

PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DE LA FIBRA DE PLÁTANO EN LA
REGIÓN DEL ARIARI DEPARTAMENTO DEL META

WILMER GUILLERMO CIFUENTES SÁNCHEZ
EDISON CIFUENTES RIVERA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELAS DE INGENIERÍAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
MEDELLÍN
2019

PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DE LA FIBRA DE PLÁTANO EN LA
REGIÓN DEL ARIARI DEPARTAMENTO DEL META

WILMER GUILLERMO CIFUENTES SÁNCHEZ

EDISON CIFUENTES RIVERA

Trabajo de grado para optar el título de
Magister en Ciencias Naturales y Matemáticas

Directora

ADRIANA RESTREPO OSORIO

PhD Ingeniería

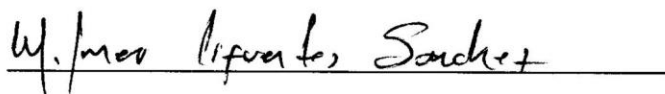
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELAS DE INGENIERÍAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
MEDELLÍN

2019

Medellín, noviembre 2019

WILMER GUILLERMO CIFUENTES SÁNCHEZ

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o en cualquier otra universidad” Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada”



WILMER GUILLERMO CIFUENTES SÁNCHEZ

Medellín, noviembre 2019

EDISON CIFUENTES RIVERA

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o en cualquier otra universidad” Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada”



EDISON CIFUENTES RIVERA

DEDICATORIA

A mi esposa Lina García y mi familia que me motivaron para iniciar esta etapa y que durante este camino nunca dejaron de apoyarme y animarme para que siguiera adelante. A estas personas que siempre confiaron en mí.

Wilmer Cifuentes Sánchez

DEDICATORIA

A mis padres Nubia Stella Rivera Sánchez y Edison Cifuentes Salazar por su apoyo incondicional, sus consejos y enseñanzas que me dejaron durante mi proceso de formación, sin ellos el desarrollo de este trabajo hubiera sido imposible. También, quiero dedicarlo a mi hermano Edgar Camilo Figueroa Rivera quien me apoyo y motivo a distancia, para cumplir con todas las actividades académicas.

Edison Cifuentes Rivera

AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue posible, gracias a Dios quien en su voluntad permitió y puso a nuestro lado familia y amigos que nos expresaron su apoyo y vieron en este proyecto una idea llamativa.

A la Universidad Pontificia Bolivariana, por propiciar estos espacios de formación académica y en su nombre a la PhD. Adriana Restrepo Osorio quien nos dirigió en este proceso. Por su esfuerzo y dedicación, quien, con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación, ha logrado que podamos terminar con éxito este trabajo.

Una vez más a Dios.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA | 2 |
| 2. JUSTIFICACIÓN..... | 4 |
| 3. OBJETIVOS..... | 6 |
| 3.1 Objetivo general:..... | 6 |
| 3.2 Objetivos específicos..... | 6 |
| 4. MARCO REFERENCIAL..... | 7 |
| 4.1 Estado del arte | 7 |
| 4.2 Marco teórico | 11 |
| 5. MONOGRAFÍA | 14 |
| 5.1 Generalidades de las fibras naturales. | 14 |
| 5.2 La fibra de plátano, generalidades y aplicaciones | 23 |
| 5.3 Métodos de extracción..... | 32 |
| 5.4 Propuesta de aprovechamiento para la fibra de plátano | 41 |
| 6. CONCLUSIONES | 53 |
| 7.RECOMENDACIONES..... | 54 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 55 |

LISTA DE TABLAS

| | | |
|----------|--|----|
| Tabla 1 | Clasificación de la fibras naturales..... | 17 |
| Tabla 2 | Principales productores de fibras vegetales..... | 19 |
| Tabla 3 | Propiedades de materiales compuestos con diferentes fibras | 22 |
| Tabla 4 | Propiedades térmicas de algunos polímeros | 26 |
| Tabla 5 | Costo y tiempo de implementación de métodos de extracción para 1 kg de fibra..... | 40 |
| Tabla 6 | Costo de implementación del decorticado manual..... | 45 |
| Tabla 7 | Costo de implementación del decorticado mecánico | 46 |
| Tabla 8 | Costo de implementación del enriado en agua | 47 |
| Tabla 9 | Costo de implementación del enriado químico | 49 |
| Tabla 10 | Comparación de costo, tiempo y cantidad de fibra obtenida entre los métodos de extracción..... | 50 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Ilustración 1: Partes de la planta de plátano | 25 |
| Ilustración 2:Práctica para estimar la cantidad de agua necesaria en un enriado en un tanque plástico..... | 48 |

RESUMEN

El presente trabajo de grado, está enfocado en la importancia que tienen en la actualidad la utilización de los residuos agroindustriales, la cual se fundamenta en las investigaciones realizadas sobre el aprovechamiento de los mismos, en particular los residuos agrícolas del cultivo del plátano. Por esta razón, se planteó en este proyecto la elaboración de una monografía sobre la fibra de plátano, debido a que esta fibra se obtiene de los residuos agrícolas de la planta, a bajo costo y se podría aprovechar en diferentes campos de acción.

Esta monografía consiste es una propuesta de aprovechamiento de la fibra de plátano dirigida a la región del Ariari departamento del Meta en Colombia. Para su desarrollo se realizó una revisión bibliográfica, considerando las propiedades, aplicaciones y comparación entre los diferentes métodos de extracción de la fibra de plátano, teniendo en cuenta las variables de costo, tiempo y cantidad de fibra obtenida. Finalmente, se describen dos posibles productos para el aprovechamiento de la fibra, con lo cual se espera contribuir en el cuidado el medio ambiente y el crecimiento de la región.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en Colombia existen campesinos que trabajan en la siembra del plátano, sin darle un uso adecuado a los residuos agrícolas que se generan de este cultivo. Esto se debe en parte al desconocimiento de los diferentes procesos de aprovechamiento que se pueden implementar con los desechos del cultivo y a que la extracción manual de la fibra de plátano es un trabajo que requiere dedicación y tiempo. Por esta razón, es importante organizar y divulgar el conocimiento sobre la tecnología e implementos necesarios para realizar el proceso de extracción de la fibra, nivelando las variables de tiempo, costo y cantidad de fibra obtenida.

En la región del Ariari departamento del Meta, el plátano es un cultivo que ha llegado a ocupar un área de 15.916 ha en el 2018 (MinAgricultura, 2019). Lo anterior la convierte en una región con un potencial en la generación de residuos de este cultivo. Por esta razón, el interés de este proyecto fue ofrecer alternativas para el aprovechamiento de los mismos, en particular la fibra de plátano, aportándole a la comunidad una visión diferente respecto a la disposición final de los residuos agrícolas.

La presente monografía consta de cuatro capítulos que son: 1. Generalidades de las fibras naturales, 2. La fibra de plátano, generalidades y aplicaciones, 3. Métodos de extracción y 4. Propuesta de aprovechamiento para la fibra de plátano. Estos capítulos se encuentran en la sección donde se desarrolla la monografía y responden a los objetivos planteados en el proyecto.

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Desde que el hombre ha utilizado el suelo para la agricultura, los procesos agrícolas han generado diferentes residuos, algunos durante la etapa de cultivo y otros en la cosecha. Entre estos se incluye los desechos vegetales que resultan de la limpieza y poda de las plantas; los empaques de los productos químicos que se aplican para mejorar la productividad, y los residuos agroindustriales que son generados en el proceso de comercialización y transformación de las cosechas (Escalante, Orduz, Zapata, Cardona, & Duarte, 2008)

Los residuos agrícolas y agroindustriales al ser dejados a la intemperie y sin un tratamiento previo, ocasionan impactos ambientales negativos, en efecto su descomposición los puede convertir en residuos peligrosos principalmente por la presencia de agentes infecciosos que pueden llegar a causar daño a humanos, animales, cultivos y a los recursos naturales (Saval, 2012). Además, se asocian otros problemas como: la liberación de dióxido de carbono producto de las quemas, contaminación de las fuentes hídricas, presencia de malos olores, creación de condiciones propicias para la proliferación de plagas, entre otros (Barragán, Téllez, & Laguna, 2008).

Dichos residuos, se pueden aprovechar de diversas formas, entre ellas se encuentran: la producción de alimentación animal y humana, la obtención de abonos, la generación de biocombustibles, entre otros (Yepes, Montoya, & Orozco, 2008). También, algunos se emplean para la extracción de fibras, las cuales son usadas en la fabricación de papeles, materiales aglomerados y maderas artificiales (Osorio, Varón, & Herrera, 2007). Por lo tanto, los residuos agroindustriales se pueden considerar como materia prima para la generación de diversos productos con un valor económico, de interés comercial y social, no obstante, hoy en día en

su gran mayoría, solo se consideran desechos sólidos sin ninguna opción de reutilización (Yepes et al., 2008)

Dentro del conjunto de cultivos que generan residuos agrícolas en grandes cantidades en Colombia, se encuentra el plátano, según Min Agricultura, en este país el área cosechada en plátano en el año 2018 fue 418.349 hectáreas (ha) con una producción anual de 4.307.509 toneladas y un rendimiento promedio de 10,3 t/ha. Para el departamento del Meta la producción de plátano en este mismo año fue de 22.735 ha cosechadas con una producción de 458.394 t y un rendimiento de 20,16 t/ha y en la región del Ariari, la cual está compuesta por doce municipios, en los cuales se concentra el cultivo de plátano con un área cosechada que alcanzó en el 2018 un total de 15.916 ha, equivalente al 70% del área cosechada en el departamento del Meta en este mismo año (MinAgricultura, 2019). Esto la convierte en una región con alto potencial de generación de residuos agrícolas asociados al cultivo del plátano, que no están siendo aprovechados por los agricultores de la región para la extracción de fibra, y que en la mayoría de casos estos residuos son dejados a la intemperie, generando un impacto negativo al medio ambiente.

2. JUSTIFICACIÓN

En la región del Ariari, debido a su poca altura sobre el nivel del mar, se cosecha plátano de la variedad Hartón bajo la modalidad de monocultivo y densidades de siembra entre las 1900 y 2600 plantas por hectárea, con un ciclo que dura entre 10 y 12 meses (Martínez, 1998). Este cultivo genera residuos sólidos conformados por biomasa y por otros materiales que se usan para las distintas prácticas productivas. Mientras que para otros residuos como las bolsas plásticas se conocen e implementan procesos de aprovechamiento como el reciclaje y uso en la fabricación de postes. En el caso de la biomasa, compuesta por las hojas, seudotallo, raquis y restos de fruto, se conoce que un 85 % es dejada en la zona de cultivo como un residuo no reutilizable (Sepúlveda, 2014).

La biomasa residual del cultivo de plátano de la cual se puede extraer fibra, está conformada por el raquis, las hojas y principalmente por el seudotallo de la planta, la fibra extraída del seudotallo es la que se tiene en cuenta para el desarrollo de la propuesta, el cual en estado verde tiene un peso promedio de 40 kg con aproximadamente 92 % de agua y 3 % de fibra, esto significa que se puede extraer en promedio 1,2 kg de fibra por seudotallo. Según reportes en la región del Ariari, se maneja una densidad de siembra promedio de 2.000 plantas por hectárea, con la cual se puede estimar una producción de 2.400 kg/ha de fibra, sabiendo que en esta región en el 2018 se sembró un total de 15.916 ha, entonces el valor aproximado en fibra es de 38.198 t en un año de cosecha de plátano, lo que de aprovecharse podría representar ingresos adicionales para los cultivadores (Álvarez, Capanema, Gañán, & Rojas, 2009; Garavello, Da Silva, & Pacheco, 2008; Goncalves, 1998; MinAgricultura, 2019; Mora, Esquivel, Durán, & Zamora, 2015).

Lo descrito anteriormente pone en evidencia una problemática sobre el manejo que se está dando a los residuos agrícolas y en especial la del cultivo de plátano.

Teniendo en cuenta que la región del Ariari es uno de los principales productores de plátano, se convierte también en uno de los principales generadores de residuos, lo que hizo necesario proponer un proceso de aprovechamiento para dichos residuos, que impacte los aspectos ambientales, sociales y económicos en la región del Ariari.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general:

Proponer un proceso de aprovechamiento de la fibra de plátano para la región del Ariari Departamento del Meta.

3.2 Objetivos específicos:

- ✓ Realizar una revisión bibliográfica sobre los usos y aplicaciones de la fibra de plátano.
- ✓ Seleccionar un método de extracción para la fibra de plátano, mediante la comparación de variables como el costo, tiempo y cantidad de fibra obtenida.
- ✓ Analizar distintas posibilidades de aprovechamiento de la fibra de plátano según sea su aplicabilidad.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 Estado del arte

Las fibras naturales ofrecen algunas ventajas en comparación con las fibras sintéticas, como, su bajo costo de producción, bajo peso, menor daño a los equipos de procesamiento, favorecer mejores acabados superficiales. La abundancia, fácil disponibilidad y la renovabilidad de las fuentes de las que se obtienen las fibras naturales, ha motivado un aumento en su aplicación en diferentes sectores, por ejemplo, la industria de los automóviles, los textiles y la construcción (Tualombo, 2015).

Entre las aplicaciones de las fibras naturales, está el refuerzo de materiales compuestos en los cuales sus componentes individuales se incorporan aprovechando sus atributos, obteniendo así materiales mejorados (Furtado, Silva, & Alves, 2012). En este campo de investigación se conocen avances como, la utilización de fibras naturales como el Yute, kenaf, cáñamo, lino y ramio en la industria de automóviles reemplazando la aramida y fibra de vidrio. Esto se debe a que estas fibras naturales presentan ventajas como un menor peso, una mayor rigidez y resistencia a las deformaciones al ser comparados con materiales compuestos de fibra de vidrio y aramida. También, se ha logrado el desarrollo de compuestos utilizados en la fabricación de cubiertas para estabilizadores de voltaje y proyectores a partir de la fibra de coco (Furtado et al., 2012; Sanjay, Arpitha, Naik, Gopalakrishna, & Yogesha, 2016).

El uso de fibras naturales para el refuerzo de materiales compuestos se ha extendido considerablemente durante las últimas décadas. Esta tendencia ha seguido una evolución creciente motivada por razones medioambientales y por el deseo de reducir el costo de los materiales compuestos (Rahhali, Carrillo, Macanás, Cañavate, & Colom, 2016). En consecuencia, fibras como la del plátano han sido el

centro de atención de investigadores y empresarios, debido a que proviene de residuos agrícolas y se convierte en una opción amigable con el medio ambiente al momento de utilizarla como hilo, refuerzo de materiales, producción de papel entre otros (Tapia, Paredes, Simbaña, & Bermúdez, 2006).

La fibra vegetal que se extrae del seudotallo de plátano es fuente de celulosa, lignina y hemicelulosa. Para determinar sus posibles aplicaciones se tienen en cuenta propiedades mecánicas como su resistencia a la tracción, a la flexión y módulo de elasticidad (Malhotra, Sheikh, & Rani, 2012). De acuerdo a las investigaciones la fibra de plátano puede emplearse para la fabricación de: empaques de alta resistencia, papeles para impresión, arte o moneda, y materiales compuestos. Este último partiendo de su definición, está conformado por una matriz (polimérica, cerámica, metálica) y un refuerzo que es la fibra, por ejemplo, en el campo de la construcción se pueden elaborar materiales compuestos reforzados con fibra de plátano como paredes y techos (Shackelford, 2005; Shahinur & Mahbub, 2019; Sharma & Kumar, 2013).

Según reportes, es posible obtener papel con fibra de plátano a través de métodos artesanales o químicos, de los cuales el método químico, proporciona a la fibra una mayor compactación, despigmentación y suavidad, en consecuencia, se obtiene un mayor rendimiento de fibra y una mayor calidad en la muestra de papel obtenida respecto al método artesanal (Meneses, León, Mejía, Guerrero, & Botero, 2010). La fibra de plátano tiene utilidades en la fabricación de aglomerados, con mejores propiedades de resistencia e impermeabilidad, al compararlo con un aglomerado comercial de madera (Gaitán, Fonthal, & Ariza, 2016).

La fibra también tiene aplicaciones en los materiales utilizados en la construcción de algunas viviendas. Es el caso de bloques innovadores propuestos a base de fibra de plátano y tierra comprimida. Las investigaciones en construcción con bloques de tierra comprimidos son cada vez más populares debido a su bajo costo y la

abundancia de materias primas (Mostafa & Uddin, 2016; Steffens, Steffens, & Oliveira, 2017).

Por otra parte, la fibra de plátano se ha empleado en la obtención de hilos con propiedades adecuadas para ser tejidos y que pueden ser usados para producir materiales compuestos. Para este objetivo, el proceso de extracción de la fibra se lleva a cabo por medio de un tratamiento enzimático, obteniendo así una fibra más limpia y con mayor estabilidad térmica (Ortega, Morón, Monzón, Badalló, & Paz, 2016).

La fibra de plátano también se ha usado para reforzar compuestos de poliéster. Con este fin, se compararon materiales compuestos con fibras de fique, vidrio, fibras de plátano crudas y tratadas químicamente. Los resultados obtenidos muestran un mejor valor de tensión a la ruptura, mejor adhesión con la matriz y un menor incremento de peso para los materiales compuestos con fibras de plátano tratadas en comparación con las fibras crudas y el fique, hasta el punto de llegar a reemplazarlas (Rodríguez, Sarache, & Orrego, 2014). En el campo textil la fibra de plátano viene siendo utilizada de forma artesanal en la fabricación de accesorios debido a sus características, pero estos productos en su mayoría son rústicos ya que se usan métodos mecánicos para la extracción de la fibra (Abad, Mogrovejo, & Rojas, 2012).

Dentro de las aplicaciones recientes de la fibra de plátano, se encuentran la fabricación de tazas, platos y cajas tridimensionales hechas con gluten de trigo y esta fibra, demostrando la viabilidad en la producción de bioproductos (Nataraj, Sakkara, Hn, & Reddy, 2018). Adicionalmente, se ha usado esta combinación de fibra y el gluten de trigo para desarrollar placas de circuitos impresos y materiales dieléctricos, desempeñando un papel importante en circuitos integrados y microelectrónica (Guna, Ilangovan, Hu, Venkatesh, & Reddy, 2019).

Por otra parte, la fibra de plátano se ha aplicado en la elaboración de cartón con propiedades antimicrobianas, al combinarse esta fibra con estiércol de vaca (Dharunya, Vishnuvarthanan, Karpagam, Jayashree, & Sowndharya, 2019). De forma similar se puede obtener un material absorbente para pañales desechables, a partir de fibra de plátano y algodón; por último, esta fibra puede ser empleada para la eliminación de contaminantes en aguas residuales de cocina (Sowmiya & Sentthilkumas, 2019; Suhani, Daud, Radin, & Awang, 2017).

Esta fibra es un residuo agrícola de bajo costo debido a ser considerado como material sin valor de reutilización, sus propiedades hacen de esta fibra una opción para ser utilizada en el campo de los textiles, los materiales compuestos, en la fabricación de ladrillos con tierra comprimida, papeles, láminas de cartón, entre otros.

En Colombia el cultivo de plátano genera un alto porcentaje de residuos, de los cuales solo algunas organizaciones artesanales lo están aprovechando. Por esta razón es importante trabajar en proyectos que involucren esta fibra para dar a conocer posibles aplicaciones, con el objetivo de buscar oportunidades para el aprovechamiento de los residuos de este cultivo, y disminuir problemáticas ambientales asociadas a su mala disposición.

4.2 Marco teórico

Las fibras naturales vegetales se encuentran en las paredes celulares en partes como el fruto, tallo, hoja y la semilla de las plantas, están compuestas por celulosa, hemicelulosas, ligninas y aromáticos, ceras y otros lípidos, cenizas y compuestos solubles en agua. Conocer la química y la estructura de la fibra determina sus funcionalidades y proporciona procesamientos más eficientes y de calidad (Akin, 2010a).

Estas fibras se componen principalmente de celulosa, lo anterior las hace útiles en la fabricación de papel y telas. Dependiendo del origen de las fibras se pueden organizar en diferentes categorías: fibras de semilla, hoja, tallo y fruto. Algunos ejemplos de fibras naturales son, el algodón, el lino, el coco, el cáñamo o el plátano (Shah, Nag, & Clifford, 2016). Entre las ventajas de las fibras naturales de origen vegetal se encuentra su biodegradabilidad, además de estar disponibles en altas cantidades, un bajo costo y renovabilidad, sin embargo, tienen algunas desventajas como su baja adhesión con matrices poliméricas hidrofóbicas, un envejecimiento prematuro y degradación (Sepúlveda, 2014).

Por otra parte, las fibras naturales se estudian teniendo en cuenta sus propiedades físicas y mecánicas, como son la densidad, resistencia a la tracción, módulo de elasticidad, entre otras. Estas propiedades dependen de la composición química y estructural, el tipo de fibra, y las condiciones de crecimiento de la planta (Saxena, Pappu, Sharma, Haque, & Wankhede, 2011). Así mismo, las fibras se definen como la unidad elemental más pequeña e identificable de una pared celular, y de acuerdo a su tamaño y forma, se especifica su relación de aspecto, esta relación entre la longitud y el diámetro de la fibra tiene un papel importante para definir sus potenciales aplicaciones (Akin, 2010a).

Una posible fuente de fibra natural es la planta de plátano, de la familia *Musáceas*, a la que pertenece la *Musa Cavendish* (bananos), *Musa Paradisiaca* (plátanos) y *Musa Textilis* (abacá), esta última de gran importancia en la producción de cordelería (Paz, 2011). Las variedades de plátano como el Hartón y el Dominic Hartón son las más cosechadas en Colombia (Martínez, 1998). Estas plantas producen un solo racimo durante su vida, por esta razón después de la cosecha son consideradas residuos agrícolas (Meneses et al., 2010). Entre las partes de la planta con potencial para la extracción de fibra se consideran principalmente el seudotallo, la vena central de las hojas y el raquis, debido a su contenido de fibra (Vigneswaran, Pavithra, Gayathri, & Mythili, 2015).

El raquis es una estructura tubular que sostiene el racimo en la parte superior del seudotallo, las hojas tienen una nervadura central también llamada vena central, el seudotallo es una agrupación cilíndrica ubicada entre la raíz y las hojas de la planta, formada por las vainas foliares, con organización de espiral que soporta el peso del racimo. El seudotallo está compuesto aproximadamente por un 3 % de fibra, la cual está constituida de celulosa, hemicelulosas y lignina (Garavello et al., 2008; Mukhopadhyay, Fanguero, & Shivankar, 2009).

Para la extracción de la fibra de plátano se pueden implementar métodos mecánicos como el decorticado manual y mecánico, métodos biológicos como el enriado en agua y al rocío, métodos químicos como el enriado químico y enzimático, y en algunos casos la combinación de los anteriores métodos, como, por ejemplo, iniciar la extracción de la fibra con un decorticado mecánico seguido de un enriado enzimático para limpiar la fibra. Estos métodos difieren en variables de costo de implementación, tiempo de extracción, longitud y calidad de la fibra (Jacob & Prema, 2008; Jayaprabha, Brahmakumar, & Manilal, 2011).

La fibra que se extrae tiene diversos usos, en el campo textil se puede mezclar con fibras como el algodón para producción de telas (A Jain, Rastogi, & Chanana, 2016),

igualmente, es usada en el refuerzo de materiales compuestos con aplicaciones en industrias como por ejemplo, naval, automotriz y de la construcción (Assis et al., 2015; Sathish & Kesavan, 2015).

5. MONOGRAFÍA

5.1 Generalidades de las fibras naturales.

La palabra “fibra” es un “término generalmente usado en el campo textil para nombrar cualquiera de los diversos tipos de materia que forman los elementos básicos de un textil y se caracterizan por tener una longitud de al menos 100 veces su diámetro” (ASTM, 2017) , es decir, tienen una alta relación de aspecto. Las fibras se pueden clasificar de diversas maneras; de acuerdo a su origen se divide en naturales y sintéticas, las primeras son aquellas que se obtienen directamente de la naturaleza a través de un proceso de extracción; las segundas son fibras creadas o modificadas usando compuestos químicos; el acrílico, vidrio y acetato son ejemplos de este tipo de fibras (ASTM, 2017; Fontalvo & González, 2013).

Generalmente, las fibras naturales tienen su origen en fuentes animales, minerales o vegetales, las cuales presentan propiedades que facilitan su proceso de extracción y transformación (Innocentini & Giraldi, 2009; Omrani, Menezes, & Rohatgi, 2016). Estas fibras se emplean habitualmente en la fabricación de productos textiles como hebras, hilos, cuerdas, telas, cortinas, cubiertas de sillas, alfombras, tapices, entre otros. Además, se usan en la obtención de materiales compuestos para aplicaciones en diferentes campos (Guerra & Da Rosa, 2012; Villegas & González, 2013). Esto ha permitido generar actividades de intercambio comercial entre diferentes culturas, mejorando así la calidad de vida del ser humano.

Entre las fibras que tienen origen animal se encuentran la seda de arañas y gusanos, pelos de animales como camellos, ovejas, etc., compuestas generalmente de proteínas como la fibroína y la queratina (Ho et al., 2012). Adicionalmente, están las fibras minerales, en las cuales se ubica el asbesto, que hoy en día se encuentra en desuso, debido a los riesgos que trae para la salud (Ho et al., 2012; Innocentini & Giraldi, 2009).

Entre las fibras naturales, las vegetales son muy empleadas, debido a su producción económica, son biodegradables, provienen de fuentes renovables y abundantes (Furtado et al., 2012). Están compuestas de celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina y ceras; así mismo, los reportes indican que la celulosa es el componente principal con porcentajes mayores al 60% en fibras como el algodón, sisal, jute, lino, entre otras (Sood & Dwivedi, 2018). Además, cada uno de estos componentes cumple funciones en la fibra y determina algunas propiedades que se describen a continuación.

La celulosa en particular tiene una estructura microfibrilar, se produce en las paredes celulares de las plantas, es altamente cristalina y está relacionada con la eficacia de refuerzo, resistencia a la tracción y flexión de la fibra; las buenas propiedades de tracción de la fibra de piña se asocian con su alto contenido de celulosa. Respecto a la lignina, es el segundo elemento más abundante en las plantas y es responsable de la fuerza, la rigidez y protección de las paredes celulares, es térmicamente estable, protege a la fibra de la degradación por rayos ultravioleta (UV), e influye en la biodegradación y respuesta a los tratamientos químicos, así mismo, debido a su alto contenido de lignina, la fibra de coco presenta una baja absorción de agua (Desai & Kant, 2016; Furtado et al., 2012; Ramamoorthy, Skrifvars, & Persson, 2015).

Por otra parte, la hemicelulosa se relaciona con la degradación térmica de la fibra y absorción de humedad. El alto contenido de hemicelulosa aumenta la absorción de humedad y facilita parte de la degradación de la fibra por aumento de la temperatura (Betancourt, Gañan, Jiménez, & Cruz, 2009; Komuraiah, Kumar, & Prasad, 2014; Wang, Xiao, & Shi, 2019). Por ejemplo, la alta absorción de la fibra de lino puede deberse a la presencia de hemicelulosas. Respecto a las pectinas, estas se encuentran en cantidades bajas en las fibras, localizándose en el interior de la pared celular proporcionando estabilidad y con importancia en el proceso de extracción, las pectinas, en fibras de líber, ayudan a unirla en paquetes y a determinar su brillo

(Sindwani, Chanana, & Bhagat, 2015). Las ceras por su parte, son insolubles en agua y generan una barrera protectora en la superficie de las fibras conocida como cutícula que cumple una función impermeabilizante; la fibra de algodón tiene dicha capa que la protege de su exposición al clima cuando se abren las cápsulas (D. Akin, 2010; Furtado et al., 2012).

Entre las propiedades que se tienen que considerar en el estudio de las fibras naturales vegetales se encuentran las propiedades físicas como el diámetro, longitud, relación de aspecto, densidad y absorción de humedad. También, se tiene en cuenta las propiedades mecánicas como su elasticidad, resistencia a la tracción, alargamiento o rotura (Mwaikambo, 2006). Del mismo modo, es importante resaltar que las propiedades como la composición de las fibras varían dependiendo de factores como el clima, suelo, la edad de la planta y el tipo de cosecha, incluso en una misma planta se pueden obtener fibras con valores diferentes para estas propiedades (Saxena et al., 2011).

Las fibras vegetales se pueden agrupar en primarias o secundarias de acuerdo con el propósito del cultivo, es decir, son primarias si se realiza esta actividad solamente con el objetivo de extraer la fibra, como ocurre con el cáñamo, yute y kenaf; o secundarias si el cultivo está destinado a otro propósito como la producción de alimentos, pero se aprovechan sus residuos para la obtención de fibra, es el caso de la piña o el plátano, entre otros (Ramamoorthy et al., 2015). También, se pueden clasificar según el lugar del cual se extraen de la planta como se muestra en la Tabla 1.

Las fibras de líber o tallo se encuentran en el floema y capas celulares externas de los tallos de las plantas como la corteza y el periciclo. También son llamadas fibras suaves y se encuentran en forma de haces fibrilares a lo largo del tallo (Mwaikambo, 2006). Para su proceso de extracción se usan técnicas como la explosión de vapor, enriado, tratamientos químicos, decorticación mecánica y métodos mixtos, según

otros autores el método de decorticación mecánica es el más rápido y de mayor producción de fibra (Tarabi, Mousazadeh, Jafari, & Taghizadeh-Tameh, 2016). Algunas de estas fibras muestran valores superiores en su resistencia a la flexión y módulo de elasticidad comparadas con fibras de semilla, hoja y fruto (Pamuk, 2016).

Tabla 1

Clasificación de la fibras naturales

| Tipo de Fibra | Planta |
|---------------|---|
| Hoja | Abacá, piña, sisal, plátano, henequén, palma africana, yuca, cabuya |
| Semilla | Algodón, kapok |
| Tallo o Líber | Lino, yute, cáñamo, kenaf, ortiga |
| Fruto | Coco, luffa |

Tomado de (Kozłowski, Muzyczek, & Walentowska, 2014; Musing & Sloomaker, 2010)

Las fibras de hojas también suelen llamarse fibras duras, debido a su rigidez y textura más gruesa que las fibras de tallo, e igualmente se hallan en haces fibrilares. Las hojas con estructuras largas y lineales fortalecidas con fibra, suelen ser empleadas para la producción de la misma. Además, por su rigidez, estas fibras pueden aprovecharse en la fabricación de cuerdas tejidas, telas, esteras, etc. Existe variedad de plantas usadas para extraer fibras foliares, entre ellas el plátano, banano, sisal, piña, abacá, etc. (Ramesh, Palanikumar, & Reddy, 2017). La mayoría de fibras de hojas se extraen generalmente por decorticación, durante este proceso las hojas se raspan usando cuchillas que separan las fibras de los otros componentes de la hoja, seguidamente las fibras son lavadas y secadas (Desai & Kant, 2016).

Por otra parte, están las fibras de frutos que son obtenidas de la piel o la cáscara de los mismos. Se destaca entre ellas la fibra de coco, en este caso el tejido fibroso se encuentra entre las capas que rodean el fruto y se pueden clasificar en fibras blancas (largas) y marrones (gruesas y cortas), estas características dependen del

proceso de extracción utilizado (Mwaikambo, 2006). Para su extracción se puede llevar a cabo un proceso de enriado, este puede ser seguido del uso de equipos de desfibrilación o decorticación para procesar las cáscaras. El método de extracción empleado tiene impactos directos sobre las propiedades de la fibra obtenida (Desai & Kant, 2016). Estas se emplean en la fabricación de cuerdas, esteras, sacos, cepillos, geo-textiles, entre otros (Ramesh et al., 2017).

El otro tipo de fibra a mencionar son las fibras de semilla, las cuales provienen generalmente de la cubierta protectora de la semilla y tienen pocos centímetros de longitud, la fibra más sobresaliente de este tipo es el algodón (Fuqua, Huo, & Ulven, 2012). Debido a su suavidad, estas fibras tienen diversas aplicaciones en la industria textil como la elaboración de muebles, colchones, sábanas, toallas, pañuelos, ropa, etc. (Ramesh et al., 2017).

De acuerdo con las fuentes bibliográficas, se tienen evidencias del uso de las fibras vegetales como el algodón, en la fabricación de textiles como alfombras, ropa, y accesorios decorativos desde el año 5000 A. C. (Innocentini & Giraldi, 2009). La fibra de lino en la elaboración de ropa desde el año 3000 A. C. y la paja como un material de refuerzo para la fabricación de ladrillos y cerámicas desde hace miles de años. Así mismo, durante el siglo XX, la industria automotriz empezó a desarrollar componentes de autos incorporando fibras vegetales como el cáñamo (Mwaikambo, 2006). Hoy en día las fibras vegetales siguen concentrando su uso en el campo textil, no obstante, los métodos y técnicas para su aprovechamiento han evolucionado con el paso del tiempo.

La producción actual de fibras vegetales a nivel mundial está liderada por el algodón, seguida de otras fibras como el yute y el kenaf. El algodón tiene su principal aplicación en el campo textil, mientras las demás fibras se pueden utilizar en el refuerzo de materiales compuestos (Innocentini & Giraldi, 2009; Mwaikambo, 2006). Por otra parte, en la tabla 2 se relaciona la producción promedio mundial por año de

algunas fibras vegetales, desde el año 2010 al 2016 y los principales productores a nivel mundial.

Tabla 2

Principales productores de fibras vegetales

| Tipo de Fibra | Miles de toneladas | Productor principal |
|---------------|--------------------|---------------------|
| Algodón | 23000 | India |
| Yute | 2880 | India |
| Kenaf | 248 | India |
| Coco | 840 | India |
| Sisal | 238 | Brasil |
| Abacá | 76 | Filipinas |
| Henequén | 15 | México |
| Fique | 20 | Colombia |

Producción de fibras vegetales, promedio de los años 2010 al 2016, tomado de (Carvalho & Ruiz, 2018; FAO, 2017)

La Tabla 2 muestra que el mayor productor de fibras vegetales es la India. Igualmente, se evidencia que la producción y comercio de estas fibras es una actividad que genera ingresos económicos a los países productores, debido a las diferentes aplicaciones que se les ha dado a dichos materiales a nivel mundial, lo cual genera un flujo de exportaciones a países no productores o que no alcanzan a suplir su demanda interna de fibras (Carvalho & Ruiz, 2018).

Hoy en día las fibras vegetales tienen un papel de importancia motivado por el aumento de la preocupación en el cuidado del medio ambiente por parte de la comunidad internacional. Esto se debe a las características biodegradables de las fibras vegetales que podrían facilitar su eliminación por compostaje, brindando una ventaja ambiental en comparación con las fibras sintéticas. Así mismo, son un recurso renovable con un sistema de producción económico, es decir, que requiere

poca energía (Furtado et al., 2012). La característica de biodegradabilidad de las fibras naturales ha llevado a su uso en aplicaciones geotécnicas de corto plazo para proteger temporalmente y permitir el crecimiento natural del follaje local en la recuperación, restauración de tierras y vías fluviales. También, se utilizan algunas fibras en el control de erosión, la estabilización y refuerzo del suelo (Desai & Kant, 2016).

Otro punto a favor es que las fibras vegetales se convierten en una fuente de ingreso para las personas de las zonas rurales (Tarabi et al., 2016). Por ejemplo, los agricultores pueden establecer cultivos para la producción de fibras como el algodón o cáñamo. También, pueden emplear cultivos para la producción de alimentos y utilizar sus residuos para la extracción de fibras como es el caso del arroz, la caña de azúcar, piña, banano, plátano, entre otros. Estas fibras se venden para ser transformadas a nivel industrial o se pueden emplear para la fabricación de elementos artesanales.

En la tierra hay un gran número de plantas disponibles, más de 1000 especies, de las cuales se pueden obtener fibras vegetales. Aunque no todas son utilizables, lo más general es emplearlas para productos textiles, pulpa y papeles, aislamiento y cría de animales. Asimismo, las fibras naturales se emplean en el refuerzo de materiales compuestos, mostrando un rápido crecimiento en esta área, gracias a la abundancia y el bajo costo de las mismas (Shah et al., 2016).

Uno de los campos de aplicación más antiguo de las fibras naturales son los textiles, los cuales han acompañado a una variedad de civilizaciones durante su desarrollo. Hoy en día las fibras naturales se utilizan en la fabricación de ropa, accesorios decorativos, muebles, tapicería, entre otros (Innocentini & Giraldi, 2009). También, estas fibras se utilizan con fines industriales, como la producción de geotextiles y agrotexiles, por ejemplo, la fibra de coco por su contenido de lignina, es empleada en la producción de geotextiles usados para estabilizar laderas de cuencas

hidrográficas (Piotrowski & Carus, 2010). Por otra parte, una fibra natural para ser utilizada en el campo textil, debe tener valores apropiados en sus propiedades de resistencia, flexibilidad y relación de aspecto (diámetro/longitud), para esto se somete a tratamientos tanto de extracción y de transformación, donde se ponen a prueba estas características (Villegas & González, 2013). Actualmente, el interés de los estudios se centra en mejorar la resistencia a la tracción de los hilos elaborados con fibra, es decir, aumentar su capacidad para oponerse a la rotura con el propósito de optimizar la calidad de los productos textiles (Ghasemi, Tajvidi, Bousfield, & Gardner, 2018).

Otras de las aplicaciones en las cuales las fibras naturales han ganado una participación significativa en las últimas décadas, es el mercado de los materiales compuestos (Oktaee et al., 2017). El uso de las fibras vegetales en el refuerzo de materiales se debe a que, a diferencia de las sintéticas como el vidrio y el carbono, proporcionan beneficios a los materiales compuestos como son una baja densidad, alta rigidez, bajo costo, renovabilidad, biodegradabilidad y alto grado de flexibilidad durante el procesamiento. Esto ha permitido que algunas fibras vegetales como el plátano, sisal y coco sean utilizadas como refuerzo de compuestos termoestables y termoplásticos (Nirmal & Premkumar, 2015). En este campo de investigación se conocen avances como, la utilización de fibras naturales como el jute, kenaf, cáñamo, lino y ramio en la industria de automóviles reemplazando la aramida y fibra de vidrio. Esto se debe a que estas fibras naturales presentan ventajas como un menor peso, una mayor rigidez y resistencia a las deformaciones al ser comparadas con materiales compuestos de fibra de vidrio y aramida, en la tabla 3 se evidencian algunas propiedades de compuestos reforzados con fibras. También, se ha logrado el desarrollo de compuestos utilizados en la fabricación de cubiertas para estabilizadores de voltaje y proyectores a partir de la fibra de coco (Furtado et al., 2012; Sanjay et al., 2016).

Tabla 3
Propiedades de materiales compuestos con diferentes fibras

| Tipo de compuesto | Módulo de elasticidad (GPa) | Resistencia a la tracción (MPa) | Resistencia a la flexión (MPa) |
|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Jute-Poliéster | 6 - 7 | 50 – 95 | 80 – 135 |
| Banano- Poliéster | - | 12 – 23,04 | 76 - 124 |
| Coco- Poliéster | 2,24 | 18 – 47 | 5 – 69,27 |
| Vidrio- Poliéster (25-45 %) | - | 62,06 - 137,90 | 137,9 – 275,06 |
| Jute-Polipropileno | 2 – 4,5 | 17 – 34 | 20 – 34 |
| Banano-Polipropileno | 0,44 – 0,87 | 11,45 – 24,15 | 38 – 42 |
| Coco-Polipropileno | 1,25 – 3,5 | 22 – 27 | 46 – 50 |
| Vidrio-Polipropileno | - | 58,2 | 95 |
| Vidrio/sisal- Polipropileno | 2,43 | 31,59 | 68,84 |

Comparación de las propiedades de materiales compuestos con distintas fibras, tomado de (Chu, 2003; Jarukumjorn & Suppakarn, 2009; Moreno, Florez, & Hernández, 2018; Shahinur & Mahbub, 2019; Sukumaran, Satyanarayana, Kulkarni, Pillai, & Rohatgi, 1986; Valença, Griza, Oliveira, Sussuchi, & Cunha, 2014)

Según varios autores, es posible obtener papel con fibras vegetales a través de métodos artesanales o químicos. Los métodos químicos proporcionan a la fibra una mayor compactación, despigmentación y suavidad, en consecuencia, se obtiene un mayor rendimiento de fibra y una mayor calidad en la muestra de papel obtenida respecto al método artesanal (Meneses et al., 2010). Fibras vegetales como la del plátano permiten la obtención de papel de diversas calidades y para diferentes usos, por ejemplo, para impresión, arte, moneda, empaques, etc. (Peña & González, 2002).

Las aplicaciones de las fibras naturales son diversas. Según los resultados de investigaciones, las fibras vegetales se pueden emplear como medio de aislamiento térmico, absorción de sonido, filtración de carreteras, impermeabilización, control de erosión y protección de riberas (Maity, Singha, Gon, Paul, & Singha, 2012). Por otra parte, debido al crecimiento poblacional, existen limitaciones para disponer de recursos naturales usados en la construcción de viviendas, además, la producción de dichos materiales genera un impacto ambiental negativo, por esta razón, se buscan estrategias para ampliar la variedad de recursos usados en la construcción que permita suplir dicha demanda, por ejemplo, considerar el uso de residuos agrícolas en el refuerzo de materiales, haciéndola sostenible y ofreciendo una solución que disminuye el uso de energía (Madurwar, Ralegaonkar, & Mandavgane, 2013).

En conclusión, existen diversas fibras vegetales, con diferentes características químicas, físicas y mecánicas. Lo anterior, se convierte en un campo de investigación amplio que busca evaluar dichas propiedades y de esta forma determinar sus posibles aplicaciones. Adicionalmente, el estudio de estas fibras ha permitido conocer su biodegradabilidad, lo cual tiene un impacto ambiental positivo en el desarrollo de productos, mitigando en parte la contaminación provocada por el ser humano. En consecuencia, se tiene como resultado un aumento en el aprovechamiento de las fibras vegetales para fines artesanales e industriales, lo cual representa ingresos adicionales para las poblaciones de los sectores rurales.

5.2 La fibra de plátano, generalidades y aplicaciones

El plátano es uno de los alimentos más cultivados y consumidos en el mundo, se puede emplear para la alimentación humana con productos como harinas, cereales y pasabocas, adicionalmente se usa en la producción de alimentos concentrados para animales. Por otra parte, el plátano es un cultivo con alto potencial de generación de residuos, según reportes un 85 % de su biomasa residual (seudotallo,

hojas y raquis) es considerada no reutilizable (Sepúlveda, 2014). En consecuencia, estos residuos generan contaminación debido a su proceso de descomposición. Por lo anterior, el propósito de este capítulo es describir algunos elementos de la biomasa residual del cultivo de plátano, la fibra obtenida de los mismos y sus aplicaciones.

El plátano pertenece a la familia de las *Musáceas*, especie *Musa paradisiaca*. Es una planta herbácea, es decir, no tiene un tallo leñoso. Dentro de su morfología posee un seudotallo que puede alcanzar una altura hasta de 9 m y un diámetro de 0,4 m, este, está formado por vainas foliares que contiene fibra con suficiente resistencia para mantener la planta en posición vertical. Esta durante su ciclo de vida solo produce un racimo, por esta razón, su seudotallo es cortado y desechado luego de la cosecha (Assis et al., 2015; Mohiuddin, Saha, Hossian, & Ferdoushi, 2014).

Luego de cosecharse el plátano, la planta queda a disposición para la extracción de fibra. El seudotallo, el raquis y la vena central de la hoja, son las partes con potencial para la extracción de la misma, estas partes de la planta se evidencian en la imagen 1. Esta fibra, posee una composición química, que representan el porcentaje de sustancias que la componen y le atribuyen a la fibra características de fácil biodegradabilidad, absorción y liberación de humedad, entre estas sustancias se encuentran: “celulosa (50-60 %), hemicelulosa (25-30 %), lignina (12-18 %), pectinas (3-5 %), materiales solubles en agua (3-5 %), ceras (3-5 %) y cenizas (1-1,5 %)” (Mohiuddin et al., 2014).

En investigaciones se ha encontrado que el contenido de celulosa de la fibra de plátano es comparable con el de las fibras de madera, convirtiéndola en un posible material de remplazo en la fabricación de papeles (Mwaikambo, 2006; Padam, Tin, Chye, & Abdullah, 2014). Del mismo modo, debido al porcentaje de lignina se atribuyen a la fibra de plátano propiedades de resistencia a la intemperie y

protección (UV) (Vigneswaran et al., 2015). Igualmente, esta comparación puede llevarse a cabo con otras fibras naturales, buscando un posible aprovechamiento de los residuos generados por el cultivo de plátano.

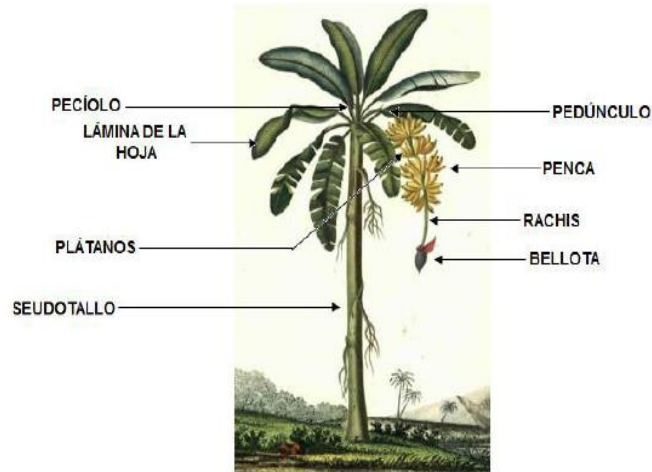


Ilustración 1: Partes de la planta de plátano

(López & Gómez, 2014)

Adicionalmente, esta fibra posee propiedades térmicas como la capacidad calorífica volumétrica, difusividad y conductividad térmica. Teniendo en cuenta reportes, estos valores obtenidos de forma experimental son de $0,67 \times 10^6 \frac{J}{K \cdot m^3}$, $0,82 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$ y $0,55 \frac{W}{m \cdot K}$ respectivamente. De acuerdo con la tabla 4, el valor obtenido para la conductividad térmica es comparable con el de algunos materiales poliméricos como el polietileno de alta densidad (HDPE), así mismo, la difusividad de la fibra tiene valores cercanos al polietileno de baja densidad (LDPE) y al poliuretano en espuma. Lo anterior, permite concluir que la fibra de plátano puede tener aplicaciones en la fabricación de aislantes térmicos, con posibilidades de sustituir los materiales sintéticos tradicionales (Assis et al., 2015; Callister & Rethwisch, 2014).

Tabla 4
Propiedades térmicas de algunos polímeros

| Tipo de polímero | Conductividad térmica ($\frac{W}{m \cdot K}$) | Difusividad térmica ($\frac{m^2}{s}$) | Capacidad calorífica volumétrica ($\frac{J}{K \cdot m^3}$) |
|---------------------------------|--|--|---|
| Polipropileno | 0,1 – 0,22 | $0,55 \times 10^{-6}$ | $1,73 \times 10^6$ |
| Polietileno de alta densidad | 0,46 – 0,55 | $0,18 \times 10^{-6}$ | $1,81 \times 10^6$ |
| Polietileno de baja densidad | 0,33 | $0,69 \times 10^{-6}$ | $1,75 \times 10^6$ |
| Poliuretano en espuma | 0,032 | $0,66 \times 10^{-6}$ | $0,0067 \times 10^6$ |

Comparación de las propiedades térmicas de algunos polímeros, tomado de (Almanza, Yanez, & Rodriguez, 2013; Assis et al., 2015; ATECYR, 2012; Li, Tabil, Oguocha, & Panigrahi, 2008; Santos, Filho, Mummery, & Wallwork, 2004)

Otra de las características importantes de la fibra de plátano son sus propiedades mecánicas, las cuales pueden variar dependiendo del lugar de la planta del cual se extrae. Por ejemplo, las fibras que se extraen del seudotallo, muestran valores para el módulo de elasticidad, resistencia a la tracción y deformación de ruptura de 19,8 *N/tex*, 0,47 *N/tex* y 1,9 % respectivamente. En el mismo orden, los valores de las primeras dos propiedades en fibras extraídas de las hojas corresponden a (12,4 *N/tex*, 0,21 *N/tex*), y en el raquis (10,6 *N/tex*, 0,20 *N/tex*), estas, al ser comparadas con las propiedades de la fibra del seudotallo, revelan que esta última tiene un mayor módulo de elasticidad y resistencia a la tracción (Gañán, Zuluaga, Restrepo, Labidi, & Mondragon, 2008).

Adicionalmente, las fibras de seudotallo tienen una resistencia a la tracción similar a la fibra de jute (0,31 *N/tex*) y el cáñamo (0,47 *N/tex*). Lo cual indica que estas fibras pueden tener diversas aplicaciones en el refuerzo de materiales compuestos

debido a sus propiedades mecánicas (Gañán et al., 2008). Esto se debe, a que dichas propiedades mejoran las características del compuesto final, como por ejemplo, la dureza, resistencia a las deformaciones y elasticidad.

Finalmente, la fibra de plátano también tiene propiedades físicas, entre ellas se encuentran la longitud, diámetro, la relación de aspecto y el ángulo de las microfibras, las que a su vez, están relacionadas con sus propiedades mecánicas. En el caso del ángulo de las microfibras, estudios evidencian que, para valores pequeños de esta propiedad, se obtiene un mayor módulo de elasticidad y a menor diámetro de la fibra, mayor la relación de aspecto (Akin, Eder, Burgert, Müssig, & Sloomaker, 2010). De acuerdo con la bibliografía indagada, se tienen registros para algunas propiedades físicas de la fibra de plátano o banano extraída del pseudotallo, las cuales se muestran a continuación. La longitud promedio de la fibra está entre los 1 cm a 30 cm, el ángulo de microfibras tiene un valor entre los 10° a 12° y el diámetro esta entre los $50 \mu\text{m}$ y $250 \mu\text{m}$ (Satyanarayana & Wypych, 2007)

De acuerdo a las propiedades expuestas anteriormente y a las investigaciones realizadas por diferentes autores sobre la fibra, se infiere que el estudio de dichas propiedades ha permitido establecer aplicaciones en diferentes campos. Esto se logra al comparar los valores obtenidos en la composición química, propiedades térmicas, físicas y mecánicas de la fibra del plátano, con otras fibras naturales o sintéticas. Algunas de las aplicaciones están enfocadas en el desarrollo de materiales compuestos, fabricación de telas y papel, aislantes térmicos o acústicos, entre otros. A continuación, se describen de forma detallada algunas de estas aplicaciones.

La fibra de plátano tiene aplicaciones en el refuerzo de compuestos. Por ejemplo, la adición de un 10 % de esta fibra a un compuesto de PVC produce un aumento en la resistencia a la tracción para el compuesto final. Además, materiales compuestos

por polipropileno-fibra de plátano o cemento-fibra de plátano, muestran mejores propiedades de resistencia a la flexión en su producto final respecto a los materiales compuestos con fibra de vidrio (Innocentini & Giraldi, 2009). Así mismo, algunos polímeros reforzados con esta fibra, están siendo utilizados actualmente en la elaboración de piezas para automóviles, como el caso de la compañía Ford Lincoln que fabrica tapetes para algunos de sus vehículos (Assis et al., 2015). Igualmente, en Egipto la fibra de plátano se ha empleado en el refuerzo de bloques de tierra comprimida usados en construcción de viviendas, evidenciando una mejora en la resistencia a la compresión y a la flexión de los mismos, en comparación con los bloques sin refuerzo, lo cual ha aumentado la popularidad de este tipo de materiales para construcción (Mostafa & Uddin, 2016).

También, se ha estudiado la posibilidad de reforzar una matriz de poliuretano derivado de aceite de ricino con fibras de plátano. Los resultados obtenidos mostraron que, al aumentar el volumen y la longitud de la fibra en los compuestos, mejoran las propiedades de resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad del mismo. Además, cuando las fibras son tratadas químicamente con soluciones de hidróxido sódico al 10 %, los compuestos muestran mayor resistencia a la tracción y módulo de elasticidad comparados con los compuestos hechos de fibra sin tratar. Lo anterior demuestra que la fibra de plátano se puede usar como un material de refuerzo eficiente en este tipo de matrices (Merlini, Soldi, & Barra, 2011). Los compuestos de poliuretano-fibra de plátano elaborados con un modelo de multicapas alternadas, tienen características estructurales y atributos ambientales como un bajo peso, alta resistencia, buen aislamiento térmico, bajo consumo de energía y biodegradabilidad, que los convierte en potenciales materiales para ser usados en la construcción de techos y paredes (Sharma & Kumar, 2013).

Por otra parte, en un material compuesto de ácido poliláctico con fibra de plátano, el contenido de fibra agregado mejora las propiedades mecánicas (tensión y flexión), y estabilidad térmica del mismo. En consecuencia, al aumentar su

estabilidad térmica, estos materiales se emplean en productos que soportan altas temperaturas como recipientes para alimentos calientes y equipos de electrónica. Estos compuestos pueden reducir la dependencia del uso de fibras sintéticas y disminuir los costos de producción industrial, además, debido a la biodegradabilidad de la fibra de plátano, son más respetuosos con el medio ambiente en comparación con compuestos de fibras sintéticas (Shih & Huang, 2011).

Según estudios, se evaluó la capacidad de la fibra de plátano para la adsorción de colorantes en el agua, con el propósito de disminuir el impacto ambiental por el efecto del vertimiento de estos tintes. En dicho proceso las fibras de plátano son molidas y usadas en tres concentraciones diferentes para eliminar el colorante verde ácido de soluciones acuosas. La adsorción del colorante es un proceso principalmente de naturaleza física, además, en las tres concentraciones de fibra utilizadas, la capacidad de adsorción está entre 8 y 18 mg/g de tinte verde ácido, la cual está por encima de un absorbente compuesto de sal-sílice y del carbón activado cuya capacidad se encuentre entre 1,48 a 3,73 mg/g y 3,8 a 11,5 mg/g respectivamente para el mismo tinte (Abdul, Lim, Chua, Salleh, & Law, 2016; Ayad & El-nasr, 2012; Sathya, Kumar, Santhi, & Muralidharan, 2018). Del mismo modo, otros autores han demostrado que la fibra de plátano tiene un potencial absorbente del rojo de metilo y azul de metileno en soluciones acuosas. Este tipo de absorbentes, producto de mezclar el pseudotallo de plátano con sustancias como formaldehídos, son renovables y de bajo costo en comparación con absorbentes sintéticos e inorgánicos (Padam et al., 2014).

Otro campo de aplicación de la fibra de plátano es en la industria textil, desde hace décadas se ha venido empleando esta fibra en la elaboración de artesanías tradicionales y prendas de vestir en algunas regiones (Padam et al., 2014). Adicionalmente, esta fibra se puede mezclar con otras fibras naturales como el yute y el algodón, dando origen a la fabricación de diversos productos. Entre estos se encuentra, la elaboración de hilos, cuerdas, telas y prendas de vestir.

Específicamente, en algunos países europeos se producen calcetines y guantes a partir de la fibra de plátano (A Jain et al., 2016; Mohiuddin et al., 2014). Según reportes, luego de un tratamiento enzimático, estas fibras son adecuadas para ser utilizadas en la producción de hilados mezclados o no con otras fibras como la lana (Ortega et al., 2016).

En la industria de la papelería esta fibra se puede utilizar como materia prima en la elaboración de papel para escribir, papel antigrasa, para cheques, cartón duro y bolsas ecológicas (Mohiuddin et al., 2014). Por ejemplo, en Costa Rica la producción de papel a partir del seudotallo de banano, permite la fabricación de productos entre los cuales se incluyen, cartón, cuadernos, sobres, tarjetas, material para embalaje y papel para cartas (Vigneswaran et al., 2015).

Otra aplicación relacionada con la fibra de plátano y la industria del papel, es la elaboración de empaques verdes para productos alimenticios instantáneos como bolsas, cajas, vasos y tazas (Vigneswaran et al., 2015). También, se determinó que la fibra de plátano es idónea en la producción de papel para envolturas, el cual evidencia mayor absorción de agua y resistencia a la abrasión en comparación con papel reciclado. Así se demuestra que los desechos del cultivo de plátano tienen una composición química, con un porcentaje de celulosa y lignina, que lo hacen un material alternativo y de bajo costo para la fabricación de papel (Ramdhonee & Jeetah, 2017). Por su biodegradabilidad, renovabilidad y bajo costo se espera que el papel elaborado de esta fibra, tenga una gran demanda a nivel internacional, debido a la disminución de la deforestación que este generaría al utilizar menos árboles en la producción de papel.

Un caso particular de lo anterior se presenta en Paraguay, donde se evaluó la fibra del seudotallo de plátano mediante procesos de despulpado mecánico y químico. Los resultados obtenidos sobre el rendimiento de pulpa y resistencia a la tracción, son prometedores y técnicamente factibles en la obtención de pulpa para papeles.

Igualmente, dicho estudio propone mejorar el pretratamiento de la fibra para eliminar la mayor parte de humedad y reducir el tamaño de los haces fibrilares. En consecuencia, las características de la pulpa sugieren posibles aplicaciones en la fabricación de papel cartón ondulado, aunque su desventaja consiste en la baja capacidad de drenaje, lo que reduce la velocidad de producción (Alarcón & Marzocchi, 2015).

La fibra de plátano también se puede emplear en la fabricación de materiales aglomerados (tableros) y maderas artificiales. Por ejemplo, esta fibra se ha probado usando el método de autoadhesión, consistente en un proceso de termocompresión que busca la unión de fibras por presión y temperatura durante un determinado tiempo. Según la revisión bibliográfica, para la elaboración de materiales aglomerados como los tableros, las fibras fueron molidas y depositadas en un molde. Los resultados de dichos estudios muestran la relación que existe entre la temperatura y las propiedades mecánicas (módulo de elasticidad y ruptura) de los tableros aglomerados desarrollados con fibra de plátano, es decir, que al aumentar la temperatura a la cual se somete el molde, mejoran sus propiedades mecánicas, sin embargo, la distribución de las fibras en el molde debe hacerse uniforme para garantizar valores homogéneos de dichas propiedades (Álvarez et al., 2009). Por otra parte, se realizó la comparación de tableros aglomerados de fibra de plátano con los aglomerados comerciales de madera y se obtuvo que el primero de ellos muestra mejores resultados en cuanto a la absorción de agua, aislamiento térmico y dureza, en comparación con el segundo (Gaitán et al., 2016).

En definitiva, la fibra del plátano tiene aplicaciones en diferentes contextos, como en el campo textil, industrias de automóviles, refuerzo de compuestos, diseño de papel, adsorbentes de tintes, materia prima para elementos de construcción, entre otros. Las cuales, son el resultado de investigaciones realizadas sobre la composición química, propiedades térmicas, físicas y mecánicas de esta fibra, que

surgen al momento de querer aprovechar los residuos agrícolas generados por el cultivo de plátano.

Estas aplicaciones tienen un impacto positivo sobre el medio ambiente debido a que los materiales producidos con fibra de plátano son biodegradables y facilitan su proceso de eliminación, además, disminuyen el uso de fibras sintéticas y reducen la contaminación que genera los residuos agrícolas del cultivo de plátano, al ser dejados al aire libre en las zonas destinadas para dicha actividad.

5.3 Métodos de extracción

Para obtener las fibras naturales existen métodos de extracción que se pueden clasificar según los procedimientos de separación de la misma, estos pueden ser biológicos, químicos o mecánicos (Pitimaneeyakul, 2009). Estos métodos se evalúan según los costos económicos, ambientales, el tiempo, la calidad y la cantidad de fibra obtenida en cada uno de ellos. Por esta razón, el objetivo de este capítulo es la explicación de las características de diversos métodos para la extracción de fibras vegetales, haciendo énfasis en la fibra de plátano o fibras similares a esta.

Las fibras blandas o de tallo, se extraen principalmente por medio de un método biológico como el enriado, este consiste en poner los tallos en agua durante un determinado tiempo, el cual depende del volumen y dureza de la fibra a extraer. Luego de liberar las fibras, se lavan y se dejan secar al sol. En cambio, para extraer las fibras duras o de hoja se puede emplear el método mecánico llamado decorticación. Además, se puede considerar un tercer método de extracción mediante un proceso químico, en el cual como su nombre lo indica, se emplean sustancias químicas disueltas en agua para separar la fibra (Macía, 2006; Ramamoorthy et al., 2015).

En primer lugar, se describe el método de enriado, este tiene implícito procesos biológicos y químicos para desarrollar la extracción de las fibras. Consiste en la separación de las fibras de tallo por medio de la descomposición del mismo al sumergirlo en agua. Utiliza la acción de microorganismos como hongos y bacterias para descomponer los tejidos celulares que rodean las fibras, permitiendo así su extracción (Archana Jain, Rastogi, Chanana, & Parmar, 2016).

El enriado puede llevarse a cabo de forma natural, únicamente por la acción de los microorganismos, o también de forma artificial donde se adicionan sustancias como ácidos o bases para acelerar la separación de las fibras y mejorar su calidad. En cualquiera de los dos, se cumple el objetivo de eliminar la lignina y pectina, logrando que los haces fibrilares queden separados (Sindwani et al., 2015). Para que esto suceda, varios hongos y bacterias presentes en el proceso de descomposición se expanden por el tallo, luego las enzimas producidas por estos microorganismos degradan los componentes no celulósicos, permitiendo que la extracción de la fibra se pueda dar de forma fácil y con menos acciones mecánicas (Miao & Finn, 2008).

En el enriado al aire libre o al rocío, que se desarrolla a la intemperie, las plantas se cortan y son dejadas en el campo para su descomposición por acción de hongos y bacterias. Bajo este método las fibras pueden sufrir muchas variaciones en sus propiedades mecánicas, debido a la dificultad de mantener constantes condiciones de humedad y temperatura (Archana Jain et al., 2016). En este tipo de enriado se emplea un tiempo entre 21 a 42 días, la fibra obtenida es de baja calidad, heterogénea y de color oscuro por estar en contacto con el suelo, adicionalmente, presenta otras desventajas como la ocupación del terreno y condiciones climáticas variables que pueden deteriorar la fibra (Ramamoorthy et al., 2015). Aunque es un método de extracción de bajo costo, sus desventajas lo limitan a la obtención de fibras para uso doméstico o artesanal, con dificultades para desarrollar aplicaciones industriales.

El enriado en agua fría, consiste en sumergir los tallos en corrientes de agua (ríos) o en tanques con agua sellados o abiertos. En este proceso también se utilizan microorganismos que liberan las fibras y normalmente tarda de 7 a 14 días, aunque, esto depende de factores como la temperatura y la calidad del agua (Ramamoorthy et al., 2015). Las fibras obtenidas son de mejor calidad en comparación con el enriado al rocío, sin embargo en este proceso se consumen grandes cantidades de agua y se genera contaminación por el vertimiento de las aguas residuales, por esta razón, actualmente se ha reducido su uso en algunos países (Archana Jain et al., 2016). Es de aclarar que cualquiera de los dos tipos de enriado mencionados hasta el momento requieren ser monitoreados, lo que implica un conocimiento y capacitación por parte de los agricultores, sobre parámetros como el tiempo que deben permanecer los tallos sumergidos en el agua, condiciones climáticas y calidad de la fibra (Sindwani et al., 2015).

Existen otros tipos de enriados en los cuales se agregan diferentes concentraciones de sustancias como enzimas o productos químicos en el agua. Las condiciones de agua, como su temperatura suelen manipularse dependiendo de las enzimas o el producto químico aplicado, que a su vez afectan la duración del enriado, adicionalmente, en algunos casos estos procesos pueden realizarse en estanques abiertos o cerrados (Akin, 2010b; Alvarez, Rojas, Rojano, & Gañán, 2015). Uno de ellos es el enriado enzimático. En este las enzimas que degradan sustancias como la pectina, lignina y hemicelulosas se producen artificialmente en laboratorios. Estas enzimas pueden ser producidas por una gran variedad de bacterias, levaduras y hongos (Sindwani et al., 2015). Por otra parte, se encuentra el enriado químico que reemplaza la acción de las bacterias y hongos en la descomposición, por el de sustancias químicas como soda cáustica, carbonato de sodio, jabones y ácidos. Estos enriados tienen un inconveniente ambiental, como la contaminación de grandes volúmenes de agua y su posterior vertimiento (Archana Jain et al., 2016).

Los enriados enzimáticos y químicos, producen fibras de mejor calidad, aunque su costo es más elevado que los enriados al rocío y en agua fría (Ramamoorthy et al., 2015). Estos tratamientos también se conocen como desgomado, en los cuales se reduce o elimina el contenido de lignina y pectina de las fibras. Su objetivo es disminuir el tiempo de separación de las fibras, sin embargo, esta puede verse afectada en su calidad y color, adicionalmente, es un proceso costoso por el precio de los productos químicos empleados, tanto para la extracción de la fibra y la descontaminación de las aguas residuales (Sindwani et al., 2015; Zakikhani, Zahari, Sultan, & Majid, 2014)

En síntesis, se describió el enriado enzimático, químico, en agua fría y al aire libre. En los tres primeros tipos de enriado se tiene una desventaja respecto al uso del recurso hídrico, debido a que se utilizan ciertas cantidades de agua para poder extraer la fibra de la planta, es decir que, para obtener mayor cantidad de fibra, se debe utilizar mayor cantidad agua con el propósito de eliminar parte del material no fibroso, la cual estará contaminada después de terminar el proceso, lo que hace de estos métodos poco recomendables al momento de ser utilizados. Por último, el enriado al rocío no garantiza que se obtenga una fibra de calidad y con propiedades homogéneas, lo cual en la mayoría de los casos, limita el uso de la fibra a las aplicaciones artesanales.

Otra manera de extraer la fibra, es utilizando los métodos mecánicos empleados generalmente para la separación de fibras de hojas. Está se puede llevar a cabo, por decorticación manual o mecánica, su principal ventaja comparado con los enriados biológicos o químicos, es su menor impacto ambiental (Zakikhani et al., 2014). En el decortinado mecánico, se separan las fibras de la demás materia vegetal a través de una maquina compuesta por una serie de rodillos. Uno de ellos conocido como rodillo alimentador, el cual dirige las hojas hacia los rodillos dentados los cuales tienen la función de separar las fibras. En cambio, al extraer la fibra por

decorticado manual, se necesita mano de obra capacitada para usar un cuchillo dentado y realizar el proceso de raspado (Xu, Xiong, Tan, & Zhang, 2015).

El proceso de decorticación mecánico se realiza utilizando una máquina llamada decortificador, la cual permite extraer grandes cantidades de fibra en menos tiempo, en comparación con el decorticado manual. Después de ser extraídas las fibras, estas deben ser lavadas con el propósito de eliminar sustancias como la savia y mejorar su calidad, luego los haces fibrilares se secan de forma natural (Anandjiwala & Maya, 2010; Mukhopadhyay, Figueiro, Arpac, & Sentürk, 2008). En comparación con el enriado al rocío, en agua, químico o enzimático, el decorticado mecánico puede evacuar en menor tiempo los residuos agrícolas que se encuentran en las áreas del cultivo, evitando la degradación de las fibras.

Los métodos anteriormente mencionados están descritos de forma general, más no enfocados a la extracción de una fibra en particular. A continuación, se realiza una revisión sobre los métodos para la extracción de algunas fibras de hoja y una descripción de los mismos. Entre las fibras a mencionar se encuentra el sisal, el abacá, la piña y el plátano. En esta última se tendrá en cuenta variables de costo, tiempo y cantidad de fibra obtenida.

El Agave o sisal es una fibra de hoja que se puede extraer por decorticado mecánico. Usando este método, se pueden procesar aproximadamente 25.000 hojas por hora con un solo decortificador, lo cual sería adecuado para grandes cultivos de sisal. Después de la extracción, las fibras se lavan para mejorar su calidad. El secado puede ser natural o artificial, aunque el segundo genera fibras de mejor calidad, ya que esta depende del contenido de humedad (Anandjiwala & Maya, 2010; Hulle, Kadole, & Katkar, 2015). Adicionalmente, se debe tener en cuenta que para la extracción por decorticación, las hojas que se cortan deben procesarse en los dos días siguientes para evitar su deterioro por la exposición al sol. El sisal es una fibra de hoja con potencial en la fabricación de cuerdas, papel,

artesanías y fabricación de productos domésticos. El henequén es una planta similar en la cual también se puede aplicar este mismo método (Ahmad, Mahmood, Ali, Khan, & Zia, 2017; Mahapatra, 2014).

El abacá, conocida como *musa textiles*, es una planta de la cual se puede extraer fibra natural con propiedades similares a la planta de plátano. Un método particular para extraer esta fibra, consiste en separar los *tuxies*, las cuales son tiras de las vainas foliares que conforman el seudotallo, éstas pueden medir entre 5-10 cm de ancho y 2-4 cm de espesor, el proceso anterior se conoce como *tuxying*. Luego, la fibra puede extraerse de forma manual empleando cuchillas con las cuales se raspan las tiras, este proceso es laborioso con un rendimiento por día que oscila entre 10 y 20 kg de fibra, sin embargo, la fibra obtenida por este método es de menor calidad respecto al enriado químico y enzimático, lo cual disminuye su precio y limita sus aplicaciones. Otra forma de extraer fibras de abacá es la decorticación mecánica, después de realizar la extracción, las fibras deben lavarse y secarse para evitar su decoloración y degradación, esto se consigue exponiéndolas al sol y al viento (Göltenboth & Mühlbauer, 2010; Ray, Nayak, Ammayappan, Shambhu, & Nag, 2013).

La hoja de piña también es una fuente de fibra natural con potenciales aplicaciones como el refuerzo de plástico, los aislamientos térmicos y acústicos (Kengkhetkit & Amornsakchai, 2012). Por viabilidad comercial, el método de extracción empleado para esta fibra es el decorticado mecánico, con el cual se puede procesar 15 kg de hoja verde por hora. Luego, está es sometida a un proceso de enriado en donde la mejor calidad de fibra en cuanto a suavidad, finura y limpieza se obtiene a los 7 días. El proceso anterior puede llevarse de forma natural o adicionando sustancias como el hidróxido de sodio al agua con una concentración del 1 %, esta última ayuda eliminar la suciedad y materiales que se adhieren a la fibra (Hassan et al., 2018; Hazarika, Gogoi, Jose, Das, & Basu, 2017).

La fibra de plátano también se puede extraer por decortinado manual o mecánico. Según reportes de la India, en el proceso manual, 15 personas capacitadas pueden extraer alrededor de 3 kg de fibra al día, en cambio en el método mecánico un decortador puede extraer 60 kg de fibra en este mismo tiempo (Ray et al., 2013). Lo anterior indica que el decortinado mecánico es más eficiente respecto a la cantidad de fibra extraída y el tiempo empleado, en comparación con los resultados del proceso manual.

Al implementar cualquiera de los dos métodos, se necesita invertir un capital que cubra gastos relacionados con la cantidad de jornales pagados y maquinaria empleada. Para el decortinado mecánico se puede invertir en un decortador, el cual puede tener una capacidad de extraer 60 kg de fibra por día, cuyo precio aproximadamente es de 100.000 Rs equivalentes a 4.541.000 COP, y solamente emplearía una persona capacitada para el manejo de la máquina, es de aclarar que el costo de esta maquinaria corresponde al año 2013. Por el contrario, para el decortinado manual se emplearían 15 jornales para extraer 3 kg de fibra, los cuales representarían un valor de 414.000 COP destinados al pago de empleados (Ray et al., 2013). En consecuencia, el decortinado manual sería un método rentable para pequeños agricultores; en cambio, para procesar residuos agrícolas de extensos cultivos de plátano, el decortinado mecánico generaría una mayor rentabilidad respecto al costo, tiempo y cantidad de fibra.

Las fibras del seudotallo de plátano también se pueden extraer mediante el enriado enzimático o químico. Para el primero, el tiempo adecuado de enriado es de 6 días, en el cual se garantiza que la longitud de las fibras sea homogénea y su resistencia a la tracción no disminuya, lo anterior se logra usando una enzima llamada poligalacturonasa a una temperatura de 30°C (Jacob & Prema, 2008). En el segundo enriado se puede emplear una solución de hidróxido de sodio (NaOH) a temperatura de 100°C, la duración de este proceso es aproximadamente de 3 horas, luego se realiza un lavado con ácido sulfúrico (H₂SO₄) para posteriormente someter

las fibras a un proceso de secado de 24 horas (Xu et al., 2015). Las fibras obtenidas son de color blanco y el tiempo para este proceso disminuye en comparación con el enriado enzimático; sin embargo, al emplear productos químicos se genera mayor contaminación y costo (Ebisike, Attahdaniel, Babatope, & Olusunle, 2013). Por ejemplo, al utilizar el NaOH en una concentración del 5% para la extracción de 50 kg de fibra, el costo al utilizar este químico es de 292.500 COP, en cambio si se realiza un enriado enzimático con una concentración del 0,2 % v/v de la enzima *pectinase*, el costo de utilizar esta enzima oscila entre 36.000 COP a 108.000 COP (Brindha, Narayana, Vijayalakshmi, & Nachane, 2017; Li, Tabil, & Panigrahi, 2007).

En ocasiones la fibra de plátano puede extraerse combinando diferentes métodos. Se puede iniciar con la extracción mecánica seguido de un enriado en agua que tarda entre 8 a 12 horas (Anandjiwala & Maya, 2010) o un tratamiento enzimático con un tiempo de duración de 6 horas; estos, con el objetivo de refinar la fibra obtenida y eliminar los componentes no celulósicos. Los tratamientos enzimáticos se consideran más amigables con el medio ambiente en comparación con los químicos, sin embargo, estos dos tratamientos requieren más inversión respecto al enriado en agua, debido a los altos costos de las enzimas y productos químicos que se agregan. Para el tratamiento enzimático se pueden utilizar diferentes enzimas, por ejemplo, (*Pectinase*, *Xylanase*, *Biopectinase k*). Este tratamiento logra óptimas condiciones de limpieza y fibrilación, además, mejora la estabilidad térmica de las fibras (Ortega et al., 2016). Algunas de estas enzimas se pueden comprar por kilogramos en la plataforma de comercio electrónico Alibaba.com, en donde la *Pectinase* tiene un costo entre los 12.000 COP a 36.000 COP y la *Xylanase* entre 30.000 COP y 45.000 COP (Alibaba, 2018). En resumen, teniendo en cuenta los métodos abordados en este capítulo, se presenta en la tabla 5 la comparación entre el tiempo y costo de extracción para un kilogramo de fibra de plátano.

Tabla 5

Costo y tiempo de implementación de métodos de extracción para 1 kg de fibra

| Método | Tiempo | Materiales | Costo (COP) |
|--------------------------------|-------------|--|----------------------|
| Decorticado manual | 5 días | 1 Tabla de madera de 1 m 1 Rodillo de madera. 5 Jornales 1 Peinilla Beyota. | 184.500 |
| Decorticado mecánico | 6 min | 1 Decortificador GX-440, 1 Jornal. 1 Peinilla Beyota. 1 Pote de grasa para mantenimiento. 5 min de energía de consumo (kw) | 16.552.550 |
| Enriado en agua | 7 a 14 días | 1 Tanque de plástico de 250 L 0, 125 m ³ Consumo de agua 7 a 14 Jornales. 1 Peinilla Beyota | 275.000 a 485.000 |
| Enriado químico al 5% NaOH | 1 a 3 días | 1 Tanque de plástico de 250 L 0, 125 m ³ Consumo de agua 1 a 3 Jornales 1 Peinilla Beyota 6, 25 kg NaOH | 119.375 a 179.375 |
| Enriado enzimático al 0,2% v/v | 6 días | 1 Tanque de plástico de 250 L 0, 125 m ³ Consumo de agua 6 Jornales 1 Peinilla Beyota 0,25 kg <i>Pectinase</i> | 248.000 a 254.000 |

Nota: Esta tabla reúne información citada del capítulo 3 y 4 de forma general

De acuerdo con la tabla 5, el método adecuado para extraer 1 kg de fibra de plátano en el menor tiempo es el decorticado mecánico, que al compararlo con los métodos de enriado en agua, enzimático, químico y decorticado manual, cumple con el objetivo de procesar la mayor cantidad de residuos agrícolas en el menor tiempo

posible. Por otra parte, desde el punto de vista ambiental, la protección del recurso hídrico es un parámetro indispensable para definir la implementación de cualquier proceso de extracción, los métodos que mitigan el uso de agua y la contaminación de la misma durante la extracción de fibra, son el decorticado y el enriado al rocío, debido a que los enriados en agua, químico y enzimático, generan contaminación de este recurso hídrico, por la utilización de sustancias químicas y grandes volúmenes de agua.

Finalmente, respecto al costo, el decorticado mecánico requiere la mayor inversión inicial en comparación con el enriado químico, enzimático, en agua y el decorticado manual debido al valor de la maquinaria empleada para la extracción de la fibra, la cual se recupera en el tiempo por la cantidad de fibra que puede extraer. En resumen el método que requiere menor inversión inicial para la extracción de fibra es el enriado químico, pero al requerirse extraer grandes cantidades de fibra en el menor tiempo posible, el decorticado mecánico resulta siendo el más rentable.

5.4 Propuesta de aprovechamiento para la fibra de plátano

Luego de exponer en los capítulos anteriores las diferentes propiedades de la fibra de plátano, sus diversas aplicaciones, los procesos de extracción y su impacto ambiental. Este capítulo describe una propuesta de aprovechamiento de los residuos del cultivo de plátano focalizada en la región del Ariari del departamento del Meta. En esta propuesta se sugiere un proceso extractivo donde se exponen los costos de maquinaria, operación y mantenimiento, las propiedades de la fibra, tiempo y cantidad de fibra obtenida, por último, se sugieren los productos a desarrollar con la fibra.

Actualmente, la producción de fibra de plátano está liderada por países como Japón y Filipinas (Ray et al., 2013). La compra y venta de esta fibra se puede realizar de forma mayorista o minorista a través de comercio electrónico. Por ejemplo, en la

plataforma “Alibaba.com Global trade starts here” se ofrece fibra, maquinaria para la extracción y cepillado de la misma. Los proveedores en su mayoría son de Asia, ubicados en países como la India, Bangladesh y Tailandia (Alibaba, 2018). Según reportes, los precios de venta para la fibra de plátano oscilan entre los 2.700 a 2.800 COP por Kilogramo, es decir, una tonelada de fibra podría costar entre 2,7 y 2,8 millones de COP (Ray et al., 2013). Actualmente el precio venta de esta fibra por kilogramo es de 1 USD, que corresponde a 3.300 COP, es decir que una tonelada cuesta 3,3 millones de COP en el año 2019 (Alibaba, 2019a). Esta información es la evidencia que la producción de fibra natural en algunos en países, es una actividad económica que involucra empresas u organizaciones constituidas para este propósito.

En Colombia diferentes empresas emplean fibras naturales para la elaboración de diversos productos. Entre estas se encuentra “ECOFIBRAS”, empresa ubicada en Curití (Santander) que desarrolla productos con la fibra de fique, su catálogo ofrece bolsos, sombreros, correas, mochilas, cortinas, zapatos, tapetes y telas. Así mismo, esta empresa paga por arroba de está fibra 30.000 COP a los agricultores (Perez & Vargas, 2014). Teniendo en cuenta que la fibra de plátano tiene aplicaciones similares al fique, existe la posibilidad de que empresas que trabajen con fibras naturales inviertan en la compra de materia prima como lo hace “ECOFIBRAS”, lo cual incentiva el aprovechamiento de la fibra de plátano.

Igualmente, existen algunas asociaciones que fabrican y comercializan productos elaborados a partir de fibra de plátano, es el caso de “LIBERTEJIDOS” en el departamento del Huila que desarrolla artículos como sombreros, carteras, canastos, billeteras, bolsas, manteles entre otros. Los cuales se venden por comercio electrónico o en diferentes puntos de venta en el municipio de San Agustín, Huila, Colombia (Sanchez, Perdomo, & Suarez, 2018). Esta empresa ha visto en la fibra de plátano un potencial de crecimiento económico y cuidado del medio ambiente.

En resumen, la fibra extraída de los residuos del cultivo de plátano, tiene un potencial de mercado tanto a nivel artesanal como industrial. Esto se debe a los diversos productos que pueden elaborarse empleando dicha fibra o mezclándola con otros materiales, los cuales pueden categorizarse como biodegradables por la naturaleza de la fibra. Además, el uso de esta fibra puede ser una fuente de empleo para la población rural de las regiones productoras de plátano, y puede generar ingresos económicos adicionales a la venta de la cosecha.

El plátano es uno de los principales productos agrícolas de Colombia, su cultivo se realiza a mayor escala en los departamentos del Meta, Quindío, Antioquia, Caldas, Arauca, entre otros (MinAgricultura, 2019). Su fibra la extraen principalmente personas de las zonas rurales donde se encuentran los cultivos, en su mayoría con fines artesanales. Los productos elaborados con esta fibra se comercializan con los turistas que visitan los mercados de artesanías ubicados en las plazas y zonas comerciales de algunas poblaciones (Linares, Galeano, García, & Figueroa, 2008). Esto indica que la cantidad de fibra de plátano aprovechada en Colombia es mínima, en comparación con el volumen de residuos generados.

La producción de plátano genera un alto porcentaje de residuos agrícolas después de la etapa de recolección del fruto. En la región del Ariari, se alcanzó en el 2018, un área cosechada en plátano con un total de 15.916 ha (MinAgricultura, 2019). Lo anterior revela la disponibilidad de materia prima para realizar el proceso de extracción de la fibra del plátano. Según reportes, por cada hectárea de plátano cosechada se puede producir aproximadamente 2,4 toneladas de fibra, por consiguiente, se estima que región del Ariari tendría un potencial de producción de fibra aproximado de 38.198 toneladas de fibra al año (Garavello et al., 2008; Goncalves, 1998).

Con el propósito de plantear la propuesta de aprovechamiento para la fibra de plátano en la región del Ariari, se selecciona un método de extracción teniendo en cuenta las variables de costo, tiempo y cantidad de fibra obtenida. Para ello se analizan diferentes métodos de extracción realizando una estimación del costo de su implementación, que incluye la inversión inicial, mantenimiento de la maquinaria, herramientas, personal requerido, tiempo de duración del proceso y cantidad de fibra obtenida. A continuación, se realiza la estimación del costo de implementación de los siguientes métodos: decortinado manual, mecánico, enriado en agua y químico.

Al emplear el decortinado manual, cada empleado necesita una tabla de madera de 1 metro largo, un rodillo de madera y una peinilla; “según Soler, propietario de la distribuidora Optimo ubicada en la región, estas herramientas tendrían un costo de 4.500 COP, 15.000 COP y 15.000 COP respectivamente” (C. Soler, comunicación personal, 30 de abril de 2019). Con la herramienta cada trabajador corta el tallo, extrae la fibra, la lava y la deja secar al aire libre (Libertejidos, 2019). “El agricultor Aristizabal menciona que los trabajadores de la región del Ariari para cumplir sus labores, emplean su propia herramienta y reciben un pago diario de 30.000 COP por trabajar turnos de 8 horas sin ninguna vinculación laboral” (H. Aristizabal, comunicación personal, 30 abril de 2019).

Para extraer 2.400 kg de fibra de plátano se debe procesar aproximadamente 80.000 kg de seudotallo, teniendo en cuenta que una persona puede extraer en promedio 0,2 kg de fibra por día (Ray et al., 2013), es necesario pagar 12.000 jornales para extraer esta cantidad de fibra, si el trabajo es realizado por 10 personas en un tiempo de 1.200 días, se plantea la estimación del costo de implementación de este método en la tabla 6.

Para extraer 2.400 kg de fibra, el decortinado manual requiere una inversión inicial de 345.000 COP destinados a la compra de herramienta y 300.000 COP diarios al

pago de empleados. Al finalizar el proceso se ha pagado en empleados un total de 360.000.000 COP, es decir, hasta 1.043,5 veces la inversión inicial, el cual se deberá pagar cada vez que se quiera obtener 2.400 kg de fibra. Lo anterior indica que en el tiempo este método es costoso para extraer grandes cantidades de fibra, debido al personal que se debe contratar para que realice la extracción de la misma, dando como resultado que el dinero invertido en empleados, no se compense con la cantidad de fibra extraída.

Tabla 6

Costo de implementación del decorticado manual

| Inversión | Materiales | Valor por unidad | Cantidad | Total |
|-----------|------------------------|------------------|----------|-------------|
| Costo | Tabla de madera de 1 m | 4.500 | 10 | 45.000 |
| | Rodillo de madera | 15.000 | 10 | 150.000 |
| | Jornal de trabajo | 30.000 | 12.000 | 360.000.000 |
| | Peinilla Beyota | 15.000 | 10 | 150.000 |
| Total | | | | 360.345.000 |

En segundo lugar, para implementar el decorticado mecánico se puede adquirir un decortecedor de modelo *GX-440*, de marca *Guoxin* con una capacidad de procesar 2 toneladas de seudotallo por hora y un consumo de energía de 7,5 Kw (Alibaba, 2019b). Además, se requiere de cuatro empleados, quienes se distribuyen las funciones de cortar los seudotallos, procesarlos con el decortecedor, lavar y secar la fibra al aire libre. Entonces, el costo de implementación del decorticado mecánico sujeto a las anteriores especificaciones se evidencia en la tabla 7.

Teniendo en cuenta que se requiere extraer la misma cantidad de fibra establecida en el primer método, se deben procesar aproximadamente 2.000 seudotallos con un peso promedio de 40 kg cada uno (Garavello et al., 2008). De acuerdo con lo anterior, “el agricultor Castaño de Puerto Lleras (Meta) menciona que para cortar un seudotallo se emplea un tiempo promedio de 2 minutos” (A. Castaño, Comunicación

personal, 7 de mayo de 2019), esto significa que dos obreros emplearían un tiempo aproximado de 2 horas en cortar 100 seudotallos y llevarlos hasta el decortificador, 2 horas para que la maquina procese esta cantidad de residuos, sean lavados y puestos a secar, empleando un tiempo total de 2 horas en realizar la extracción de 120 kg de fibra.

Tabla 7
Costo de implementación del decorticado mecánico

| Inversión | Materiales | Valor por unidad | Cantidad | Total |
|--------------|--|------------------|----------|-------------------|
| Costo | Decortificador GX-440 | 16.500.000 | 1 | 16.500.000 |
| | Consumo de energía Kw/h | 550 | 300 | 165.000 |
| | Jornal de trabajo | 30.000 | 20 | 600.000 |
| | Peinilla Beyota | 15.000 | 2 | 30.000 |
| | Insumos para el mantenimiento Grasa pote por 300 g | 7.000 | 1 | 7.000 |
| Total | | | | 17.302.000 |

En consecuencia, en un turno de 8 horas diarias se infiere que la cantidad de fibra extraída es de 480 kg. Sin embargo, para llevar a cabo la implementación del decorticado mecánico, se requiere de una inversión inicial alta de 16.646.200 COP, en donde predomina el costo del decortificador, pero reduce el pago de empleados en un 99,8 % al finalizar el proceso de extracción en comparación con el decorticado manual.

En tercer lugar, en la tabla 8 se plasma la estimación del costo para llevar a cabo la extracción de fibra de plátano por medio del enriado en agua. Se necesitan doce empleados, distribuidos de la siguiente manera, dos cortarán los 2000 seudotallos en 5 días con su respectiva peinilla, y diez empleados monitorearán los tanques con

los residuos sumergidos en agua para evitar el deterioro de la fibra, por último, las fibras deben ser secadas al sol luego de su extracción. Este método tiene una duración de 7 a 14 días, sin importar la cantidad de seudotallos que se deban procesar (Ramamoorthy et al., 2015). Es decir, que, al extraer 2.400 kg de fibra, el tiempo mínimo requerido es de 7 días.

Tabla 8
Costo de implementación del enriado en agua

| Inversión | Materiales | Valor por unidad | Cantidad | Total |
|--------------|--------------------------|------------------|----------|-------------------|
| Costo | Tanque plástico de 250 L | 48.000 | 500 | 24.000.000 |
| | Consumo de agua en m^3 | 13.000 | 62,5 | 812.500 |
| | Jornal de trabajo | 30.000 | 80 | 2.400.000 |
| | Peinilla Beyota | 15.000 | 2 | 30.000 |
| Total | | | | 27.242.500 |

Nota: El costo del agua por metro cubico está acorde a la facturación en el municipio de Puerto Lleras para uso industrial.

Esta estimación se realizó en el municipio de Puerto Lleras Meta, vereda la tigrera, con la colaboración de agricultores. Se realizó tomando seudotallos de sus cultivos y depositándolos en tanques con capacidad de 250 L, donde en cada tanque se pueden sumergir 4 seudotallos, empleando 125 L de agua como se observa en la ilustración 2. Este método tiene una inversión inicial de 24.030.000 COP. Es económico en comparación con el decortado manual y más costoso que el decortado mecánico al finalizar el proceso de extracción, pero contamina 62.500 L de agua para extraer solamente 2.400 kg de fibra.



Ilustración 2: Práctica para estimar la cantidad de agua necesaria en un enriado en un tanque plástico.

Fuente: Fotografía tomada por los autores.

Finalmente se describe la extracción por enriado químico, el cual demanda de una cantidad de agua y herramientas similares al anterior método, pero tiene un costo adicional por la compra de productos químicos como el hidróxido de sodio (NaOH) que son agregados al agua para acelerar el proceso de liberación de las fibras. El tiempo empleando para la extracción de fibras con una solución de agua al 5% de NaOH, a temperatura ambiente puede estar entre 1 y 3 días (Li et al., 2007). Adicionalmente, terminado el proceso extractivo, las aguas residuales requieren de tratamiento para poder realizar su vertimiento, generando costos adicionales después de la extracción de la fibra, los cuales no se incluyen dentro del costo de implementación del enriado químico (Phong, Fujii, Chuong, Viet, & Okubo, 2012).

Conociendo que la cantidad de agua necesaria para el enriado es de 62.500 L, se puede estimar que para obtener una solución al 5% de hidróxido de sodio, se

requiere agregar 3.125 kg de NaOH al agua, es decir, 6,25 kg por cada tanque. “Según Hurtatis empleada de la empresa Distribuidora Aliados de la ciudad de Bogotá, el precio por kilogramo de NaOH es de 3.900 COP” (L. Hurtatis, comunicación personal, 14 de mayo del 2019), y el costo estimado para su implementación se evidencia en la tabla 9. Este método al ser comparado con el decortado mecánico, manual y enriado en agua, es considerado el de mayor impacto ambiental negativo debido a la contaminación del agua con productos químicos (Sindwani et al., 2015), lo anterior disminuye el interés de su implementación en la extracción de fibras.

Tabla 9
Costo de implementación del enriado químico

| Inversión | Materiales | Valor por unidad | Cantidad | Total |
|--------------|-----------------------------------|------------------|----------|-------------------|
| Costo | Tanque plástico de 250 L | 48.000 | 500 | 24.000.000 |
| | Consumo de agua en m ³ | 13.000 | 62,5 | 812.500 |
| | Jornal de trabajo | 30.000 | 20 | 600.000 |
| | Peinilla Beyota | 15.000 | 10 | 150.000 |
| | Producto Químico (NaOH) por kg | 3.900 | 3.125 | 12.187.500 |
| Total | | | | 37.750.000 |

Terminada la estimación del costo para los cuatro métodos se realiza el análisis de las ventajas y desventajas respecto a las variables de costo, tiempo y cantidad de fibra, con el fin de seleccionar el método que se recomienda utilizar en la región del Ariari, esto se evidencia en la tabla 10.

Tabla 10

Comparación de costo, tiempo y cantidad de fibra obtenida entre los métodos de extracción.

| Método de extracción | Decortinado manual | Decortinado mecánico | Enriado en agua | Enriado Químico |
|--|---|---|--|--|
| Ventajas | *Inversión inicial baja. | *Poco tiempo de extracción. *Inversión baja en mano de obra. | *Inversión baja en mano de obra. | *Inversión baja en mano de obra. |
| Desventajas | *Alta demanda de mano de obra. *Mayor tiempo de extracción | *Alto costo del decorticador. | *Contaminación del agua. *Deterioro de la fibra. *Inversión inicial alta | *Contaminación del agua. *Deterioro de la fibra. *Uso de químicos. *Inversión inicial alta. |
| Cantidad de fibra | 2.400 kg | 2.400 kg | 2.400 kg | 2.400 kg |
| Duración. | 1.200 días | 5 días | 7 a 14 días | 1 a 3 días |
| Costo estimado | 360.345.000 COP | 17.302.000 COP | 27.242.500 COP | 37.750.000 COP |
| Recuperación de la inversión inicial en el tiempo. | No se recupera | En 15 días Procesando 4.759 plantas | En 42 días Procesando 10.936 plantas | No se recupera, porque la compra del NaOH al 5% excede los ingresos por venta de fibra |

Nota: La cantidad de fibra extraída para los cuatro métodos se mantuvo constante.

De acuerdo con la tabla 10, se analiza que el método más apropiado para implementar en la región del Ariari en la extracción de la fibra de plátano es el

decorticado mecánico, debido a que recupera su inversión inicial en 15 días. Adicionalmente, otra ventaja de procesar los residuos del cultivo de plátano usando el decorticator mecánico, es que el tiempo necesario para extraer la fibra de los residuos generados por una hectárea de plátano, se reduce en comparación con la descomposición natural de los mismos. En consecuencia, los terrenos se habilitan más rápido para realizar nuevas siembras. Igualmente, este método no requiere el uso de productos químicos y grandes volúmenes de agua, lo que genera un menor impacto ambiental negativo comparado con los enriados químicos (Zakikhani et al., 2014).

Las tecnologías utilizadas para la extracción de la fibra de plátano por este método reducen la mano de obra y el tiempo durante este proceso. Estas tecnologías en el comercio electrónico requieren una inversión aproximada entre los 1.000 y 12.000 USD. Los precios de estas máquinas difieren debido a la empresa que la fábrica, la rapidez con la que extrae la fibra, si funciona con energía eléctrica o diésel, productividad por hora, capacidad de carga, mantenimiento, entre otros (Alibaba, 2018).

Finalmente, teniendo claro el método de extracción, la tecnología a utilizar en la región del Ariari y siendo la fibra de plátano el resultado final de este proceso, es indispensable conocer la calidad de fibra que se obtiene al implementar este método, con el objetivo de sugerir posibles aplicaciones enfocadas hacia la región, incentivando el aprovechamiento de los residuos agrícolas del cultivo de plátano, y en un futuro, el desarrollo de posibles actividades económicas que generen empleo o ingresos adicionales a quienes producen dicha fibra.

Según autores, las propiedades de la fibra de plátano extraída por decorticado mecánico determinan sus posibles aplicaciones. Por ejemplo, del 50 al 60 % de la fibra extraída se puede emplear para hilado y la elaboración de papel, esto último debido a que se extraen fibras cortas al usar este método (Pitimaneeyakul, 2009).

También, algunos reportes indican que la totalidad de la fibra extraída puede utilizarse en la fabricación de papel con buenas características de resistencia a la tracción y absorción de agua (Ramdhonee & Jeetah, 2017). Teniendo en cuenta que en la región del Ariari predomina la agricultura, se sugiere desarrollar aplicaciones de la fibra de plátano en estos dos posibles productos, en donde se plantea aprovechar el 30% de la fibra extraída en la elaboración de hilos y el 70% en la producción de papel.

De acuerdo con lo anterior, se sugiere usar la fibra de plátano de mayor longitud para elaborar hilos, con los cuales se puedan fabricar cuerdas y sacos, utilizados para empacar las cosechas de los diferentes cultivos de la región, estos generalmente son elaborados con fique, yute, algodón, polietileno o polipropileno (Mincit, 2007). Así mismo, se propone elaborar papel con fibra de plátano, utilizando las fibras cortas que resultan del decortinado mecánico (Pitimaneeyakul, 2009). Este papel se puede emplear para la envoltura y protección de las frutas cosechadas en la región. Además, es una alternativa viable que se puede explorar para la producción de papel ecológico, ayudando a mitigar la tala de árboles (Ramdhonee & Jeetah, 2017)

Finalmente, estos elementos constituyen los factores principales de la propuesta para el aprovechamiento de la fibra de plátano en la región del Ariari utilizando el decortinado mecánico. Se espera que al implementarla, se beneficie a la población rural mediante la creación de nuevas fuentes de empleo e ingresos adicionales para los agricultores. Al mismo tiempo que genera un impacto positivo al medio ambiente con la reutilización de los residuos agrícolas.

6. CONCLUSIONES

El método recomendado para extraer fibra de plátano en la región del Ariari es el decortinado mecánico, debido a que facilita extraer grandes cantidades de fibra en el menor tiempo posible, respondiendo así a la necesidad de procesar los residuos agrícolas generados por el cultivo de plátano en la región, siendo un método costoso en su inversión inicial pero rentable en el tiempo si la extracción es continua.

La fibra de plátano extraída por decortinado mecánico es un recurso con propiedades que podrían permitir su uso en la elaboración de diferentes manufacturas, las cuales pueden tener un valor comercial. Dentro de las posibilidades de aprovechamiento de la fibra y de acuerdo con las actividades comerciales de la región, se sugiere que las fibras largas se utilicen para la producción de hilos y las fibras cortas en la producción de papel.

El método más económico para extraer 2.400 kg de fibra de plátano, equivalente al procesamiento de los residuos de una hectárea de cultivo, es el decortinado mecánico.

La extracción y aprovechamiento de la fibra de plátano es una práctica que podría replicarse en otras regiones y a otros tipos de cultivos que generen residuos agrícolas, contribuyendo al medio ambiente en la transformación de los mismos, reduciendo la contaminación generada por su descomposición y dando la posibilidad de proponer nuevos aprovechamientos de las distintas fibras naturales.

7.RECOMENDACIONES

Se requiere insistir en el aprovechamiento de los residuos agrícolas y orientar a las comunidades para que puedan disponerlos de formas diferentes a su descomposición natural en las zonas de cultivo. Con esto se consigue disminuir la contaminación y generar ingresos adicionales a los pobladores de las zonas rurales dedicadas a la agricultura.

Es necesario que las entidades gubernamentales encargadas de promover el cuidado del medio ambiente, apoyen de forma económica y con capacitación este tipo de iniciativas que impactan positivamente el entorno con el fin de fortalecerlas y que se conviertan en un modelo de actividad para replicar en otros cultivos diferentes al plátano.

La elaboración de los productos como el papel y los hilos con fibra de plátano, son productos viables que permiten generar recursos económicos, lo cual indica que podría ser un campo de investigación, enfocado en la formulación de nuevos proyectos con el objetivo de optimizar la calidad de los productos.

En el campo de la educación, las instituciones educativas agropecuarias y entidades como el SENA, deberían incluir este tipo prácticas sobre la extracción de fibras naturales y la elaboración de posibles productos a partir de ellos, dentro de sus programas de formación.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad, K., Mogrovejo, X., & Rojas, F. (2012). *Experimentación y posibles aplicaciones de la fibra de banano en el campo textil*. Universidad del Azuay.
- Abdul, S. K., Lim, S. F., Chua, D., Salleh, S. F., & Law, P. L. (2016). Banana fibers as sorbent for removal of acid green dye from water. *Journal of Chemistry*, 2016, 11. <https://doi.org/10.1155/2016/9648312>
- Ahmad, T., Mahmood, H. S., Ali, Z., Khan, M. A., & Zia, S. (2017). Design and development of a portable sisal decorticator. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 30(3), 209–217.
- Akin, D. (2010a). Chemistry of plant fibres. In J. Mussing (Ed.), *Industrial applications of natural fibres* (pp. 13–23). Wiley.
- Akin, D. (2010b). Flax-structure, chemistry, retting and processing. In *Industrial Applications of natural Fibres* (pp. 89–108). <https://doi.org/10.1002/9780470660324>
- Akin, D., Eder, M., Burgert, I., Müssig, J., & Sloomaker, T. (2010). What are natural fibres? In *Industrial Applications of Natural Fibres* (pp. 11–48). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470660324.ch2>
- Alarcón, L. C., & Marzocchi, V. A. (2015). Evaluation for paper ability to pseudo stem of banana tree. *Procedia Materials Science*, 8, 814–823. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.04.140>
- Alibaba. (2018). Alibaba.com Global trade stars here. Retrieved October 3, 2018, from <https://spanish.alibaba.com/>
- Alibaba. (2019a). Alibaba.com Global trade stars here. Retrieved from https://www.alibaba.com/product-detail/natural-banana-fiber-for-art-and_50004833476.html?spm=a2700.7724838.2017115.183.6adb15c4IDZ9ur
- Alibaba. (2019b). Alibaba.com Global trade stars here. Retrieved May 7, 2019, from https://www.alibaba.com/product-detail/Multiple-function-good-price-hemp-fiber_60831795356.html?spm=a2700.7724838.2017115.189.2fc65924xZxkDd
- Almanza, O., Yanez, G., & Rodriguez, A. (2013). LDPE and PP thermal diffusivity in molten state Difusividad térmica de mezclas de LDPE y PP en estado fundido, 33(2), 5–8.
- Álvarez, C., Capanema, E., Gañán, P., & Rojas, O. (2009). Desarrollo de tableros aglomerados auto-enlazados a partir de fibra de la vena central de la hoja de plátano. *Prospect*, 7(2), 69–74. Retrieved from <http://repositorio.uac.edu.co/handle/11619/1349>
- Alvarez, C., Rojas, O. J., Rojano, B., & Gañán, P. (2015). Development of self-

- bonded fiberboards from fiber of leaf plantain: Effect of water and organic extractives removal. *BioResources*, 10(1), 672–683. <https://doi.org/10.15376/biores.10.1.672-683>
- Anandjiwala, R., & Maya, J. (2010). Sisal- cultivation, processing and products. In *Industrial applications of natural fibers* (pp. 181–196).
- Assis, F. S., Margem, F. M., Cordeiro, T. C., Figueiredo, A., Braga, F. O., & Monteiro, S. N. (2015). Photoacoustic thermal characterization of banana fibers. *Materials Research*, 18(2), 240–245. <https://doi.org/10.1590/1516-1439.368914>
- ASTM, I. (2017). *D123-17 Standard terminology relating to textiles*. West Conshohocken. <https://doi.org/10.1520/D0123-17>
- ATECYR. (2012). Guía técnica, diseños de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado. *Ahorro y Eficiencia Energética En Climatización*, 14, 52.
- Ayad, M. M., & El-nasr, A. A. (2012). Anionic dye (acid green 25) adsorption from water by using polyaniline nanotubes salt / silica composite. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 3(3), 1–9.
- Barragán, B., Téllez, Y., & Laguna, A. (2008). Utilización de residuos agroindustriales. *Revista Sistemas Ambientales*, 2(1), 44–50.
- Betancourt, S., Gañan, P., Jiménez, L., & Cruz, L. (2009). Degradación térmica de fibras naturales procedentes de la calceta de plátano (estudio cinético). *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 1(1), 215–219.
- Brindha, R., Narayana, C., Vijayalakshmi, V., & Nachane, R. (2017). Effect of different retting processes on yield and quality of banana pseudostem fiber. *Journal of Natural Fibers*, 00(00), 1–10. <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1401505>
- Callister, W., & Rethwisch, D. (2014). Thermal properties. In Wiley (Ed.), *Materials science and engeneering an introduction* (9th ed., pp. 785–802).
- Carvalho, J., & Ruiz, L. (2018). *Cooperación sur-sur trilateral estudio nichos de mercados del algodón*. (I. Zabaleta, Ed.). Santiago de Chile: FAO. Retrieved from <http://www.fao.org/3/i8813ES/i8813es.pdf>
- Chu, P. (2003). Glass fiber-reinforced polypropylene. In D. Marcel (Ed.), *Handbook of polypropylene and polypropylene composites* (2nd ed., p. 670). New York.
- Desai, A. N., & Kant, R. (2016). Geotextiles made from natural fibres. In *Geotextiles* (pp. 61–87). Mumbai: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100221-6.00004-8>
- Dharunya, R., Vishnuvarthanan, M., Karpagam, B., Jayashree, S., & Sowndharya, R. (2019). Environment - friendly packaging material : banana fiber / cowdung composite paperboard. *Environmental Chemistry Letters*, 6.

<https://doi.org/10.1007/s10311-019-00879-9>

- Ebisike, K., Attahdaniel, B., Babatope, B., & Olusunle, S. (2013). Studies on the extraction of naturally-occurring banana fibers. *The International Journal of Engineering & Science*, 2(9), 95–99.
- Escalante, H., Orduz, J., Zapata, H., Cardona, M., & Duarte, M. (2008). *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia* (Vol. 53). Santafe de Bogotá. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- FAO. (2017). Jute, kenaf, sisal, abaca, coir and allied fibres - statistical bulletin 2016. *Fao*, 1–40. Retrieved from <http://www.fao.org/economic/futurefibres/resources2/en/>
- Fontalvo, M., & González, L. (2013). *Estudio de la tintura de seda orgánica colombiana con colorantes certificados por la norma gots*. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Fuqua, M., Huo, S., & Ulven, C. (2012). Natural fiber reinforced composites. *Polymer Reviews*, 52(3), 259–320. <https://doi.org/10.1080/15583724.2012.705409>
- Furtado, S., Silva, A., & Alves, C. (2012). Natural fibre composites: automotive applications. In M. Jonh & T. Sabu (Eds.), *Natural polymers* (Vol. 1, pp. 118–139).
- Gaitán, A., Fonthal, G., & Ariza, H. (2016). Fabricación y propiedades físicas de aglomerados de pennisetum purpureum schum , philodendron longirrhizum y musa acuminata. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(1), 5–11.
- Gañán, P., Zuluaga, R., Restrepo, A., Labidi, J., & Mondragon, I. (2008). Plantain fibre bundles isolated from Colombian agro-industrial residues. *Bioresource Technology*, 99(3), 486–491. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.012>
- Garavello, M., Da Silva, M., & Pacheco, K. (2008). Artesanía con fibra de banano en la perspectiva de la multifuncionalidad en comunidades quilombolas. *Interciencia*, 33(1), 34–40. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33933106%0Ahttp://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:4908/articulo.oa?id=33933106>
- Ghasemi, S., Tajvidi, M., Bousfield, D., & Gardner, D. (2018). Reinforcement of natural fiber yarns by cellulose nanomaterials: a multi-scale study. *Industrial Crops and Products*, 111(March 2017), 471–481. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.016>
- Göltenboth, F., & Mühlbauer, W. (2010). Abacá-cultivation, extraction and processing. In *Industrial applications of natural fibers* (pp. 163–180). 7.
- Goncalves, A. (1998). *Utilização do Pseudocauie da Bananeira para Produção de Celulose e Papel*. Universidad federal de Vicosa. Retrieved from http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1998_Tese_Pseudocauie_Banan

eira.pdf

- Guerra, A., & Da Rosa, E. (2012). Relation between structural anisotropy in natural fibres and mechanical properties in composites. In J. Maya & T. Sabu (Eds.), *Natural polymers* (Vol. 1, pp. 63–85).
- Guna, V., Ilangovan, M., Hu, C., Venkatesh, K., & Reddy, N. (2019). Valorization of sugarcane bagasse by developing completely biodegradable composites for industrial applications. *Industrial Crops & Products*, *131*(January), 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.011>
- Hassan, M., Prasetyo, I., Mohd, J., Putra, A., Selamat, M., & Or, K. (2018). Sound absorption of extracted pineapple-leaf fibres. *Applied Acoustics*, *136*(November 2017), 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.01.029>
- Hazarika, D., Gogoi, N., Jose, S., Das, R., & Basu, G. (2017). Exploration of future prospects of Indian pineapple leaf, an agro waste for textile application. *Journal of Cleaner Production*, *141*, 580–586. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.092>
- Ho, M., Wang, H., Lee, J., Ho, C., Lau, K., Leng, J., & Hui, D. (2012). Critical factors on manufacturing processes of natural fibre composites. *Composites Part B: Engineering*, *43*(8), 3549–3562. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.10.001>
- Hulle, A., Kadole, P., & Katkar, P. (2015). Effect of decortication on agave Americana fibers. *Melliand International*, *20*(1), 24–25.
- Innocentini, L., & Giraldi, A. (2009). Natural fibres and their use in the production of biocomposites. In *Biotechnology in biopolymers developments, applications y challenging areas* (pp. 89–122).
- Jacob, N., & Prema, P. (2008). Novel process for the simultaneous extraction and degumming of banana fibers under solid-state cultivation. *Brazilian Journal of Microbiology*, *39*(1), 115–121. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822008000100025>
- Jain, A., Rastogi, D., & Chanana, B. (2016). Bast and leaf fibres : A comprehensive review. *International Journal of Home Science*, *2*(1), 313–317.
- Jain, A., Rastogi, D., Chanana, B., & Parmar, M. S. (2016). Processing and application of ligno-cellulosic fibres. *Colourage*, *63*(6), 36–41.
- Jarukumjorn, K., & Suppakarn, N. (2009). Effect of glass fiber hybridization on properties of sisal fiber – polypropylene composites. *Composites Part B*, *40*(7), 623–627. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2009.04.007>
- Jayaprabha, J., Brahmakumar, M., & Manilal, V. (2011). Banana pseudostem characterization and its fiber property evaluation on physical and bioextraction. *Journal of Natural Fibers*, *8*, 149–160.

<https://doi.org/10.1080/15440478.2011.601614>

- Kengkhetkit, N., & Amornsakchai, T. (2012). Utilisation of pineapple leaf waste for plastic reinforcement: 1. A novel extraction method for short pineapple leaf fiber. *Industrial Crops and Products*, 40(1), 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.02.037>
- Komuraiah, A., Kumar, N. S., & Prasad, B. D. (2014). Chemical Composition of Natural Fibers and its Influence on their Mechanical Properties. *Mechanics of Composite Materials*, 50(3), 359–376. <https://doi.org/10.1007/s11029-014-9422-2>
- Kozłowski, R., Muzyczek, M., & Walentowska, J. (2014). Flame retardancy and protection against biodeterioration of natural fibers: state-of-art and future prospects. In *Polymer green flame retardants* (pp. 801–836). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53808-6.00023-8>
- Li, X., Tabil, L., Oguocha, I., & Panigrahi, S. (2008). Thermal diffusivity , thermal conductivity , and specific heat of flax fiber – HDPE biocomposites at processing temperatures. *Composites Science and Technology*, 68, 1753–1758. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.02.016>
- Li, X., Tabil, L., & Panigrahi, S. (2007). Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites: A Review, 25–33. <https://doi.org/10.1007/s10924-006-0042-3>
- Libertejidos, S. A. (2019). *Libertejidos-artesanías en fibra de plátano*. Colombia. Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=L3xu4Xr_q7Y&t=89s
- Linares, E., Galeano, G., García, N., & Figueroa, Y. (2008). *Fibras vegetales empleadas en artesanías en Colombia*. (I. de ciencias naturales-U. N. de Colombia, Ed.). Bogota: Artesanías de Colombia S.A.
- López, G., & Gómez, J. (2014). Propiedades funcionales del plátano (*Musa sp*).
- Macía, M. J. (2006). Las plantas de fibra. *Botánica Económica de Los Andes Centrales*, 370–384.
- Madurwar, M., Ralegaonkar, R., & Mandavgane, S. (2013). Application of agro-waste for sustainable construction materials: a review. *Construction and Building Materials*, 38, 872–878. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.011>
- Mahapatra, N. (2014). Processing of henequen fibre in textile industries. *Colourage*, (March), 4–6.
- Maity, S., Singha, K., Gon, D. P., Paul, P., & Singha, M. (2012). A review on jute nonwovens : manufacturing , properties and applications. *International Journal of Textile Science*, 1(5), 36–43. <https://doi.org/10.5923/j.textile.20120105.02>

- Malhotra, N., Sheikh, C., & Rani, S. (2012). A review on mechanical characterization of natural fiber reinforced polymer composites. *Journal of Engineering Research and Studies*, *III*(2), 75–80. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2015.35044>
- Martínez, A. (1998). *El cultivo de plátano en los llanos orientales*. (N. Cubillos, Ed.) (01 ed.). Villavicencio: Editorial Siglo XX.
- Meneses, M., León, L., Mejía, L., Guerrero, L., & Botero, J. (2010). Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de Caldas. *Revista Educación En Ingeniería*, *9*, 128–139.
- Merlini, C., Soldi, V., & Barra, G. (2011). Influence of fiber surface treatment and length on physico-chemical properties of short random banana fiber-reinforced castor oil polyurethane composites. *Polymer Testing*, *30*(8), 833–840. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2011.08.008>
- Miao, M., & Finn, N. (2008). Conversion of natural fibres into structural composites. *Journal of Textile Engineering*, *54*(6), 165–177.
- MinAgricultura. (2019). Agronet. Retrieved September 14, 2019, from <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Mincit. Reglamento técnico de requisitos mínimos que deben cumplir los empaques de productos agrícolas para consumo humano (2007). Colombia. Retrieved from http://www.sic.gov.co/recursos_user/reglamentos_tecnicos/reglamento_tecnico_empaques_agricolas_consumo_humano.pdf
- Mohiuddin, A., Saha, M., Hossian, M., & Ferdoushi, A. (2014). Usefulness of banana (*Musa paradisiaca*) wastes in manufacturing of bio-products: a review. *The Agriculturists*, *12*(1), 148–158. <https://doi.org/10.3329/agric.v12i1.19870>
- Mora, J. C., Esquivel, M., Durán, M., & Zamora, R. (2015). Obtención y evaluación de mezclas de polipropileno con fibras de raquis de banano (*Musa AAA*). *Revista Iberoamericana de Polímeros*, *16*(2), 91–111.
- Moreno, L., Florez, J., & Hernández, D. (2018). Caracterización mecánica de compuestos poliéster / fibra de guadua y poliéster / fibra de vidrio. *Scientia et Technica*, *23*(03), 344–349.
- Mostafa, M., & Uddin, N. (2016). Experimental analysis of compressed earth block (CEB) with banana fibers resisting flexural and compression forces. *Case Studies in Construction Materials*, *5*, 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2016.07.001>
- Mukhopadhyay, S., Figueiro, R., Arpac, Y., & Sentürk, Ü. (2008). Banana Fibers – Variability and Fracture Behaviour. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, *3*(2), 39–45.
- Mukhopadhyay, S., Figueiro, R., & Shivankar, V. (2009). Variability of tensile

- properties of fibers from pseudostem of banana plant. *Textile Research Journal*, 79(5), 387–393. <https://doi.org/10.1177/0040517508090479>
- Mussing, J., & Sloomaker, T. (2010). Types of fibre. In J. Mussing (Ed.), *Industrial applications of natural fibers* (pp. 41–48).
- Mwaikambo, L. Y. (2006). Review of the history, properties and application of plant fibres. *African Journal of Science and Technology*, 7(2), 120–133.
- Nataraj, D., Sakkara, S., Hn, M., & Reddy, N. (2018). Properties and applications of citric acid crosslinked banana fibre-wheat gluten films. *Industrial Crops & Products*, 124(August), 265–272. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.076>
- Nirmal, K. J., & Premkumar, D. (2015). Assessing of mechanical properties of natural fiber reinforced polymer matrix hybrid composites. *Applied Mechanics and Materials*, 766–767, 199–204. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.766-767.199>
- Oktaee, J., Lautenschläger, T., Günther, M., Neinhuis, C., Wagenführ, A., Lindner, M., & Winkler, A. (2017). Characterization of willow bast fibers (*Salix* spp.) from short-rotation plantation as potential reinforcement for polymer composites. *BioResources*, 12(2), 4270–4282. <https://doi.org/10.15376/biores.12.2.4270-4282>
- Omrani, E., Menezes, P. L., & Rohatgi, P. K. (2016). Engineering Science and Technology , an International Journal State of the art on tribological behavior of polymer matrix composites reinforced with natural fibers in the green materials world. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(2), 717–736. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2015.10.007>
- Ortega, Z., Morón, M., Monzón, M. D., Badalló, P., & Paz, R. (2016). Production of banana fiber yarns for technical textile reinforced composites. *Materials*, 9(5), 1–16. <https://doi.org/10.3390/ma9050370>
- Osorio, J., Varón, F., & Herrera, J. (2007). Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. *Dyna*, 74(153), 69–79.
- Padam, B. S., Tin, H. S., Chye, F. Y., & Abdullah, M. I. (2014). Banana by-products: an under-utilized renewable food biomass with great potential. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0861-2>
- Pamuk, G. (2016). Natural fibres reinforced green composites. *Tekstilec*, 59(3), 237–243. <https://doi.org/10.14502/Tekstilec2016.59.237-243>
- Paz, Y. (2011). *Evaluación de las pulpas obtenidas a partir del pseudotallo de plátano para la elaboración de papel*. Universidad de Zulia. Retrieved from http://tesis.luz.edu.ve/tde_arquivos/39/TDE-2014-05-29T15:41:50Z-4852/Publico/paz_gonzalez_yandrelis_teotiste.pdf
- Peña, J., & González, R. (2002). *Estudio de prefactibilidad para la producción de*

pulpa para papel aprovechando los desechos del cultivo del plátano en la región del Viejo Caldas. Universidad de Antioquia-Universidad Nacional.

- Perez, M., & Vargas, F. (2014). Emprendimiento rural e innovación tecnológica y administrativa: el caso de la empresa de fibras naturales de Santander, Ecofibras Ltda. (Colombia). *Arquetipo*, 9, 133–156. Retrieved from <http://www.grupochorlavi.org/>
- Phong, N., Fujii, T., Chuong, B., Viet, D. C., & Okubo, K. (2012). Study on how to effectively extract Bamboo Fibers from Raw Bamboo and Wastewater Treatment. *Journal of Materials Science Research*, 1(1), 144–155. <https://doi.org/10.5539/jmsr.v1n1p144>
- Piotrowski, S., & Carus, M. (2010). Natural fibres in technical applications: market and trends. In *Industrial applications of natural fibers* (pp. 73–86).
- Pitimaneeyakul, U. (2009). Banana Fiber: Environmental Friendly Fabric. *Proceeding of the Environmental Engineering Association of Thailand*.
- Rahhali, A., Carrillo, F., Macanás, J., Cañavate, J., & Colom, X. (2016). Materiales compuestos termoplásticos cargados con residuos biogénicos de base proteínica: influencia del tamaño partícula. *Afinidad LXXIII*, 573, 16–25.
- Ramamoorthy, S. K., Skrifvars, M., & Persson, A. (2015). A review of natural fibers used in biocomposites: plant, animal and regenerated cellulose fibers. *Polymer Reviews*, 55(1), 107–162. <https://doi.org/10.1080/15583724.2014.971124>
- Ramdhonee, A., & Jeetah, P. (2017). Production of wrapping paper from banana fibres. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(5), 4298–4306. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.08.011>
- Ramesh, M., Palanikumar, K., & Reddy, K. H. (2017). Plant fibre based biocomposites: Sustainable and renewable green materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79(May), 558–584. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.094>
- Ray, D. P., Nayak, L. K., Ammayappan, L., Shambhu, V. B., & Nag, D. (2013). Energy Conservation Drives for Efficient Extraction and Utilization of Banana Fibre. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(8), 296–310.
- Rodríguez, L. J., Sarache, W. A., & Orrego, C. E. (2014). Compuestos de poliéster reforzados con fibra de plátano/banano (*Musa paradisiaca*) modificada químicamente. Comparación con fibra de vidrio y fique (*Furcraea andina*). *Informacion Tecnologica*, 25(5), 27–34. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000500005>
- Sanchez, Y. P., Perdomo, S. P., & Suarez, D. F. (2018). Diagnosis of the practices and methods for the development of new products from the banana fibers in the

- Department of Huila. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(66), 3277–3293. <https://doi.org/10.12988/ces.2018.87314>
- Sanjay, M., Arpitha, G., Naik, L., Gopalakrishna, K., & Yogesha, B. (2016). Applications of Natural Fibers and Its Composites: An Overview. *Natural Resources*, 07(03), 108–114. <https://doi.org/10.4236/nr.2016.73011>
- Santos, W., Filho, R., Mummery, P., & Wallwork, A. (2004). Método de fio quente na determinação das propriedades térmicas de polímeros. *Ciencia e Tecnologia*, 14(5), 354–359.
- Sathish, P., & Kesavan, R. (2015). Banana Fibre Reinforced Composites : a Review. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Tchnology*, 2(10), 872–874.
- Sathya, M., Kumar, P. E., Santhi, M., & Muralidharan, B. (2018). Removal of acid green 25 dye by using activated carbon prepared from passiflora foetida nanocomposite in batch adsorption kinetic study. *Rasayan Journal Chemistry*, 11(4), 1741–1749.
- Satyanarayana, K., & Wypych, F. (2007). Characterization of natural fibers. In *Engineering biopolymers homopolymers, blends and composites* (pp. 1–48). Munich: Hanser Publishers.
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales : pasado , presente y futuro. *BioTecnología*, 16(2), 14–46.
- Saxena, M., Pappu, A., Sharma, A., Haque, R., & Wankhede, S. (2011). Composite materials from natural resources: recent trends and future potentials. In *Advances in Composite Materials - Analysis of Natural and Man-Made Materials* (pp. 121–160). InTech. Retrieved from <http://www.intechopen.com/books/advances-in-composite-materials-analysis-of-natural-and-man-made-materials/composite-materials-from-natural-resources-recent-trends-and-future-potentials>
- Sepúlveda, Lady. (2014). *Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano*. Universidad Nacional de Colombia.
- Shackelford, J. F. (2005). *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*. (Pearson, Ed.) (6th ed.). Madrid.
- Shah, D. U., Nag, R. K., & Clifford, M. J. (2016). Why do we observe significant differences between measured and ‘back-calculated’ properties of natural fibres? *Cellulose*, 23(3), 1481–1490. <https://doi.org/10.1007/s10570-016-0926-x>
- Shahinur, S., & Mahbub, H. (2019). Jute / coir / banana fiber reinforced bio-composites : critical review of design , fabrication , properties and applications. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 1–6.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10987-7>

- Sharma, N. K., & Kumar, V. (2013). Studies on properties of banana fiber reinforced green composite. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 32(8), 525–532. <https://doi.org/10.1177/0731684412473005>
- Shih, Y., & Huang, C. (2011). Polylactic acid (PLA)/banana fiber (BF) biodegradable green composites. *Journal of Polymer Research*, 18(6), 2335–2340. <https://doi.org/10.1007/s10965-011-9646-y>
- Sindwani, S., Chanana, B., & Bhagat, S. (2015). A review of retting practices for ligno-cellulosic fibers. *Retting Practices*, (November).
- Sood, M., & Dwivedi, G. (2018). Effect of fiber treatment on flexural properties of natural fiber reinforced composites : A review. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 775–783. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.11.005>
- Sowmiya, S., & Sentthilkumas, C. (2019). Development of biodegradable absorbent core for baby diapers from banana fibres. *Nonwoven y Technical Textiles*, 7.
- Steffens, F., Steffens, H., & Oliveira, F. R. (2017). Applications of natural fibers on architecture. In *Procedia Engineering* (Vol. 200, pp. 317–324). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.045>
- Suhani, N., Daud, Z., Radin, S., & Awang, H. (2017). Feasibility of banana (*musa sapientum*) trunk biofibres for treating kitchen key words : *Nature Environment and Pollution Technology*, 16(4), 7.
- Sukumaran, K., Satyanarayana, K., Kulkarni, A., Pillai, S., & Rohatgi, P. (1986). Fabrication and properties of natural fibre-reinforced polyester composites. *Composites*, 17(4), 329–333.
- Tapia, C., Paredes, C., Simbaña, A., & Bermúdez, J. (2006). Aplicación de las fibras naturales en el desarrollo de materiales compuestos y como biomasa. *Revista Tecnológica ESPOL*, 19, 113–120.
- Tarabi, N., Mousazadeh, H., Jafari, A., & Taghizadeh-Tameh, J. (2016). Evaluation of properties of bast fiber extracted from Calotropis (Millkweed) by a new decorticator machine and manual methods. *Industrial Crops and Products*, 83, 545–550. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.071>
- Tualombo, S. (2015). *Desarrollo de un material compuesto a partir de fibras naturales para la utilización en viviendas*. Universidad de las fuerzas armadas Ecuador.
- Valença, S., Griza, S., Oliveira, V., Sussuchi, M., & Cunha, F. (2014). Evaluation of the mechanical behavior of epoxy composite reinforced with kevlar plain fabric and glass/kevlar hybrid fabric. *Composites Part B*. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.09.040>

- Vigneswaran, C., Pavithra, V., Gayathri, V., & Mythili, K. (2015). Banana fiber: scope and value added product development. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 9(2), 1–7.
- Villegas, C., & González, B. (2013). Fibras textiles naturales sustentables y nuevos hábitos de consumo. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 13, 31–45.
- Wang, Q., Xiao, S., & Shi, S. Q. (2019). The effect of hemicellulose content on mechanical strength, thermal stability, and water resistance of cellulose-rich fiber material from poplar. *Bioresources*, 14(3), 5288–5300. <https://doi.org/10.15376/biores.14.3.5288-5300>
- Xu, S., Xiong, C., Tan, W., & Zhang, Y. (2015). Microstructural, thermal, and tensile characterization of banana pseudo-stem fibers obtained with mechanical, chemical, and enzyme extraction. *BioResources*, 10(2), 3724–3735. <https://doi.org/10.15376/biores.10.2.3724-3735>
- Yepes, S. M., Montoya, L. J., & Orozco, F. S. (2008). Valorización de residuos agroindustriales-frutas-en Medellín y el sus del valle del Aburrá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(1), 4422–4431.
- Zakikhani, P., Zahari, R., Sultan, M., & Majid, D. (2014). Extraction and preparation of bamboo fibre-reinforced composites. *Materials and Design*, 63, 820–828. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.06.058>