraída [5].

### **4.1 Métodos biológicos**

El primero enriado es el natural; el cual consiste en usar en beneficio propio los microorganismos como hongos y bacterias que se presentan en el proceso de descomposición de esta materia orgánica que permiten separar fácilmente los haces fibrilares por medio de la eliminación de la lignina y pectina, gracias a esto se producen enzimas que degradan los componentes no celulósicos facilitando la extracción de la fibra mientras la vaina del vástago está sumergida en el agua. Este método de enriado natural se puede realizar en ríos, tanques cerrados o abiertos y tardar entre siete a catorce días para extraer la fibra dependiendo de la temperatura y calidad del agua. Con el enriado natural se logra obtener fibras de plátano de buena calidad, pero con impactos ambientales negativos por el gran consumo y contaminación de agua.

El segundo y último, es el enriado al aire libre o al rocío. Este tipo de enriado es de bajo costo y consiste en dejar las vainas de plátano a la intemperie para que los microorganismos presentes en el proceso de descomposición realicen la separación de los haces fibrilares. Este enriado genera que las fibras extraídas tengan variaciones en sus propiedades debido a que las condiciones de temperatura y humedad no son constantes, por ende, la calidad de la fibra no es muy buena ya que se puede deteriorar con gran facilidad. Este método se tarda entre veintiuno a cuarenta y dos días para extraer la fibra de plátano.

### **4.2 Método químico**

Este método, es el enriado químico el cual utiliza sustancias químicas como soda cáustica, carbonato de sodio, jabones y ácidos. El objetivo de utilizar sustancias químicas es para reducir el tiempo de separación de las fibras, pero se ven afectadas en la calidad y el color, lo cual la hace un procedimiento con costos elevados. Además, genera impactos ambientales totalmente negativos debido al uso y contaminación de grandes volúmenes de agua. Este método tarda seis días para extraer la fibra de plátano.

Estos métodos de enriado son nocivos para el medio ambiente ya que la utilización de agua está presente en los tres y en cualquiera de los casos este recurso natural es contaminado, debido a que la cantidad de fibra que se extrae es proporcional al consumo de agua.

### **4.3 Métodos mecánicos**

En este método tiene menores impactos ambientales con respecto al enriado y posee dos tipos: el decortinado mecánico y manual [5].

El primero es el decortinado mecánico, el cual consiste en utilizar el decortinador; es una máquina que tiene una serie de rodillos que permiten extraer la fibra con mayor facilidad. Después de utilizar el decortinador se procede a lavar las fibras de plátano para eliminar la mancha, luego se cuelgan o extienden en un espacio que tenga contacto con el sol y viento para iniciar el proceso de secado. Con este método se puede extraer aproximadamente 60 kilogramos de fibra de plátano por día.

El segundo y último es el decortinado manual. Este método es más básico que los anteriores debido a que solo se utilizan dos herramientas para obtener la fibra de plátano: un cuchillo dentado y una tabla. Además, es necesario contar con mano de obra calificada para que no cometan errores al momento de la extracción y dañen la fibra extraída o la vaina del tallo. Con este método se puede obtener aproximadamente tres kilogramos de fibra en un día con quince personas.

Frente a rentabilidad y eficiencia, el decortinado mecánico es mejor que el decortinado manual ya que en un día se puede extraer mayor cantidad de fibra y de buena calidad.

## 5. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE LA FIBRA DEL PSEUDOTALLO O VÁSTAGO DE PLÁTANO PARA PRODUCIR FIBRAS TEXTILES

Mediante la enumeración de los métodos de extracción de la fibra de plátano expresado en el capítulo anterior, se procede a dar selección para determinar el método con mayor eficiencia. Esta selección se hará comparando tres variables importantes: Costo de extracción de la fibra de plátano, cantidad de fibra extraída y tiempo en extraer dicha cantidad de fibra. En la siguiente tabla se puede evidenciar la cuantificación de las variables en cada método [65], [66], [67], [68], [69], [70], [71], [72], [73].

**Tabla 2.**

*Comparación de métodos*

MÉTODO	Cantidad (Kg)	TIEMPO (días)	MATERIALES	COSTO (\$)
Enriado natural	1	7 a 14	1 tanque de plástico de 250 L Rotoplast	\$ 150.000
			125 m <sup>3</sup> de consumo de agua en Arauca	\$ 186.486
			2 jornales	\$ 90.000
			1 Peinilla Bellota	\$ 12.415
			<b>TOTAL COSTO</b>	<b>\$ 438.901</b>
Enriado al aire libre o al rocío	1	21 a 42	0,015 m <sup>3</sup> de consumo de agua en Arauca	\$ 22
			2 jornales	\$ 90.000
			1 Peinilla Bellota	\$ 12.415
			<b>TOTAL COSTO</b>	<b>\$ 102.437</b>
Enriado químico	1	6	1 tanque de plástico de 250 L marca Rotoplast	\$ 150.000
			125 m <sup>3</sup> de consumo de agua en Arauca	\$ 186.486
			2 jornales	\$ 90.000
			6 Unidades de NaOH de 25 Kg	\$ 8.850.000
			1 Peinilla Bellota	\$ 12.415
<b>TOTAL COSTO</b>	<b>\$ 9.288.901</b>			
decorticado mecánico	1	6 minutos	Decortificador marca Kenaf	\$ 7.696.935
			5 minutos de consumo de energía Kw en Arauca	\$ 2.673
			1 jornal	\$ 45.000
			1 pote de grasa para mantenimiento marca supremo de 5 galones	\$ 185.400
			1 Peinilla Bellota	\$ 12.415
<b>TOTAL COSTO</b>	<b>\$ 7.942.423</b>			
decorticado manual	1	5	1 tabla de madera de 1m	\$ 8.500
			1 cepillo metálico	\$ 26.900
			0,015 m <sup>3</sup> de consumo de agua en Arauca	\$ 22
			2 jornales	\$ 90.000
			1 Peinilla Bellota	\$ 12.415
<b>TOTAL COSTO</b>	<b>\$ 137.837</b>			

*Nota:* Se realizó la comparación de los métodos de extracción por medio de variables que se consideraron relevantes (a criterio de los investigadores) para determinar el método más viable.

Como se puede observar en tabla 2. Se encuentran a detalle las herramientas y recursos necesarios para realizar el proceso de cada método y extraer un kilogramo de fibra de plátano. Para estos costos se contempló que un jornal en Arauca posee un valor de \$45,000. Los métodos de enriado natural, al aire libre o al rocío, químico y el decortinado manual, requieren de dos jornales; uno para adecuar el vástago de plátano en vainas y situarlas en sus respectivos lugares para realizar la extracción de la fibra, el lugar depende del método; para el método de enriado natural, las vainas son sumergidas en agua, para el enriado al aire libre las vainas son colgadas en una cuerda y el tiempo de extracción de la fibra para ambos métodos, tiene una oscilación en los días debido a lo demorado que puede ser la descomposición de dichas vainas de plátano. Esto se ve afectado por las condiciones climáticas. Para el caso de enriado químico, el primer jornal además de adecuar el vástago será utilizado también para alistar el agua con los químicos en donde serán sumergidas las vainas. Por otro lado, el caso del decortinado manual, las vainas son posicionadas en una tabla y por medio de un cepillo metálico se cepillan para lograr separar las fibras de la estructura de la vaina. Por último, el otro jornal, es para retirar las impurezas de las fibras extraídas y así darle continuidad al proceso de fabricación. En el caso del enriado químico, ese segundo jornal también hará la limpieza del tanque en donde estaban los químicos.

En el caso del decortinado mecánico, se tuvo en cuenta el consumo de energía de la máquina en ese determinado tiempo en el cual se extrae un kilogramo de fibra de plátano y se calculó el promedio del precio del servicio público de energía en kilovatios en el departamento de Arauca, igualmente, con el servicio público de agua para el lavado de las fibras y la utilización de dicho recurso en el proceso de enriado natural y químico en el llenado del tanque. En el caso del decortinado mecánico, solo se requiere de un jornal debido a que esa misma persona es capaz de adecuar el vástago de plátano en vainas, poner a punto la máquina para ejecutar el proceso de extracción y limpiar las impurezas de las fibras con agua para dejarlas secando en un determinado sitio.

El método de extracción de enriado natural y al aire libre, son los que tardan mayor tiempo para extraer 1kg de fibra lo cual provoca que se retrase el proceso. Adicional a esto, el costo totalizado para estos métodos será la inversión que se debe realizar para extraer solo un kilogramo de fibra. Estos métodos tienen impactos ambientales altos debido al abundante consumo de agua que después de utilizarla en el proceso de extracción, sale contaminada y la calidad de estos dos métodos no es alta y la fibra procura deteriorarse con más facilidad. No obstante, el enriado

químico, es el método de enriado con menor tiempo de extracción para 1 kg de fibra de plátano en comparación con los anteriores, pero con una inversión muy alta al igual que los impactos ambientales, debido a los químicos que se adquieren para su implementación generando que el agua se contamine por completo sin dar más opciones que desecharla. Sin embargo, la calidad de las fibras extraídas por este método es alta.

Por otro lado, se tienen los métodos de decortinado: manual y mecánico. Lo que divide este método con los métodos de enriado son los impactos ambientales tan bajos que tienen, ya que el consumo de agua es utilizado solo para lavar las fibras de plátano extraídas. El decortinado manual, es un poco más dispendioso debido a que la mano de obra debe ser calificada ya que si el procedimiento lo hace alguien inexperto puede dañar la vaina del plátano y afectar la calidad de la fibra y, si se quiere extraer más cantidades de fibra se debe tener mayor personal que esté haciendo el proceso de desfibrado. Por otro lado, el decortinado mecánico permite extraer fibras de plátano en un menor tiempo, con altos estándares de calidad y bajos impactos ambientales. Además, teniendo en cuenta que con este método se extrae 1 kg de fibra de plátano en 6 minutos, en efecto se podría extraer en un jornal de 8 horas aproximadamente entre 75 y 80 kg de fibra de plátano teniendo una inversión inicial alta, pero con costos de fabricación bajos.

Para determinar la cantidad que se puede extraer por cada pseudotallo o vástago de plátano que se tenga y dependiendo del método de extracción que se haya seleccionado, hay que contemplar el rendimiento del vástago. Esta materia orgánica desechada en los cultivos tiene un peso promedio de 40kg donde el 92% es agua y el 3% fibra, por lo tanto, solo se extrae 1,2 kg de fibra de plátano por cada vástago recolectado o seleccionado para producir fibras textiles [5].

De acuerdo con lo argumentado anteriormente, el método con mayor eficiencia según el criterio de los investigadores debido al tiempo, calidad, cantidad y costos de extracción es el método decortinado mecánico.

## 6. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DEL PSEUDOTALLO O VÁSTAGO DE PLÁTANO

Como se mencionó anteriormente en el capítulo 2, Colombia se divide en cuatro zonas principales donde se produce plátano: zona de los llanos orientales, zona norte, zona centro y zona sur. Dentro de estas zonas se encuentran los departamentos con mayor producción de plátano a nivel nacional acaparando un porcentaje del 84% sobre el total de toneladas producidas en el año 2020 [60].

**Figura 8.**

*Resumen de producción de plátano*

DPTO	AREA SEMBRADA(ha)					PRODUCCIÓN (ton)					RENDIMIENTO(Ton/ha)				
	2016	2017	2018	2019	2020*	2016	2017	2018	2019	2020*	2016	2017	2018	2019	2020*
ARAUCA	31.120	32.565	36.582	37.112	38.905	542.074	667.516	793.084	848.362	911.203	16	21	21	21	20
ANTIOQUIA	62.686	62.862	47.125	51.228	50.396	452.840	438.023	361.719	417.719	422.509	5	6	6	7	6
META	24.412	26.545	23.669	24.267	24.619	269.697	427.292	387.505	405.497	418.320	17	17	17	17	17
VALLE DEL CAUCA	29.879	29.840	28.634	28.968	29.974	323.298	267.667	307.548	319.697	333.589	10	10	10	11	10
CORDOBA	28.111	25.490	27.009	28.327	28.522	257.635	258.899	200.692	285.634	289.446	8	8	7	8	8
CHOCO	27.572	27.645	25.681	26.483	27.276	265.384	271.744	264.391	281.657	296.668	7	7	7	7	7
CALDAS	23.102	23.245	23.245	23.695	24.141	245.284	250.370	272.379	278.877	288.170	11	11	12	12	12
QUINDIO	26.667	26.546	26.475	26.755	26.079	266.739	253.356	246.964	251.613	244.729	9	9	9	9	9
TOLIMA	28.278	27.154	22.139	22.726	21.910	183.202	173.139	139.548	150.106	143.019	8	8	8	11	9
RISARALDA	17.948	17.914	17.533	17.797	17.405	161.190	158.859	146.408	149.501	148.006	11	11	10	10	11
OTROS	175.286	169.575	158.189	162.972	164.211	937.184	892.838	901.164	988.259	998.664	11	11	10	10	11

*Nota.* Resumen de producción de plátano, área cosecha y rendimiento de los cultivos por departamento. Tomado de: Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales, «Cadena de plátano,» *Ministerio de Agricultura*, 03 2021.

Arauca es el departamento con mayor producción de plátano a nivel nacional, con una participación del 19%, seguido de Antioquia con un 10%, Meta con 9% y el Valle del Cauca con un 7% de la producción nacional. Entre estos cuatro departamentos acaparan casi la mitad de toda la producción de plátano de Colombia, juntos poseen un 45% sobre el total de la producción del año 2020 [60].

### 6.1 Ubicación de la instalación

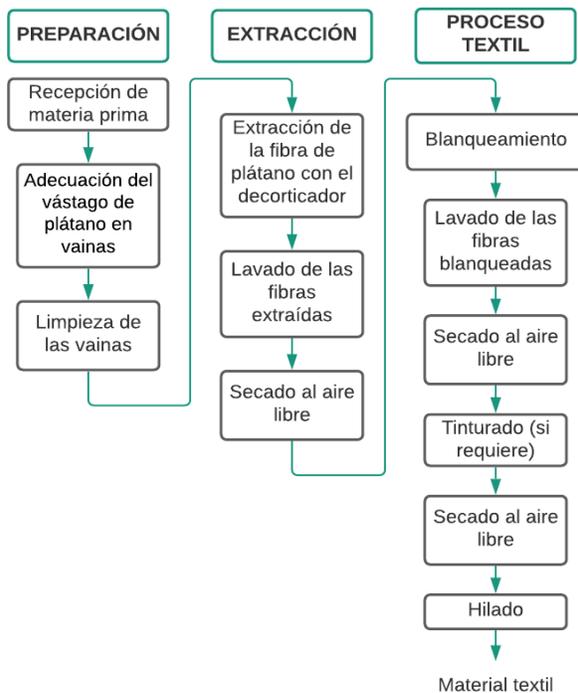
La instalación o fábrica estará ubicada en el departamento de Arauca, debido a que posee la mayor participación en pesos porcentuales a nivel nacional de producción de plátano con respecto a los demás, específicamente en el municipio de Tame. En este lugar, se realizará todo el proceso de extracción de la fibra de plátano donde abarcará preparación, extracción y proceso textil.

Para extraer la fibra de plátano y lograr convertirla en un producto textil, se ejecutarán las siguientes actividades: a) recepción de la materia prima, donde se verificará la calidad y el estado en el que llegan los vástagos de plátano al almacén; b) adecuación del vástago de plátano en vainas, se debe retirar las vainas que están envueltas de manera cilíndrica una a una y cortarlas a lo largo

con el fin de que queden un poco más rectas para garantizar que el decortificador no dañe la fibra; c) Limpieza de las vainas, este proceso se hace para retirar impurezas como tierra, mancha de plátano u otro elemento que afecte el buen funcionamiento de la máquina que extrae la fibra; d) extracción de la fibra de plátano con el decortificador; e) Lavado de las fibras extraídas con el fin de retirar la mancha de plátano u otra impureza; f) Secado al aire libre, este proceso se debe realizar en un espacio donde las fibras de plátano tengan contacto con el viento y el sol; g) Blanqueamiento, después de que las fibras se hayan secado se procede a opacar su color natural con ayuda de productos que cumplan esta función de blanqueo y que no deterioren la calidad de las fibras; h) Lavado de las fibras blanqueadas, este proceso se realiza con el fin de retirar el producto que se utilizó para blanquear las fibras; i) Secado al aire libre; j) Tinturado, se utilizan tintes naturales para reducir los impactos ambientales y solo se tiene en cuenta este paso si es necesario darle una tonalidad al producto textil; k) Secado al aire libre; y por último, se tiene el proceso de l) Hilado, el cual consiste en unir cierta cantidad de fibras dependiendo del diámetro que se requiera para brindar la textura necesaria al producto textil.

**Figura 9.**

*Proceso de extracción de la fibra de plátano*



**Nota.** Flujo de proceso de extracción de la fibra de plátano y transformación a fibra textil.

## 6.2 Lugares que proveerán la materia prima

Dentro de todos los departamentos productores de plátano en Colombia, los principales que engloban la mayor parte de producción anual son: Arauca, Antioquia, Meta y Valle del Cauca. Estos lugares serán los que proveerán el vástago o pseudotallo de plátano para fabricar fibras textiles.

Con base a estudios de años anteriores, se plantearon los municipios con mayor producción por cada departamento seleccionado para ser elegidos como proveedores del vástago de plátano. Para el caso de Arauca, se abastecerá de Tame, Arauquita, Fortul y Saravena; Antioquia con Turbo; Meta con Granada y el Valle del Cauca con Sevilla.

**Tabla 3.**

*Participación en pesos porcentuales de los municipios seleccionados como proveedores del vástago.*

Agronet und. Individuales 2019			Aproximado MinAgricultura und. Totales 2020		
Tame	495.000	58,0%	Tame	528.270	58,0%
Arauquita	151.426	17,7%	Arauquita	161.604	17,7%
Fortul	94.500	11,1%	Fortul	100.852	11,1%
Saravena	91.630	10,7%	Saravena	97.789	10,7%
Arauca Dept.	853.816		Arauca Dept.	911.203	
Turbo	122.730	30,6%	Turbo	129.206	30,6%
Antioquia	401.331		Antioquia	422.509	
Granada	46.112	11,7%	Granada	48.759	11,7%
Meta	395.613		Meta	418.320	
Sevilla	30.198	12,5%	Sevilla	41.852	12,5%
Valle del Cauca	240.701		Valle del Cauca	333.589	

*Nota.* Participación porcentual de los municipios que encabezan la lista de mayores productores en sus respectivos departamentos.

Según los datos adjuntados por Agronet para el año 2019 [74], el municipio de Tame acapara un 58% de toda la producción del departamento de Arauca, seguido de Arauquita con un 17,7%, Fortul y Saravena aproximadamente con un 11%. Para el caso de Antioquia, el municipio de Turbo posee una participación porcentual del 30,6%. Granada, Meta, tiene el 11,7% de la producción. Y, por último, Sevilla, Valle del Cauca, posee el 12,5%.

Con base a la información brindada por Agronet [74], se realizaron una serie de cálculos con los datos actualizados del año 2020, según el reporte del ministerio de agricultura, con el fin de determinar la cantidad aproximada de vástago de plátano que se tendrá por cada municipio, dependiendo del departamento. Para este cálculo aproximado, no se aplicó ningún método de pronóstico con respecto a las unidades producidas por municipio debido a que el aumento del año 2020 en comparación con el año 2019 fue del 2,61% aproximadamente 3% en el total de las unidades producidas, equivalente a 117.402 toneladas de diferencia a nivel nacional. Por ende, la

participación porcentual de cada municipio en su respectivo departamento no tendría una variación significativa como para aplicar algún método de pronóstico.

Para el caso de Arauca, en el año 2020, el municipio de Tame tuvo una producción de 528.270 toneladas de plátano, seguido de Arauquita con 161.604, Fortul con 100.852 y Saravena con 97.789 toneladas. Para el municipio de Turbo, Antioquia, se produjeron 129.206 toneladas de plátano. Granada, Meta, tuvo una producción de 48.759 toneladas y, por último, Sevilla, Valle del Cauca, cerró el año 2020 con 41.852 toneladas.

### 6.3 Transporte de la materia prima

#### 6.3.1 Vehículo

El pseudotallo o vástago es una materia orgánica, por ende, tiene un proceso de descomposición generado por la acción de las enzimas y los microorganismos. Para reducir el tiempo de descomposición, se transportará esta materia prima con vehículos que tienen refrigeración en sus bodegas y con un volumen amplio para ser pertinentes al momento de organizarlos evitando daños o deterioro en el estado del vástago.

Los vehículos que se postularon para realizar la debida cotización de los fletes son el NHR, la turbo y el camión sencillo que poseen capacidades grandes y son amplios para cargar productos de gran amplitud y volumen. Los NHR se caracterizan por su tamaño y economía, las turbos por su versatilidad y adaptabilidad hacia la carga y el camión sencillo por su fuerza para transportar cargas pesadas y largas [75].

**Tabla 4.**

*Costos de transporte del vástago de plátano.*

Destino	Vehículo	Volumen (metro cúbico)	Capacidad (Ton)	Origen	Precio del flete	Cantidad de vástago que se puede transportar	Costo de flete por vástago (\$)
Tame, Arauca	NHR	14	2	Turbo, Antioquia	\$ 3.400.000	50	\$ 68.000
				Granada, Meta	\$ 2.700.000		\$ 54.000
				Sevilla, Valle del Cauca	\$ 3.400.000		\$ 68.000
				Arauquita, Arauca	\$ 1.400.000		\$ 28.000
				Fortul, Arauca	\$ 1.400.000		\$ 28.000
				Saravena, Arauca	\$ 1.700.000		\$ 34.000
	Turbo	24	4	Turbo, Antioquia	\$ 3.700.000	100	\$ 37.000
				Granada, Meta	\$ 3.400.000		\$ 34.000
				Sevilla, Valle del Cauca	\$ 3.700.000		\$ 37.000
				Arauquita, Arauca	\$ 2.000.000		\$ 20.000
				Fortul, Arauca	\$ 2.000.000		\$ 20.000
				Saravena, Arauca	\$ 2.000.000		\$ 20.000
	Camión sencillo	40	8	Turbo, Antioquia	\$ 4.000.000	200	\$ 20.000
				Granada, Meta	\$ 3.800.000		\$ 19.000
				Sevilla, Valle del Cauca	\$ 4.000.000		\$ 20.000
				Arauquita, Arauca	\$ 2.200.000		\$ 11.000
				Fortul, Arauca	\$ 2.200.000		\$ 11.000
				Saravena, Arauca	\$ 2.200.000		\$ 11.000

**Nota.** Cotización del costo de transporte de los vástagos de plátano desde sus respectivas zonas de origen hasta el mismo destino.

Para el caso de Turbo, Antioquia; Granada, Meta y Sevilla, Valle del Cauca, el transporte se realizará con camiones sencillos con refrigeración en la bodega, debido a que el costo de transporte es el más bajo con respecto a los demás vehículos cotizados y, entre más unidades se puedan llevar en un solo flete disminuye el costo de transporte individual. El abastecimiento del vástago de plátano en estas zonas será de poca regularidad ya que en el departamento de Arauca se posee la mayor producción de plátano en el país, y por esta razón, será el principal proveedor del pseudotallo para producir fibras textiles en Colombia.

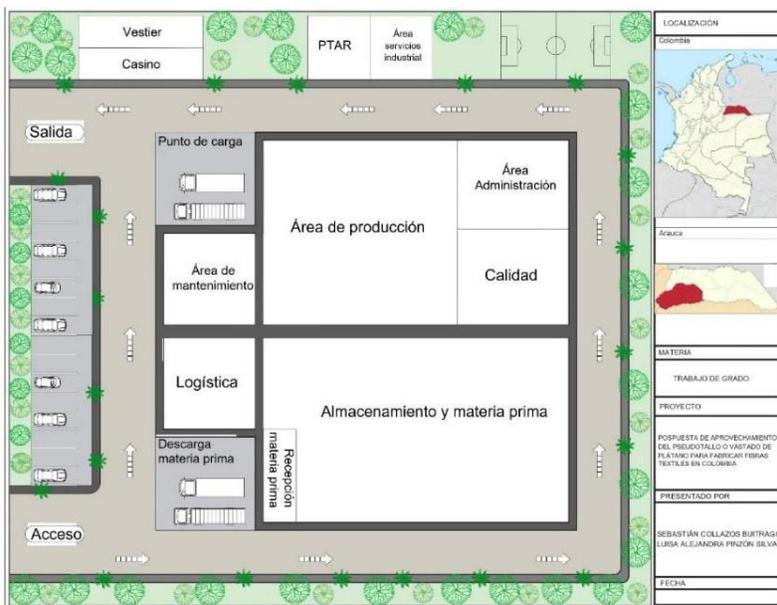
En el caso de Arauquita, Fortul y Saravena, el transporte del vástago de plátano se realizará con las turbos con refrigeración en la bodega, debido a que se puede abastecer una cantidad moderada de vástago de plátano a un menor costo individual de transporte con respecto a las NHR. De igual forma, se evitan sobrecargas en los inventarios del almacén para prevenir que toda esa materia orgánica acumulada empiece su proceso de descomposición en un tiempo menor a lo esperado.

#### 6.4 Proceso de llegada al almacén

Para el proceso de llegada de la materia prima a la planta, se planteó un bosquejo de Layout en el cual se tiene debidamente divididas las áreas de la empresa y se encuentran las vías por donde se desplazarán los vehículos que traerán el vástago de plátano.

**Figura 10.**

*Propuesta de Layout*



**Nota.** Se realizó una propuesta de layout con el fin de visualizar la planta desde un punto de vista genérico frente a sus dependencias y procesos de llegada y salida de camiones que depositan la materia prima y retiran el producto terminado.

Cuando los vehículos llegan a la instalación se les hará recepción de la materia prima en el área de almacenamiento y materia prima. En esta misma área, se adecuarán los vástagos en vainas para facilitar el proceso de extracción y se le hace una revisión de calidad para garantizar las correctas características del producto final. Cuando se tienen listas las vainas, se pasan al área de producción para limpiarlas, pasarlas por el decortador y ejecutar el proceso de extracción de la fibra, seguido a esto se limpian y secan al aire libre. Al momento de que las fibras estén correctamente secas, se procede a realizar el blanqueamiento, después se lavan para retirar el producto que se utilizó en el blanqueo y se secan nuevamente para lograr una buena adherencia en el proceso de tinturado. Luego de aplicarle un color a las fibras, se pasan al hilado; proceso en el cual se finaliza con una fibra textil. Finalmente, para el despacho de pedidos, los vehículos de carga se desplazan hacia la zona de punto de carga para abastecer sus bodegas con los productos comprados por el cliente.

## 7. CONCLUSIONES

El plátano es el cultivo más sembrado en Colombia, y se produce principalmente en la zona de los llanos orientales y norte, las cuales poseen el 53% sobre el total de la producción del año 2020, que equivalen a 2.381.992 toneladas de plátano aproximadamente. En Colombia, se producen tres clases de plátano: hartón, cachaco y dominico. Además, gracias a la herramienta PESTEL, se logró identificar las consecuencias que conlleva seguir realizando esta práctica de no aprovechamiento, impactos que engloban pérdida de confiabilidad en el mercado, baja calidad del plátano y deterioro en la salud de los campesinos.

En el mundo, hay empresas que aprovechan este residuo agroindustrial (pseudotallo o vástago de plátano) generados durante el proceso de la postcosecha para producir diversos productos textiles. En Taiwán, está Bananatex, una organización que fabrica bolsos biodegradables por medio de una estructura de economía circular muy bien diseñada con el fin de reducir impactos ambientales. En Colombia, se encuentran dos empresas: Libertejidos y Arfiplat. La primera, es una organización que nació por permanecer una tradición familiar, la cual consistía en aprovechar la hoja del fique para realizar artesanías y, al ver que el vástago de plátano estaba generando tanta contaminación y afectaciones en la calidad del fruto que producían, decidieron experimentar con ese desecho que era desperdiciado con el fin de reutilizarlo para generar valor en la comunidad de la región y principalmente en su hogar. Esta empresa está ubicada en San Agustín, Huila. Por último, en Cabuyaro, Meta, está Arfiplat, una organización compuesta por mujeres cabezas de familia desplazadas por la violencia, que, dentro de su desesperación por conseguir sustento para sus hogares, encontraron la forma de aprovechar este residuo que generaban inconformidades y problemas para los agricultores de la región.

Para realizar la extracción de la fibra de plátano existen tres métodos: a) métodos biológicos, se encuentran el enriado natural y el enriado al aire libre; b) método químico, el enriado químico; y, por último, c) métodos mecánicos, decortinado manual y decortinado mecánico. Cada método tiene su respectivo proceso de ejecución donde se contemplan impactos ambientales, costos de extracción, cantidades de fibras obtenidas en un tiempo determinado y una calidad diferente en la fibra extraída por método. Estas variables fueron parte importante para dar selección al método de extracción que fue abordado en este proyecto de investigación y se identificó como el más eficiente en términos productivos, además, es el método que posee menores impactos ambientales. Este método es el decortinado mecánico.

Para contemplar a cabalidad toda la propuesta de aprovechamiento, se evidenciaron diversos factores que interviene al momento de realizar la recolección de la materia prima. El primero, fue identificar los municipios que proveerán el vástago de plátano de los departamentos en los cuales se realizará la recolección y, a su vez, la cantidad de materia prima que pueden abastecer a la instalación en Arauca. El segundo factor, fue diseñar todo el proceso al que se debe someter el pseudotallo de plátano para extraer fibras textiles; el cual, está compuesto por la preparación de la materia orgánica, extracción de la fibra de plátano y el proceso textil. Por último, el tercer factor fue el transporte, el cual, por medio del outsourcing se utilizarán vehículos con bodegas refrigeradas con el fin de evitar que la materia orgánica se descomponga durante el trayecto, ya que las distancias que se deben recorrer con respecto a la ubicación de la instalación para los departamentos de Antioquia, Valle del Cauca y Meta, son largas.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, «Dirección de Cadenas, Agrícolas y Forestales,» 06 2020.
- [2] M. Mazzeo Meneses, L. León Agatón , L. F. Mejía Guitiérrez, L. E. Guerrero Mendieta y J. D. Botero López, «Aprovechamiento Industrial de Residuos de Cosecha y Poscosecha del Plátano en el Departamento de Caldas,» *Asociacion Colombiana de facultades de Ingeniería*, 2010.
- [3] A. Arango Correa y H. Barbutin Díaz, «Producto de valor agregado a partir de residuos de cosecha y post-cosecha del plátano para el desarrollo territorial del Municipio de San Juan de Urabá,» *Instituto Tecnológico Metropolitano Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas*, 2018.
- [4] A. Haro Velastegupi, A. Borja Arévalo y S. Triviño Bloisse, «Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plasticos biodegradables,» *Dianet*, 2017.
- [5] W. G. Cifuentes Sánchez y E. Cifuentes Rivera, «Propuesta de aprovechamiento de la fibra de plátano en la región del Ariari departamento del Meta,» *Universidad Pontificia Bolivariana Escuelas de Ingenierías*, 2019.
- [6] V. Hendriksz, «Innovación en Textiles Sustentables: Banan Fibre,» *Fashionunited*, 08 09 2017.
- [7] Universidad Nacional de Colombia, «Residuos de plátano y palma, materia prima para empaque,» 10 12 2018.
- [8] B. de Vera, «¿Por qué la industria textil es la más contaminante después del sector petrolero?,» *El Espectador*, 08 08 2018.
- [9] S. S. C. United Nations, «La agenda 2030 para el desarrollo sostenible,» 2015.
- [10] (DANE), Departamento Administrativo nacional de estadística, «Economía circular primer reporte 2020,» 2020.
- [11] Centro nacional de producción más limpia, «Economía circular: Una forma diferente de hacer negocios sostenibles,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.colombiaproductiva.com/ptp-capacita/publicaciones/transversales/guia->

- empresarial-de-economia-circular/200310-cartilla-economia-circular. [Último acceso: 16 04 2021].
- [12] E. Cerdá y A. Khalilova , «Economía circular,» *Empresa, medio ambiente y competición*, nº 401, pp. 11-20, 2016.
- [13] M. De la cuesta González , «La economía circular: una opción inteligente,» *Economistas sin fronteras*, nº 37, 2020.
- [14] R. F. Oltra Badnes , «Logística inversa: concepto y definición,» *Universitat politècnica de valència*, 2015.
- [15] A. Mihi Ramírez , D. Arias Aranda y V. J. Garcia Morales , «La gestión de la logística inversa en las empresas españolas: hacia las prácticas de excelencia,» *Universia BusinessReview*, 2012.
- [16] A. L. Iglesias López , «Definición de logística inversa,» 5 07 2017. [En línea]. Available: <https://logispyme.com/2016/05/23/definicion-de-logistica-inversa/>. [Último acceso: 16 04 2021].
- [17] El Presidente De La República Colombia, «Decreto 1713,» 2002.
- [18] Jefatura del Estado, «Ley 22 de residuos y suelos contaminados,» de *Legislación consolidada*, 2011.
- [19] C. M. Alvarez gómez de cos , «Reciclaje y su aporte en la educación ambiental,» *Universidad rafael landívar*, 12 2013.
- [20] Departamento administrativo, función pública, «Decreto 1077 sector vivienda, ciudad y territorio,» 2015.
- [21] D. M. Bustos, «Propuesta para el aprovechamiento de residuos organicos en el colegio summerhill school, empleando el compostaje,» *Universidad libre*, 2013.
- [22] L. P. Pinto Gomez y M. J. Suarez Cuchimaque, «Propuesta para el manejo de residuos orgánicos producidos en la plaza de mercado de chíá(cundinamarca),» *Universidad distrital francisco josé de caldas*, 2016.
- [23] E. Carrera Gallissá, *Física textil propiedades físicas para caracterizar la calidad de las fibras textiles*, 1 ed., Barcelona: terrassa, 2017.
- [24] F. E. Lockuan Lavado, *Industria textil y su control de calidad II. fibras textiles*, vol. I, 2013.

- [25] M. S. Andrade Mayer , «Teoría y práctica de textiles,» *Universidad autonoma del estado de mexico*, 2017.
- [26] C. Sabio, C. Salgado, V. Salgado y V. Sáenz, «Manual del cultivo de banano,» *Zamorano: Escuela agrícola Panamericana*, 2014.
- [27] C. G. Pedraza Abril, «Caracterización de la fibra del pseudo tallo de plátano como refuerzo y desarrollo de un material compuesto para fabricación de tejas,» *Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia*, 2019.
- [28] Centro para el desarrollo agropecuario y forestal, «El cultivo del plátano,» 2 ed., 2000.
- [29] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible y ministerio de comercio industria y turismo, «Estrategia nacional economía circular,» Bogota D.C, 2019.
- [30] C. Bustos , «La logística inversa como fuente de producción sostenible,» *Actualidad contable faces*, vol. 18, nº 20, pp. 7-32, 2015.
- [31] A. Iglesias López, «Manual de logística inversa,» 1, Ed., ESIC, 2018.
- [32] G. Jaramillo Henao y L. M. Zapata Márquez , «Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia,» *Universidad de antioquia*, 2008.
- [33] Aclimaadmin, «Aclima,» 24 07 2020. [En línea]. Available: <https://aclima.eus/la-importancia-de-la-logistica-inversa-para-la-economia-circular/>. [Último acceso: 22 05 2021].
- [34] J. L. Maldonado Burgos y M. d. c. Torres Salazar , «Logística inversa, una herramienta para la toma de decisiones,» *Inventio- la genesis de la cultura universitaria en morelos*, vol. 9, nº 18, 2013.
- [35] Gobierno de Colombia, «Nuevo código de colores para la separación de residuos,» Ministerio de ambiente , 2021. [En línea]. Available: [https://www.minambiente.gov.co/images/CODIGO\\_COLORES\\_VFF.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/CODIGO_COLORES_VFF.pdf). [Último acceso: 16 04 2021].
- [36] Bioenergía y seguridad alimentaria Evaluación rapida (BEFS RA), «Residuos agricolas y residuos ganaderos,» *BEFS*, 2014.
- [37] C. E. Aguilar Jiménez , I. Alvarado Cruz , F. Matínez Aguilar , A. Gutiérrez Martinez y J. A. Morales Cabrera , «Evaluación de tres abonos orgánicos en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en etapa de vivero,» *Siembra*, vol. 3, pp. 11-20, 2016.

- [38] A. J. Huerta de la cruz , «Influencia del biocarbón elaborado con residuos sólidos orgánicos sobre la calidad y producción del cultivo de la papa en el centro experimental ecológico de Tuyu Ruri,» *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*, 10 2019.
- [39] R. Nogales , E. Romero, E. Benitez y A. Polo , «Reciclaje de residuos orgánicos,» *Digital CSIC*, 2002.
- [40] Á. Chávez Porras y A. Rodríguez González, «Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica,» *Academia & Virtualidad Universidad Militar Nueva Granada*, vol. 9, n° 2, 21 07 2016.
- [41] Unidad administrativa especial de servicios públicos, *Guía Técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura*, 2018.
- [42] C. Villegas Marín y B. González Monroy , «Fibras textiles naturales sustentables y nuevos hábitos de consumo,» pp. 31-46, 06 2013.
- [43] O. Bonilla , H. Trujillo y S. Guerra , «Extracción y caracterización de la fibra de la hoja de lengua de suegra (*Sansevieria trifasciata*),» *Escuela Politécnica Nacional*, n° 30, pp. 167-178, 2009.
- [44] S. A. Hurtado Riveros , «Estandarización Del Proceso De Obtención De Fibra De *Angustifolia Kunth* Como Materia Prima Para Material Compuesto,» *Universidad Santo Tomás*, 2017.
- [45] C. H. Santacruz Melo , Determinación del potencial técnico y económico de URE para el sector textil colombiano, vol. 3, Bogotá: UPME, 2001.
- [46] A. B. Zeferino Díaz, «Efecto de la adición de sales en las características físicas de nanofibras electrohiladas,» *Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*, 2019.
- [47] L. D. Espín Cárdenas y J. P. Tello Manosalvas , «Diseño y construcción de una desfibradora de hojas y pseudotallos para obtener material lignocelulósico a utilizar como refuerzo de polímeros,» *Escuela Politécnica Nacional*, 18 02 2015.
- [48] A. M. Manrique Carvajal y D. A. Rivera Glavis , «Aprovechamiento de los residuos del pseudotallo del banano común (*Musa sp AAA*) y del bocadillo (*Musa sp AA*) para la extracción de fibras textiles,» *Universidad tecnológica de Pereira*, 2012.
- [49] S. Arango Álvarez , «Proyecto musáceas.,» p. 18, 2000.

- [50] J. V. Chichizola Romero, «Historia de los textiles,» *Texnologia Textil y Moda*, 06 092017.
- [51] S. Saval , «Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales:Pasado, Presente y Futuro,» *Revista de la sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería A.C*, vol. 16, nº 2, pp. 14-46, 2012.
- [52] E. Artetxe y A. Porcel Ziarsolo, «Una introducción a los textiles artificiales en las colecciones de indumentaria del siglo XX y su conservación,» *ReaserchGate*, 07 2016.
- [53] Republica de Colombia, «Decreto 2811,» *Ministerio de ambiente* , 08 12 1974.
- [54] Congreso de la República de Colombia, «Ley 99,» *Secretaria senado*, 1993.
- [55] El congreso de Colombia, «Ley 9,» *Ministerio de salud*, 1979.
- [56] República de Colombia, «Resolución Número 0176,» *Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio*, 30 03 2020.
- [57] DANE, «Producto Interno Bruto -PIB- nacional trimestral,» 17 08 2021. [En línea]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-trimestrales/pib-informacion-tecnica>. [Último acceso: 18 08 2021].
- [58] C. Salazar Sierra , «La caída de 6,8% del Producto Interno Bruto de 2020 fue la peor de la historia del país,» *La republica*, 16 02 2021.
- [59] DANE, «Producto Interno Bruto (PIB) II trimestre 2021 preliminar,» 2021.
- [60] Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales, «Cadena de plátano,» *Ministerio de Agricultura*, 03 2021.
- [61] Bananatex, «Bananatex Una Evolucion Textil,» [En línea]. Available: <https://www.bananatex.info/>. [Último acceso: 28 08 2021].
- [62] Libertejidos, «Tejidos de fibra de platano,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.libertejidos.com/>. [Último acceso: 28 08 2021].
- [63] Cooperativa Arfiplat, «Artesanías en fibra de platano,» *Arfiplat*, 2011.
- [64] Noticias RCN, «Mujeres que Inspiran: tejen la transformación del vástago de plátano y de sus familias,» *noticiasrcn*, 10 04 2021.

- [65] Machete Rula Tiburon - Bellota, «Mercado libre,» 2020. [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-558941955-machete-rula-tiburon-bellota-\\_JM#position=22&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=d120afa7-05df-456e-b5de-83a944542ad6](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-558941955-machete-rula-tiburon-bellota-_JM#position=22&search_layout=stack&type=item&tracking_id=d120afa7-05df-456e-b5de-83a944542ad6). [Último acceso: 11 09 2021].
- [66] Emserpa, «Empresa municipal de servicios publicos de Arauca,» [En línea]. Available: <https://www.emserpa.gov.co/sitio/es/>. [Último acceso: 11 09 2021].
- [67] Tanque De Agua 250 Litros, «Mercado Libre,» [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-800917536-tanque-de-agua-250-litros-\\_JM#position=11&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=59848ca0-3261-4174-bcd5-0cd7a0d8a3d6](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-800917536-tanque-de-agua-250-litros-_JM#position=11&search_layout=stack&type=item&tracking_id=59848ca0-3261-4174-bcd5-0cd7a0d8a3d6). [Último acceso: 11 09 2021].
- [68] L. E. Rodríguez , «Fensuagro: En Colombia hay campesinos que solo ganan \$20.000 pesos diarios,» *Caracol radio*, 02 05 2020.
- [69] Hidróxido De Sodio Naoh (soda Caustica) 100% Pureza 1 Kilo, «Mercado libre,» [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-614027024-hidroxido-de-sodio-naoh-soda-caustica-100-pureza-1-kilo-\\_JM#position=2&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=552d8ad2-3831-447b-8408-07fabe9ef2cc](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-614027024-hidroxido-de-sodio-naoh-soda-caustica-100-pureza-1-kilo-_JM#position=2&search_layout=stack&type=item&tracking_id=552d8ad2-3831-447b-8408-07fabe9ef2cc). [Último acceso: 11 09 2021].
- [70] Aceite Hidráulico Iso 68 Aw X 5 Galón (3000 Horas, «Mercado Libre,» [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-558912638-aceite-hidraulico-iso-68-aw-x-5-galon-3000-horas-\\_JM#position=2&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=8068c7c4-d912-4481-82b4-d1344225ea14](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-558912638-aceite-hidraulico-iso-68-aw-x-5-galon-3000-horas-_JM#position=2&search_layout=stack&type=item&tracking_id=8068c7c4-d912-4481-82b4-d1344225ea14). [Último acceso: 11 09 2021].
- [71] Juego 4pcs Cepillo Alambre - Escobilla Metalica, «Mercado Libre,» [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-600275968-juego-4pcs-cepillo-alambre-escobilla-metalica-\\_JM#position=4&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=6ee859e7-3b9e-4d9d-b1c5-65c27d402ca7](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-600275968-juego-4pcs-cepillo-alambre-escobilla-metalica-_JM#position=4&search_layout=stack&type=item&tracking_id=6ee859e7-3b9e-4d9d-b1c5-65c27d402ca7). [Último acceso: 11 09 2021].
- [72] ENELAR, «Tarifa de energia de la opcion tarifa para usuarios regulados \$/kw calculada en el mes de Agosto - 2021,» 2021.
- [73] Empresa de trading - decorticator máquina, «Alibaba,» 2012. [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/factory-price-kenaf-hemp-decorticator-machine->

for-sale-60488016673.html. [Último acceso: 11 09 2021].

- [74] MInAgricultura-Agronet, «Evaluaciones Agropecuarias - EVA y Anuario Estadístico del Sector Agropecuario,» 2019.
- [75] Pasamar, «Pasamar transporte y logística,» [En línea]. Available: <https://pasamar.com.co/>. [Último acceso: 14 10 2021].