

INTERVENCIÓN MORFOLÓGICA DE LA HOJA DE BANANO.

AUTORES

SEBASTIAN DUQUE ARBOLEDA  
PAULINA MONSALVE CASTAÑEDA  
CAMILA RESTREPO TABARES

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL  
MEDELLÍN, ANTIOQUIA

2019

INTERVENCIÓN MORFOLÓGICA DE LA HOJA DE BANANO.

AUTORES

SEBASTIÁN DUQUE ARBOLEDA  
PAULINA MONSALVE CASTAÑEDA  
CAMILA RESTREPO TABARES

Monografía para optar al título de Diseñador Industrial.

ASESORES

MSc. D.I. Diana Alejandra Urdinola Serna  
Ph. D I. M. Andres Valencia Escobar

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL  
MEDELLÍN, ANTIOQUIA

2019

## CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| Resumen .....  | 5  |
| Introducción .....   | 6  |
| 1. Planteamiento del problema .....  | 8  |
| 1.1. Tema general del proyecto .....   | 8  |
| 1.2. Características generales del proyecto de investigación .....               | 8  |
| 1.3. Problema de investigación identificado .....                                | 8  |
| 1.4. Pregunta o hipótesis de investigación .....                                 | 9  |
| 1.5. Elemento del problema de investigación .....                                | 9  |
| 1.6. Limitación de la investigación: alcances y riesgos .....                    | 10 |
| 2. Justificación .....   | 11 |
| 3. Marco de referencia .....   | 12 |
| 3.1. Marco teórico .....   | 12 |
| 3.2. Estado del arte .....   | 23 |
| 4. Objetivos .....   | 25 |
| 4.1. Objetivo general .....  | 25 |
| 4.2. Objetivos específicos .....   | 25 |
| 5. Metodología .....   | 26 |
| 6. Resultados y discusión .....  | 34 |
| 6.1. Selección de las muestras .....   | 34 |
| 6.2. Caracterización de las propiedades físicas y mecánicas de las pruebas ..... | 35 |
| 6.3. Selección de los procesos de transformación .....                           | 40 |
| 6.4. Aplicación y verificación de los procesos en la hoja .....                  | 42 |
| 7. Conclusiones .....  | 47 |
| 8. Referencias .....   | 48 |
| 9. Anexos .....  | 50 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <i>Figura 1.</i> Partes de la planta hoja de banano .....  | 15 |
| <i>Figura 2.</i> Material resultante de la hoja del banano .....   | 21 |
| <i>Figura 3.</i> Plato de plástico que simula la hoja de banano .....  | 22 |
| <i>Figura 4.</i> Platos biodegradables .....   | 23 |
| <i>Figura 5.</i> Packaging biodegradables .....  | 24 |
| <i>Figura 6.</i> Probetas antes, durante y después de las pruebas de resistencia a la tracción .....   | 28 |
| <i>Figura 7.</i> Proceso de creación de película de aditivo a base de almidón de yuca .....  | 31 |
| <i>Figura 8.</i> Registro de las pruebas de resistencia a los fluidos en ambas hojas, después de ser sometidas las pruebas de resistencia a la temperatura .....                                     | 35 |
| <i>Figura 9.</i> Gráficas con información dada por la máquina INSTRON, en las pruebas de tracción, en donde se evidencian y se comparan los puntos de esfuerzo y ruptura de todas las probetas ..... | 40 |
| <i>Figura 10.</i> Experimento en diferentes tipos de papel con propiedades físicas y mecánicas parecidas a las de la hoja .....  | 43 |
| <i>Figura 11.</i> Evidencia del tipo de traslapo de capas en las orcas metamórficas que se llevan a las capas en el material .....   | 43 |
| <i>Figura 12.</i> Configuraciones realizadas con el patrón aplicado en el sustrato .....   | 44 |
| <i>Figura 13.</i> Gráfica generada por la máquina INSTRON en las pruebas de tracción del material resultante .....   | 45 |
| <i>Figura 14.</i> Lámina 1 después de ser fallada en las pruebas de tracción en la máquina INSTRON, evidencia de los puntos de ruptura de las fibras .....   | 46 |

**LISTA DE TABLAS.**

|  |    |
|--|----|
| <i>Tabla 1.</i> Análisis morfológico para los dos tipos de hoja de banano encontrados .....        | 13 |
| <i>Tabla 2.</i> Materiales, instrumentos y proceso de elaboración de aditivo a base de almidón.    | 30 |
| <i>Tabla 3.</i> Análisis de información resultante de las pruebas de resistencia a la temperatura. | 36 |
| <i>Tabla 4.</i> Información generada por la máquina INSTRON en las pruebas de tracción .....       | 38 |

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo el desarrollo de un material natural a partir del aprovechamiento de los residuos poscosecha de las plantaciones de banano en las zonas aledañas a la ciudad de Medellín. Lo anterior, por medio del mejoramiento de sus propiedades mecánicas y de barrera sin afectar su condición de biodegradación, con el fin de sustituir los polímeros utilizados para producir contenedores de alimentos, muchos de los cuales llegan a las riveras de los ríos afectando el ecosistema de manera perjudicial. Para lograr esto se exploraron procesos de intervención química, es decir, a base de aditivos, que en este caso fueron realizados con agua oxigenada, glicerina y distintos almidones variando sus cantidades, para obtener una película que generara una barrera hidrofóbica y aportara estabilidad mecánica al sustrato. Además, se exploró la intervención morfológica resultante de un proceso de rastreo de información que arrojó como resultado un patrón compuesto por tres hexágonos irregulares, la definición de este patrón se fundamentó en los principios mecánicos y físicos del diagrama de Voronoi, el cual se teje con un hilo biodegradable para crear láminas y formas 3D autoportantes que dejen pasar la menor cantidad de fluidos posible. Se determinó que el proceso que más beneficios traía para el proyecto era la intervención morfológica, ya que en esta se aprovecha mayor cantidad de material, su producción se puede hacer manual e industrialmente y se pueden crear formas en 3D de manera óptima en comparación con el proceso a base de aditivo.

**Palabras clave:** Hoja de banano, Transformación hoja de banano. Ensayos mecánicos. *Musa paradisiaca*

## INTRODUCCIÓN

Esta investigación describe una aproximación al proceso de reutilización de la hoja de banano a través de la intervención química y morfológica, con el objetivo de reducir la tasa de contaminación que se presenta en el Valle de Aburrá en las zonas aledañas a los ríos; Buscando generar un material biodegradable que pueda ser utilizado para reemplazar los materiales plásticos. La investigación se basó en la búsqueda de un sustrato natural que generara una barrera hidrofóbica en contacto con alimentos, y a su vez de la transformación morfológica de la hoja a través de un patrón replicable y de fácil producción que permitiera crear formas tridimensionales para luego crear contenedores que lograran responder a las necesidades de transporte y contención de alimentos que cumplen los productos plásticos que ofrece el mercado.

Según los datos reportados por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015) la zona cafetera es una región productora por excelencia donde se cultiva el 60% del plátano que se produce en el país. Con esto se concluye que hay disponible una gran cantidad de posible materia prima con diversidad de aplicaciones, entre estas las hojas de banano han ganado la popularidad como un “utensilio biológico” para contener alimentos. Colombia es uno de los mayores productores en el mundo de banano y plátano, de los cuales más del 85% de su biomasa es dejada en zona de cultivo, aunque el banano ocupa unas 396,200 ha en todo el país, se practica su cultivo comercial exclusivamente para obtener el fruto.

En una búsqueda sobre plantaciones de *musa paradisiaca* cercanas a la ciudad de Medellín, se encontraron dos tipos de banano que se cultivan durante cualquier época del año, la plantación es para consumo casero de la finca, por lo que son pocas plantas dentro del lugar, La finca El Naranjal está situada en el municipio de Copacabana, en la Vereda San Juan a aproximadamente 45 minutos desde Medellín.

Con este trabajo se plantea el desarrollo de una lámina biodegradable a base de hoja de banano que se logra con la unión de varios patrones basados en el diagrama de Voronoi. Este material podrá ser utilizado para reemplazar ciertos envases del petróleo que son utilizados para contener diferentes productos tales como: alimentos sólidos crudos y cocidos, herramientas de cocina y accesorios para actividades turísticas.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Tema general del proyecto**

Generación de un material a partir de la transformación de la hoja de banano.

### **1.2 Características generales del proyecto de investigación**

El proyecto está enmarcado en la investigación de tipo experimental, en la que se estudia el procesamiento de la hoja del banano y la posibilidad de usar este como un nuevo material que pueda suplir el uso de utensilios plásticos, por medio de una investigación morfológica de los diferentes patrones encontrados en la naturaleza y los variados tipos de uniones que se usan actualmente.

### **1.3 Problema de investigación identificado**

En los ríos de la ciudad de Medellín y sus alrededores se evidencia un problema de contaminación debido al mal manejo de desechos plásticos, en especial contenedores poliméricos utilizados actualmente en empaques para alimentos, esto se evidencia principalmente en zonas naturales turísticas usadas frecuentemente por familias numerosas o turistas en el marco de actividades como el paseo de olla y camping, especialmente en épocas como vacaciones de mitad de año, navidad y semana santa. Los desechos que allí se generan afectan el proceso de purificación del agua, debido a que esta se estanca, creando así problemas medio ambientales y de salud, tanto para los organismos que viven dentro del río, como para los demás seres que dependen de estas aguas para su supervivencia.

En Colombia, se cultivan anualmente 34.000 hectáreas de cultivo de banano, pero solo se aprovecha el fruto, generando grandes cantidades de desperdicios no solo de material sino también en la cadena del proceso productivo ya que requieren grandes inversiones en infraestructura y tecnología para transporte, irrigación y drenaje, ya que, se deben intervenir

y procesar las demás partes del banano solo para extraer el fruto, generando un alto consumo de energía y tiempo. Se han planteado algunas soluciones las cuales van desde obtención de películas elaboradas con harina de arroz y plátano reforzadas con nanopartículas y por otro lado la implementación de fábrica de papel y derivados empleando residuos de banano como materia prima. Estas alternativas llegan a unos resultados que se enfocan únicamente en el aprovechamiento de la pulpa derivada de la Musa paradisiaca, es decir llega a reducir costos en la producción del papel y además lo hace de una manera ecológica con el medio ambiente, pero de igual manera se sigue dando un alto desecho de los otros componentes de la palma.

Con esta investigación se busca aprovechar los residuos de postcosecha de las plantaciones de banano para responder a esta problemática ambiental, ya que los sistemas de gestión de residuos de nuestro país aún no cuentan con un desarrollo que aumente el ciclo de reutilización de los desechos que se generan en los ríos, por otra parte, es de enorme importancia generar nueva materia prima que permita incrementar el producto interno bruto.

#### **1.4 Pregunta o hipótesis de investigación**

¿Cuál proceso de transformación permite el aprovechamiento de la hoja de banano mediante el mejoramiento de sus propiedades mecánicas sin afectar sus condiciones ambientales?

#### **1.5 Elementos del problema de investigación**

Entre los elementos principales para la investigación están la hoja de banano, sus propiedades mecánicas y ambientales, además sus condiciones de barrera. También el aprovechamiento de la hoja de banano, la producción de este y la forma de desecho. Entre los elementos del problema considerados para la investigación están: características y propiedades de la hoja de banano, desechos naturales, patrones morfológicos, diagrama de Voronoi y permeabilidad.

### **1.6 Limitaciones de la investigación: alcances y riesgos**

En este proyecto se definió usar únicamente materiales amigables con el medio ambiente, que tengan un ciclo de menor a un mes para que su desecho no interfiera en el proceso de limpieza de los ríos, que pueda ser aprovechado un desecho y utilizar este como material principal para la elaboración de contenedores para comida y además de que se complemente con los materiales secundarios que posiblemente sean utilizados, como utensilios de plástico. Las propiedades analizadas en este trabajo son las mecánicas, tales como la resistencia y físicas, tales como la permeabilidad de la hoja, además del periodo en que se biodegrada al ser desechado.

Como alcance esta investigación pretende conocer si el material generado presenta propiedades mecánicas mejoradas en cuanto al contexto de uso, capacidad de generar figuras con el textil y que tan adecuado es el tipo de unión utilizada.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Colombia produce 93,4 millones de cajas de banano al año, cada una de 20 kg, solo en el Urabá se cultivan 34.000 hectáreas, de estas plantaciones solo se aprovecha el fruto, es decir el banano o musa paradisiaca, lo que deja a las demás partes de la planta como desecho, el raquis, el tallo, el pseudo tallo y las hojas solo se utilizan como abono para las siguientes plantaciones del mismo cultivo, de arroz o de café. Sin embargo, se encontró potencial en la hoja de esta planta, ya que tiene características mecánicas y físicas parecidas a las de la hoja de plátano y de bijao, que tradicionalmente se utilizan para almacenar comida, transportarla y finalmente ser el plato o superficie del cuál la persona coge los alimentos para ingerirlos.

Se pretende proponer un material biodegradable que se adecue a los procesos y políticas de producción y consumo sostenible, por esta razón un material natural como la hoja de banano resultan ser adecuados para generar un mayor impacto ambiental aprovechando sus características físicas y al mismo tiempo dando especial importancia al ciclo de vida del producto ya que es renovable, reciclable y biodegradable.

En la industria actual se ha creado una conciencia medio ambiental que busca generar productos sostenibles desde la obtención del material, su método de producción y su comportamiento en el momento en el que sea desechado, buscando transformar los desechos y reutilizarlos para alargar su vida útil. Por otra parte, el material resultante no requiere de mayores procesos industriales, inclusive se puede hacer de forma manual y experimental, brinda muchas posibilidades de aplicación por su morfología y podría tener gran cantidad de aplicaciones en el diseño de productos. Siendo una investigación proyectual, el diseño industrial como disciplina nos da las herramientas para proceder con la investigación, teniendo siempre en cuenta que el proyecto es un núcleo sobre el cual giran las diferentes variables que influyen los resultados del mismo.

### **3. MARCO DE REFERENCIA**

#### **3.1 Marco teórico**

##### **3.1.1 Musa Paradisiaca**

En el primer acercamiento sobre plantaciones de musa paradisiaca cercanas a la ciudad de Medellín, se encontraron dos tipos de banano que se cultivan durante cualquier época del año, Las diferencias que han sido descritas entre la musa paradisiaca banano grande y banano pequeño incluyen la composición nutricional, las características físicas, químicas, morfológicas y tecnológicas y que pueden deberse a aspectos tan diferentes como los cultivares, método de cultivo, las diferencias climáticas, la calidad del agua o el suelo, se identificó las regiones más cercanas donde se cultivan los dos tipos de banano hacían referencia en el municipio de Copacabana, en la Vereda San Juan a aproximadamente 45 minutos desde Medellín. En estos lugares se encontraron los dos tipos de plantas de musa paradisiaca, denominadas como Musa paradisiaca y plátano enano.

Estas dos especies encontradas se diferencian por su uso, tamaño, forma y color, además, se recolectó información que permitiera identificar cuál tipo de musa era la más adecuada, las características de selección encontradas hacían referencia al banano que tuviese mayor demanda en el mercado, que pudiese ser cultivado en suelos que ya han sido utilizados, y que cumpliera con las propiedades adecuadas para generar un material no tóxico.

A continuación, observamos un cuadro en donde se describen las diferencias más representativas de la hoja grande de banano y de la hoja pequeña de banano. Cada planta tiene normalmente entre 5 y 15 hojas funcionales (pueden llegar a tener 34 a 36 en todo el ciclo, cuando se siembra el colino), siendo 10 el mínimo para considerarla madura; las hojas no viven más de dos meses, y en los trópicos se renuevan a razón de una por semana en la temporada de crecimiento. Dado que la hoja es el órgano en donde se realiza la mayor

actividad de la planta, generalmente constituye el mejor tejido para reflejar el estado nutricional de planta.

**Tabla 1.** Análisis morfológico para los dos tipos de hoja de banano encontrados.

| <b>Tipo de banano</b>    | <b>Apariencia</b> | <b>Textura y color</b>   | <b>Valor nutricional</b>                                      | <b>Peso y Área</b> |
|--------------------------|-------------------|--|---|--------------------|
| <b>Cantidad</b>          |                   |  |   |                    |
| 1 hoja de Banano Grande  | Hoja oblonga      | Fibras de la hoja verticales de color Verde claro de textura lisa  | La planta produce cerca de 20 hojas y deja caer 1 por semana. | 300 gr<br>60       |
| 1 hoja de banano pequeño | Hoja alargada     | Fibras de la hoja diagonales de color verde oscuro de textura lisa | La planta produce cerca de 35 hojas y deja caer 1 por semana. | 237,7 gr<br>60     |

Los bananos son frutos provenientes del continente asiático; este producto agrícola se cultiva en la mayoría de las regiones con trópico, el crecimiento de su consumo se ha podido extender alrededor del mundo, es un fruto esencial, hace parte de la canasta básica de un gran número de familias en el mundo, por consiguiente, de impacto en muchas economías a nivel global, especialmente en países del trópico en vía de desarrollo (Minagri, 2014). De los cultivos agrícolas de producción bruta en el mundo, los bananos ocupan el cuarto lugar en producción para interés alimentario, solo siendo superados, por el arroz, trigo y maíz; millones de personas lo toman como un alimento básico, por su alto contenido nutricional y contribuye de una manera importante a mantener la seguridad alimentaria de muchos de los países que lo producen, especialmente los considerados del tercer mundo, además por su alto movimiento en centros de venta locales genera un número importante de ingresos al igual que de empleos, especialmente en el área rural. En algunos países, la

mayoría de la producción no se utiliza en el abastecimiento nacional, sino que se exporta a diferentes partes del mundo.

Después del café, el producto agrícola que más se exporta en Colombia son los bananos, (CCU, 2014).

### **3.1.2 Partes de la *musa paradisiaca*.**

Se dice que la planta de banano es una hierba ya que sus partes cuando mueren suelen caer al piso cada que termina la estación del cultivo, suele ser perenne ya que de su base emergen unos rebrotes o hijuelos que son los que finalmente remplazaran la planta madre. La parte de la planta que se asemeja a un tronco es en realidad, un falso tallo denominado Pseudotallo, formado por un conjunto apretado de vainas foliares (Premusa, 2016). El llamado pseudotallo, se conforma por la unión apretada y enrollada de las vainas de las hojas, soportando en su interior el tallo aéreo que conduce la inflorescencia hacia el ápice. Las vainas son circulares e inicialmente cubren por completo el tallo aéreo, pero más tarde los márgenes libres de las vainas son forzados a separarse por el crecimiento de nuevas hojas dentro del pseudotallo (Stover y Simmonds, 1987).



*Figura 1. Partes de la planta hoja de banana.*

**Hojas:** Son lisas, tiernas, con el ápice trunco y la base redonde, Las hojas tienden a romperse espontáneamente a lo largo de las nervaduras, sus nervaduras son verticales y se extienden por toda la hoja dándoles un aspecto desaliñado. Cada planta tiene normalmente entre 5 y 15 hojas funcionales, siendo 10 el mínimo para considerarla madura; las hojas no viven más de dos meses La hoja se forma en el interior del pseudotallo y emerge enrollada en forma de cigarro. Son hojas grandes, verdes y dispuestas en forma de espiral, de 2-4 m de largo y hasta 1,5 m de ancho.

**Rizoma o bulbo:** tallo subterráneo con numerosos puntos de crecimiento (meristemos) que dan origen a pseudotallos, raíces y yemas vegetativas.

**Raíz:** Es de color blanco, tiernas cuando emergen y amarillentas y duras posteriormente. El poder de penetración de las raíces es débil, por lo que la distribución radicular está relacionada con la textura y estructura del suelo.

**Tallo:** el verdadero tallo es un rizoma grande, almidonado, subterráneo, que está coronado con yemas, las cuales se desarrollan una vez que la planta ha florecido y fructificado.

*Fruto:* Durante el desarrollo del fruto éstos se doblan geotrópicamente, según el peso de este, determinando esta reacción la forma del racimo. Pudiendo contener de 5-20 manos, cada una con 2-20 frutos, siendo su color amarillo verdoso, amarillo, amarillo-rojizo o rojo.

### 3.1.3 Variedades de banano

Según Gerhard Fischer: “La cantidad de variedades y variaciones en este género es desconocida, pero un buen número de referencia lo constituye la colección del Centro de Tránsito Internacional de Biodiversidad en Lovaina, Bélgica, el cual cuenta con más de 1000 cultivares de bananos y con 180 especies silvestres” (Fischer, 351)

De acuerdo con Gros Michel, es una variedad grande y robusta, su pseudotallo tiene una longitud de 6 u 8 mt. De coloración verde claro con tono a rosa por algunas partes. Su pecíolo en la base con manchas de color marrón oscuro. Los limbos son verdes definidos siendo de 4 mt. De largo por 1 m. de ancho. Los racimos penden verticalmente, son alargados de forma cilíndrica con 10 a 14 manos promedio. Los frutos de la fila interna se muestran erectos pues su curva se encuentra en el pedúnculo y en la parte basal del fruto. El ápice tiene forma de cuello de botella, el pedúnculo es más corto y robusto. La maduración es regular y homogénea de sabor delicioso y textura delicada.

**Cavendish:** Tiene 7 tipos principales Lacatan o filipino Poyo Valeri Giant Cavendish Cavendish enano, en este caso los dos tipos encontrados son:

**El giant Cavendish:** Tiene una altura entre 2,8 m. Y 3 m. Sus limbos son cortos y grandes con falsos entrenudos cortos. Su racimo es de aspecto troncocónico. Las dos primeras manos se mantienen rectas, pero están curvadas en las demás manos. Es una variedad muy productiva y la conformación de sus racimos es muy buena.

**Cavendish enano:** Posee un pseudotallo con altura de 2 m. Sus limbos foliares son anchos y cortos. Los racimos presentan una forma troncocónica definida porque sus manos están más cerca unas con otras y abiertas en relación al eje, los frutos son curvos.

### **3.1.4 Propiedades físicas, mecánicas y medioambientales de la hoja de banano**

Las propiedades de los materiales son el conjunto de características que hacen que el material se comporte de una manera determinada ante estímulos externos.

### **3.1.5 Propiedades de la hoja**

Para realizar una caracterización química es necesario estudiar y analizar las propiedades de la estructura molecular. Luego de encontrar las dos especies que más contribuían a las características anteriormente mencionadas, fue necesario preguntar a expertos sobre la toxicidad de la hoja, ya que esto nos permitiría saber si la hoja de banano cumplía con las condiciones adecuadas para tener un contacto directo con otros alimentos, a continuación, se exponen los resultados de dos expertos en el tema de la toxicidad de la musa paradisiaca.

**Andrés, V. comunicación personal 16 de marzo de (2018) Funcionalización propiedades físicas y Químicas [Hoja de banano] Entrevista Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana. Ingeniero Mecánico**

“La hoja es un sustrato de origen biológico, y necesita de unas transformaciones morfológicas, van a tener que existir unas acciones que generen un cambio sobre la morfología de la hoja, yo le daría como prioridad uno a la toxicidad de la hoja, esta implica dos cosas, la primera es de transferencia garantizando que el alimento que está en contacto con la hoja no se contamine, y la otra es por ingesta, no podemos tomar el riesgo que implique un peligro para la salud”.

“Hay un asunto y es que la toxicidad puede verse afectada por diferentes niveles de tiempo, es decir puede que la hoja cuanto este cortada sea toxica, pero cuando este seca se evapore y genere nuevos componentes que la vuelvan toxica”.

### **Propiedades de barrera**

“Debemos dividirla en dos, es una barrera física, es decir hay algo que quiere atravesar la hoja y esta lo bloquea, entonces es un asunto físico de tamaños, y hay otra variable más importante que es el tiempo, son las dos variables básicas para hacer un estudio de barrera, pero además no es lo mismo líquidos, que gases. Entonces las pruebas de barrera hay que hacerlas para las dos, ya que puede haber permeabilidad parcial o imparcial”.

**Robín, Z. (2018) Toxicidad [Hoja de banano] Entrevista Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana. Ingeniero agroindustrial.**

“La hoja de banano es proteína, es pura proteína foliar, y la hoja central de la hoja está compuesta por fibras, entonces esta tiene clorofila, puede tener metilcelulosa, lignina, pero no tiene problema, a no ser de que se consuma en cantidades muy grandes, más de 20 hojas, guarda las misma proporción que las hojas de bijao, porque las dos plantas son monocotiledóneas es decir que la forma de la hoja es normalmente como las hojas que uno ve en un arbolito, sino que es una hoja entera larga y completa, es una clasificación botánica, lo único que se tiene que hacer es lavarse muy bien, porque recuerden que normalmente se rocían químicos para quitar las plagas, pueden lavarla con jabones grado alimenticio se rocían y se banano, no tiene una forma de hacerse con tal de quitar la contaminación”.

**Normas**

“Pensando en la tracción para una hoja de esas no hay una en específico hagan una extracción de normas que se le aplican a materiales y adaptarlas a la de la hoja de banano, no hay una norma en específico. Hay que jugar con las características de las probetas, la tracción, y que partes específicas de la hoja quieren transformar. En el banano cuando cumpla 54 semanas que es lo que dura la planta usar esas hojas”.

### 3.1.6 Propiedad de barrera

Se conoce como barrera todo aquello que impida o dificulte una tarea o actividad, en nuestro caso se llamaría propiedades de barrera a toda aquello que retrase o imposibilite la filtración de alimentos líquidos o sólidos a través de su contenedor o donde se encuentre reposada la comida. En nuestro caso se deberá investigar que aditivos o materiales comestibles complementan mejor la hoja de plátano, aprovechada de los desechos de cultivo de banano, para tratar de impermeabilizar por el tiempo más largo posible y que sea posible su uso para alimentos por un tiempo determinado.

Los impermeabilizantes, también conocidos como hidrófugos son sustancias o compuestos químicos que tienen como objetivo detener el líquido, impidiendo su paso, y son muy utilizados en el revestimiento de piezas u objetos que deben ser mantenidos secos.

Funcionan eliminando o reduciendo la porosidad del material, llenando filtraciones y aislando la humedad del medio. Pueden tener origen natural o sintético, orgánico o inorgánico. Dentro de los naturales destaca el aceite de ricino, los elastómeros y, dentro de los sintéticos, el petróleo. Los impermeabilizantes, como se conocen hoy en día, nacieron de la necesidad de ser usado en el túnel de San Gotardo en Suiza, 1910 por el inventor y empresario suizo Kaspar Winkler quien fundara lo que hoy en día es Sika AG.

Como se mencionó antes se pueden encontrar en el mercado impermeabilizantes tanto orgánicos como artificiales, por los requerimientos y características del proyecto debe ser utilizado impermeabilizante orgánico, por la salud del usuario y la interacción entre la hoja y el impermeabilizante escogido. Los elastómeros son polímeros cuyas macromoléculas plegadas pueden estirarse deslizándose unas con otras y recuperar su posición primitiva cuando cesa el estiramiento. La elasticidad es opuesta a la cristalinidad de los polímeros y esta es mayor cuando las moléculas son uniformes y se pueden empaquetar mejor.

### **3.1.7 Propiedades Físicas**

Las propiedades mecánicas de los materiales son quizás las más importantes pues son las que determinan el comportamiento de éstos cuando se ven sometidos a la acción de fuerzas exteriores de cualquier tipo, continuas o discontinuas, estáticas, dinámicas o cíclicas.

Las hojas de banano pueden ser útiles debido a su baja densidad y sus apropiadas propiedades mecánicas y térmicas. Aunque cuentan con un importante inconveniente para desarrollar materiales compuestos, relacionados con su fuerte carácter hidrófilo, es decir, que absorben fácilmente la humedad o el agua.

### **3.1.8 Propiedades ambientales**

Las propiedades ecológicas son las que representan el impacto que producen éstos en el medio ambiente. Cada vez estas propiedades son y deben ser tenidas más en cuenta, ya que la explotación ilimitada de los recursos naturales del planeta conduce a daños irreparables en el mismo y la salud de sus habitantes. Según sea el impacto producido en el medio ambiente, un material se puede clasificar como:

**Biodegradable:** Un material es biodegradable cuando la naturaleza puede descomponerlo, en poco tiempo y de forma natural, en otras sustancias naturales.

**Tóxico:** Un material tóxico es el que produce gran impacto en el medio ambiente, no es biodegradable, puede resultar venenoso para los seres vivos, y contamina el agua, el suelo o la atmósfera.

**Alérgico:** Se denomina así al material que produce reacciones alérgicas en los seres vivos, y particularmente en las personas.

**Reutilizable:** Un material reutilizable es todo material que puede volver a utilizarse, pero para el mismo uso que tenía.

Reciclable: Un material reciclable es aquél que se puede reciclar para fabricar con él otro material diferente.

### 3.2 Estado del arte

La implementación de la exploración del banano y sus desechos para caracterizar sus propiedades físicas y mecánicas y generar un material es un tema que se ha explorado sin embargo se encontró que la mayoría de los estudios que utilizan la hoja de plátano, de bijao y de banano como insumo para crear contenedores y superficies para consumir sus alimentos. No existen muchos estudios que hablen acerca de reducir el impacto ambiental que generan los desechos plásticos al ambiente a través de la reutilización específicamente de la hoja sin agregar procesos adicionales. Entre los autores que han hecho estudios y análisis sobre este tema se ha encontrado:

*Green blade* (Colfiban, s.f.), es un proyecto que implementó una lámina para recubrimiento hecha de tallo de planta de banano. En este trabajo se obtuvo un panel exótico fabricado de troncos de plátano como una alternativa eco-responsable a la madera. La producción de *Green Blade* no requiere agua ni pegamento y la fábrica utiliza electricidad generada a través de paneles fotovoltaicos. Los troncos que se obtienen se cortan de un largo de 1250 mm y se sacan láminas de alrededor de 60 mm, estas se acomodan en la misma dirección y se aglomeran bajo presión hasta que las fibras se sequen y sus mismos fluidos hagan que se peguen, se generan láminas de 1250 mm x 2500 mm.



*Figura 2. Material resultante de la hoja del banano*

También se han creado empaques que buscan simular la representación de una hoja de plátano en silicona (Figura 3), el objetivo es evocar una experiencia al usuario a través de la hoja de banano. El diseñador explica que, en su país, durante la época de otoño usan las hojas caídas de los árboles para servir diferentes alimentos y dar un segundo uso a la hoja. La diferencia es que se han creado son hojas perennes que pueden ser usadas para cualquier durante todo el año.



*Figura 3. Plato de plástico que simula la hoja de banano*

Empaques biodegradables a partir de fibra de plátano para los productos agrícolas del departamento de Caldas. El Cultivo del plátano en el proceso de cosecha y postcosecha genera una gran cantidad de residuos orgánicos, como el vástago, el pseudotallo, hojas y material vegetal en general que no es comercializable, estos residuos provocan contaminación ambiental, proliferación de plagas y enfermedades del cultivo como también acumulación de desechos en descomposición a campo abierto y tratando de mitigar el impacto de los mismos, se realiza una investigación en donde se investigan los desechos orgánicos del plátano, encontrando altos contenidos de celulosa para ser transformada en papel o láminas de cartón utilizando en la fabricación de empaques en general.



*Figura 4. Platos biodegradables a partir de hoja de banano*

Fabricación e implementación de papel y derivados empleando residuos de banano como materia prima. El proyecto busca una alternativa para la reducción de costos en la elaboración del papel, el cual varía actualmente su precio según los costos de la pulpa en el mercado internacional, debido a que el mismo no tiene sustitutos perfectos, más aún conociendo que este se deriva solo de la pulpa proveniente de árboles, sin embargo, estudios muestran que se puede elaborar papel de todo residuo fibroso como los desechos del banano “raquis”. El proyecto trata de aprovechar las iniciativas de globalización de las empresas del mundo que en la actualidad buscan ser aprobadas con certificaciones que muestren que su proceso de producción como confiables y seguros, y de igual manera garantizar una mejor gestión ambiental. Esto hace parte de “taste no waste”?. Deben referenciarlo usando las normas APA.

El proyecto “*Taste No Waste*” busca cambiar los prejuicios fundamentales sobre las formas en que hemos aprendido a comportarse con respecto a los alimentos y sus contenedores, y aplica un estudio antropológico específico de la cultura para proporcionar soluciones contextuales para la innovación de materiales alimentarios sostenibles. Consideró que la vajilla comestible es un agente viable para el cambio cultural. Crear una nueva tipología de formas y materiales alimenticios que proporcione al usuario una mayor interacción con el producto, y una experiencia de buen gusto y nutricional, genera una experiencia más profunda y significativa y ayuda a respaldar esta nueva práctica sostenible de alimentos”.

Diane Leclair Bisson explora la capacidad de los alimentos para transformarse en envases comestibles usando procesos diversos. Ella examina cómo los alimentos pueden ser procesados en materiales delgados y en capas que pueden soportar estructuralmente una gran variedad de alimentos. Para hacer esto, se desarrollaron más de 40 recetas de materiales crujientes, firmes, suaves y gelatinosos. En este trabajo se evaluaron las propiedades mecánicas, organolépticas y de color de los alimentos. Las muestras están hechas principalmente de una diversidad de vegetales, y absolutamente ningún color artificial o aditivo se incorpora a las recetas.

Por otro lado, el proyecto *Banana Stem Fiber Package* (Pabon, 2017) surgió en Bogotá con el objetivo de utilizar la hoja de banano como un contenedor de alimentos. Para desarrollar el empaque tuvieron que hacer un proceso adicional en la búsqueda de un aditivo que lograra mantener la forma del empaque y que al mismo tiempo no fuese tóxico, creando así el primer material homogéneo es la fibra del tallo del banano. La fibra se recolecta después de la cosecha del banano y se transforma como cruda, material para la empresa de envasado. El segundo material es el pegamento natural biodegradable creado a partir de almidón de papas que se utilizan para unir las diferentes piezas del producto.



*Figura 5. Packaging biodegradables*

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo general**

Obtener un material natural a partir del procesamiento de la hoja de banano

### **4.2. Objetivos específicos**

- 1.** Seleccionar al menos dos tipos de musa paradisiaca con base a criterios de disponibilidad y características morfológicas.
- 2.** Caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de cada uno de los tipos de musa paradisiaca.
- 3.** Seleccionar los procesos aplicables al sustrato que mejoren sus propiedades de barrera frente a la hoja antes de ser intervenida.
- 4.** Aplicar y verificar los procesos en la hoja.

## 5. METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos planteados en la investigación, se comenzó con una primera etapa en la cual se realizó la búsqueda sobre los diferentes tipos de musa paradisiaca que son cultivados en el país, para luego seleccionar cual de todas las especies cultivadas era la más apropiada. Posteriormente, se realizó un análisis basado en características de disponibilidad tales como mayor demanda en el mercado y tiempo del cultivo al año; a su vez se tomaron en cuenta características morfológicas tales como tamaño, forma, dirección de las fibras, textura, y por último que se encontraran en lugares cercanos a la ciudad de Medellín, Antioquia. Luego de analizar la información se seleccionaron al menos dos de los tipos de musa paradisiaca que cumplieran con las mejores condiciones antes mencionadas.

Después de esto se inició la etapa dos en donde se realizaron pruebas a los dos tipos de musa paradisiaca seleccionadas. Se inició con un rastreo de información acerca de las propiedades mecánicas, físicas y de barrera que se utilizan para caracterizar los polímeros que se desean reemplazar, estas pruebas ayudarán a seleccionar la hoja óptima para el proyecto, para esto fue necesario realizar una identificación de las propiedades físicas a través de una búsqueda en bases de datos, libros y artículos web, en donde se seleccionaron las pruebas más representativas para el proyecto, entre las cuales se encuentran pruebas de tracción, transferencia de fluidos, peso y resistencia a la temperatura, luego se elaboraron los protocolos para cada una de estas pruebas y se procedió a realizarlas. Fue necesario preguntar a expertos sobre la toxicidad de la hoja para poder hacer más cerrada la selección de los sustratos:

**Andrés, V. (2018) Transformación propiedades físicas y Químicas [Hoja de banano]  
Entrevista Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana. Ingeniero Mecánico**

“La hoja es un sustrato de origen biológico, y necesita de unas transformaciones morfológicas, van a tener que existir unas acciones que generen un cambio sobre la

morfología de la hoja, yo le daría como prioridad uno a la toxicidad de la hoja, esta implica dos cosas, la primera es de transferencia garantizando que el alimento que está en contacto con la hoja no se contamine, y la otra es por ingesta, no podemos tomar el riesgo que implique un peligro para la salud”.

“Hay un asunto y es que la toxicidad puede verse afectada por diferentes niveles de tiempo, es decir puede que la hoja cuanto está cortada sea tóxica, pero cuando esta seca se evapore y genere nuevos componentes que la vuelvan toxica”.

**Robín, Z. (2018) Toxicidad [Hoja de banano] Entrevista Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana. Ingeniero agroindustrial.**

“La hoja de banano es proteína, es pura proteína foliar, y la hoja central de la hoja está compuesta por fibras, entonces esta tiene clorofila, puede tener metilcelulosa, lignina, pero no tiene problema, a no ser de que se consuma en cantidades muy grandes, más de 20 hojas, guarda las misma proporción que las hojas de bijao, porque las dos plantas son monocotiledóneas es decir que la forma de la hoja es normalmente como las hojas que uno ve en un arbolito, sino que es una hoja entera larga y completa, es una clasificación botánica, lo único que se tiene que hacer es lavarse muy bien, porque recuerden que normalmente se rocían químicos para quitar las plagas, pueden lavarla con jabones, y así de pronto se le puede quitar la contaminación”.

Por otro lado, las pruebas de tracción se realizaron a una temperatura de 26.8 °C y el 50 % de humedad relativa, empleando una máquina universal INSTRON 5582 a una velocidad de 10 mm/min. Las probetas fueron cortadas en los minutos previos a la realización de la prueba, en probetas de 10 x 2 cm y otras 2 de 15 x 3 cm, esta diferencia de medidas se dio por recomendación del encargado del laboratorio, con el fin de ver si se diferenciaba el comportamiento dependiendo de la proporción entre fibras y área total. Antes de dar inicio a la realización de las pruebas el equipo presente se aseguró que las probetas no tuvieran

fisuras o rasgaduras de modo que los resultados del procedimiento fueran totalmente reales y correspondieran a las características de la probeta y no a un error presente en las probetas, previo al ensayo. En la Figura 6 se observan las probetas antes, durante y después de las pruebas de resistencia a la tracción.



*Figura 6. Probetas antes, durante y después de las pruebas de resistencia a la tracción.*

Para las pruebas de resistencia a la temperatura y a la transferencia de fluidos se diseñó un protocolo que pudiera unir las dos propiedades, ya que, en el momento de la posible utilización del material, estas dos propiedades se verán afectadas por los mismos factores, tales como, comida caliente y líquida, congelación, vapor, entre otros. Las dos pruebas se realizaron utilizando una parrilla de arepas convencional para poner la probeta en contacto directo, una nevera convencional para enfriarla, vapor de agua en ebullición para crear un ambiente caliente y una nevera convencional para crear un ambiente frío. La fabricación de las probetas se realizó con la hoja musa paradisiaca y la hoja de plátano enano con una medida de 3 x 3 cm con un espesor promedio de 0.030 cm, 4 probetas por tipo de hoja. Todas las pruebas se realizaron por la parte superior de la hoja que posee un acabado brillante. Tanto para la hoja pequeña como para la hoja grande se calentaron 16 onzas de agua en una olla convencional con el objetivo de que la muestra recibiera el vapor de esta y así notar las diferencias que se generan, luego se preparó un recipiente de aluminio y se llenó con 16 onzas de agua helada y se sumergió la probeta en él. Seguido de esto, las muestras fueron calentadas sobre una parrilla de arepas, esto para llevar el sustrato a niveles extremos de calor y poder ver su comportamiento; por último, se expuso la probeta al

ambiente de una nevera convencional para crear un ambiente frío, al final se realizó una tabla en la que se muestra la transformación del material en diferentes momentos, con ayuda de un registro fotográfico (tabla 3), los tiempos para cada toma de fotografía y análisis fueron: antes de realizar la prueba, 1, 3, 5, 7 Y 10 minutos después de comenzar la prueba.

Por último, se realizaron pruebas de resistencia de peso, ya que, aunque anteriormente se realizaron pruebas de tracción, se quiso evidenciar el comportamiento del sustrato cuando se le aplica una carga en una dirección diferente y en condiciones diferentes. Esta prueba se realizó aplicando cargas de 200, 500, 1000 y 1500 g, registrando los cambios que se daban de un peso a otro y el tipo de falla que se presentaba.

Luego de la caracterización de las muestras se inició con la selección del proceso de transformación para mejorar las propiedades de barrera, para esto se decidió realizar la evaluación de dos alternativas, una química y otra morfológica, para luego determinar cuál de las dos es la óptima para el proyecto. Para la realización de la modificación química se empleó un aditivo a base de glicerina, agua oxigenada y almidón de yuca y de papa mediante la técnica de vaciado en placa. En este proceso se creó una mezcla tomando como receta una investigación previa para intentar generar estabilidad formal y mecánica a la hoja, además, de aumentar las propiedades de barrera a la temperatura y a los fluidos, en caso de que se hiciera un corte o una deformación que afectara estas dos últimas propiedades. Mediante esta técnica se pesaron diferentes cantidades de almidón, de yuca y papa, luego se dispersaron en agua destilada y se mezclaron con glicerol (20-50%). La mezcla obtenida se calentó hasta 70 °C manteniéndose constante durante 1h con agitación vigorosa. Después se incrementó a 85 °C por 15 min para asegurar la gelatinización completa del almidón contenido en la harina. La solución filmogénica se dejó enfriar sobre la hoja a temperatura ambiente y posteriormente se colocaron muestras en placas de Petri y se dejaron secar en un horno por convección durante 24 h a 35 °C, finalmente se obtuvieron unas películas que se despegaron de las placas y se sometieron a acondicionamiento en diferentes ambientes para asegurar su secado total.

Cantidades para los experimentos:

- 20 g, 30 g, 10 g de almidón
- 600 mL, 300 mL, 150 mL de agua destilada
- 50 %, 30%, 15% de glicerina en 300 ML.

*Tabla 2. Materiales, instrumentos y proceso de elaboración de aditivo a base de almidón*

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Materiales:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Almidón de yuca y papa</li> <li>• Hojas</li> <li>• Agua Destilada</li> <li>• Glicerina</li> </ul>  | <p><b>Instrumentos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recipientes de aluminio</li> <li>• Placas Petri</li> <li>• Pinzas</li> </ul> |
| <p><b>Proceso:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se calienta el agua destilada hasta 70 grados centígrados</li> <li>• Se añade lentamente el almidón</li> <li>• Cuando ya el almidón se haya disuelto completamente se añade la glicerina</li> <li>• Se revuelve constantemente por una hora</li> <li>• Se incrementa la temperatura a 85 grados centígrados por 15 minutos para asegurar la gelatinización completa</li> <li>• Se deja enfriar sobre la hoja a temperatura ambiente.</li> </ul> |   |



*Figura 7. Proceso de creación de película de aditivo a base de almidón de yuca.*

Como segundo experimento se realizó una intervención morfológica tomando la naturaleza como referencia. Para esto, se inició una búsqueda de soluciones empleadas por este referente, que ha permitido la adaptación de diferentes plantas u organismos a través de un fortalecimiento en las características de permeabilidad y resistencia mecánica, se tomó como referente el Diagrama de Voronoi, cuya composición morfológica ofrece un gran aprovechamiento del material, entre todos los referentes que se encuentran en la naturaleza de este diagrama se tomaron las rocas metamórficas ya que su disposición morfológica o estructural permite la poca transferencias de fluidos y una estabilidad mecánica alta, con este referente que creó un patrón morfológico que se interviene con diferentes tipos de uniones que ayudan a desaprovechar la menor cantidad de material, para la selección de estos también se tuvo en cuenta la facilidad de producción y que ayude a mantener las propiedades físicas y ambientales del sustrato.

Para definir el patrón se consideraron aspectos como: este debe ser en 2D para poder ser aplicable a la hoja; deben conformarse por hexágonos; dos de los lados internos de patrón deben ser iguales; la triada que se forma en el centro del patrón debe tener entre línea y línea  $120^\circ$ ; no se deben generar curvas; los 3 hexágonos no deben ser iguales, se puede generar irregularidad; los lados de los hexágonos deben tener medidas y ángulos distintos; el patrón no debe depender de una textura para ensamblarse, ya que no se puede replicar en la hoja; los ensambles deben generar la menor cantidad de cortes internos posibles; los ensambles no deben representar un grosor extra mayor a 3mm; no se deben crear filtraciones (traslapos de caras, modulaciones y redes): funcional; el ensamble no debe

requerir más de 30 segundos para unir un módulo con otro; el tipo de ensamble no debe entorpecer, en la medida de lo posible, el aspecto del patrón, es decir, visualmente este (módulo) se debe reconocer fácilmente; el ensamble se debe poder realizar tanto por una persona, como por una máquina; el ensamble debe desperdiciar la menor cantidad posible de material; y cualquier aditivo que se deba incluir en el ensamble de los módulos debe ser biodegradable para no afectar negativamente el medio ambiente. Luego de identificar las características necesarias se buscó una geometría que respondiera a la mayor cantidad de requerimientos. Luego, de analizar la morfología de las rocas metamórficas, se procedió a diseñar un patrón bajo las características o requerimientos de diseño que se establecieron anteriormente, que se replicó en la hoja de banano utilizando moldes en papel con el patrón, lapiceros de tinta mojada para transferir la forma y tijeras convencionales para córtalo.

Para la unión de los patrones se exploraron diferentes métodos de unión en un plano y el proceso de selección dio como resultado la elección del proceso de tejido, siguiente a esto se procedió a aplicarlo en el patrón, para esto se tejieron 2 láminas con la hoja siguiendo una sola dirección, por lo que se dejó una dirección en los bordes sin tejer, luego se unieron dos láminas, poniendo una encima de la otra, allí se terminaron de unir tejido en la dirección que se dejó libre anteriormente, de esta manera no se generaron dobles uniones innecesarias, se aprovechó el material en mayor cantidad y se evitaron agujeros en el sustrato.

Luego de esto se seleccionó la mejor alternativa para seguir la ruta de trabajo, la cual se basó en ventajas y desventajas en el proceso de producción y aprovechamiento del material, se decidió trabajar con la intervención morfológica. En última instancia, se realizaron pruebas de tracción al material resultante del proceso de transformación, bajo las mismas condiciones descritas al comienzo de esta sección cuando se analizó el sustrato sin ningún tipo de intervención. Esto con la intención de evidenciar los puntos en lo que se generaba una ruptura en los patrones y el comportamiento del hilo cuando esto empezara a suceder.

Las pruebas se realizaron con método bajo la norma ASTM E8, con una velocidad de 2 mm/min, utilizando extensometría de bastidor, con condiciones ambientales de temperatura a 21° C con humedad relativa de 73 %.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Selección de las muestras

En la primera etapa se encontró que en Colombia se cultiva el banano en diferentes regiones, siendo el Urabá Antioqueño el territorio de mayor producción, seguido por el Magdalena (incluyendo la Guajira), generando fuentes de empleo e impulsando el desarrollo rural y nacional a través del desarrollo económico basado en la agricultura, solo en la zona de Urabá genera 17 mil empleos directos y 54 mil indirectos, sin embargo, de estas plantaciones solo se aprovecha el fruto de manera constante, en algunas ocasiones se aprovechan el raquis y el tallo para hacer artesanías o acabados arquitectónicos, pero estas actividades no representan una práctica continua y duradera, por eso se optó por aprovechar la hoja de banano, que no es utilizada para generar productos actualmente, además, hojas con composiciones similares como la hoja de plátano y de bijao se utilizan como contenedores y preservadores de alimentos tradicionales, por esto se concluye que la hoja de banano no genera un riesgo para la salud.

En la Finca el Naranjal, ubicada en Copacabana Antioquia se presenta este mismo problema de desaprovechamiento de material, allí se cultivan dos tipos de banano que se decidió llamarlos como la musa paradisiaca y el plátano enano, se selecciona esta finca por la cercanía con la ciudad de Medellín.

Luego se pasa al siguiente momento, para esto es necesario comparar las diferentes especies más comunes que se encuentran en la ciudad de Medellín (Musa paradisiaca y Plátano enano) y hacer cuantificable esa información a través de propiedades físicas y mecánicas.

## 6.2. Caracterización de las propiedades físicas y mecánicas de las pruebas seleccionadas.

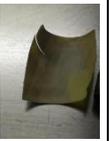
En este proceso se realizaron pruebas de transferencia de fluidos en este caso agua, resistencia a la temperatura o choque térmico, pruebas de tracción y pruebas de resistencia al peso.

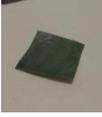
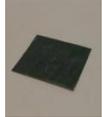
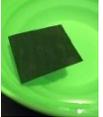
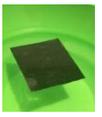
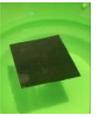
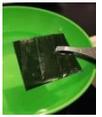
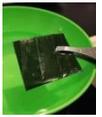
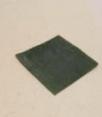
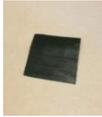
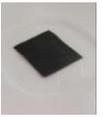
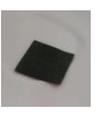
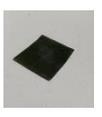
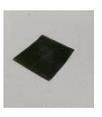
En las dos primeras pruebas mencionadas, se evidenció el comportamiento que tiene el sustrato cuando se lleva a situaciones extremas de temperatura, fue importante someter las probetas a entornos a los que normalmente un contenedor de alimentos como el que se desea reemplazar podría llegar, simplemente para evidenciar los riesgos ambientales, mecánicos y de transferencia de fluidos que se pueden generar en las interacciones con el usuario y el contexto en caso de un mal uso del material, por eso se expuso el sustrato a la parrilla de arepas convencional, haciendo contacto directo con ésta.



*Figura 8. Registro de las pruebas de resistencia a los fluidos en ambas hojas, después de ser sometidas las pruebas de resistencia a la temperatura.*

Tabla 3. Cuadro de análisis de información resultante de las pruebas de resistencia a la temperatura

| Tipo de hoja | Antes   | Info. general   | 1 min   | 3 min   | 5 min   | 7 min  | 10 min  | Cambios   |
|--------------|---|---|---|---|---|--|---|---|
| Hoja pequeña |    | Esta probeta fue expuesta a un ambiente caliente (vapor).       |    |    |    |    |    | Cambia el color a un verde más oscuro, la hoja empieza a sudar, hay un cambio en la forma: se enrolla, pero al final cede y queda flácida.  |
|              |    | Esta probeta fue sumergida en agua a temperatura ambiente.      |    |    |    |    |    | Las fibras de la hoja se marcan mucho más a partir del minuto 8, la hoja se opone a hundirse en el agua y siempre que se le deja de hacer presión, ella flota, de alguna manera crea una membrana para que el agua no la penetre. La hoja mantiene su forma y se tiende a pandear para que la zona de las fibras que ha absorbido menor cantidad de agua flote. |
|              |  | Esta probeta fue expuesta a calor directo (parrilla de arepas). |  |  |  |  |  | La hoja queda menos maleable, es decir, más rígida y se enrolla, sigue flotando en el agua, aunque la capa de impermeabilización se deja penetrar más fácilmente, el tamaño se reduce y el material se carboniza.   |
|              |  | Esta probeta fue expuesta a un ambiente frío (nevera).          |  |  |  |  |  | La hoja empieza a sudar, a partir del minuto 8 la hoja se empieza a enrollar, pero esta vez lo hace por las fibras más grandes o marcadas, empieza a crear ángulos casi rectos.   |

|   |             |   |   |   |   |   |  |   |  |   |
|---|-------------|---|---|---|---|---|--|---|--|---|
| 5 | Hoja grande |    | Esta probeta fue expuesta a un ambiente caliente (vapor).       |    |    |    |    |    | Cambio en el color, se empieza a poner café.<br><br>La maleabilidad aumenta y empieza a sudar. Las fibras se empiezan a oscurecer y a absorber agua, cuando pasa un tiempo la hoja se seca completamente |   |
| 6 |             |    | Esta probeta fue sumergida en agua a temperatura ambiente.      |    |    |    |    |    |   | Se sumerge lentamente en el agua, cambia de color, empieza a absorber lentamente el agua  |
| 7 |             |   | Esta probeta fue expuesta a calor directo (parrilla de arepas). |   |   |   |   |   |    | Se enrosca en el primer minuto y su color empieza a tornarse grisáceo, luego se empieza a carbonizar hasta quedar completamente negro, se vuelve quebradizo y su espesor disminuye. |
| 8 |             |  | Esta probeta fue expuesta a un ambiente frío (nevera)           |  |  |  |  |  |   | No sufre ningún cambio significativo, solo su color se oscurece un poco.  |

Al finalizar las pruebas anteriores las mismas 8 muestras fueron puestas en agua en donde se pudo constatar que independientemente de las pruebas realizadas la hoja de banano repele el agua o los fluidos gracias a la cutina, que es una es una macromolécula que forma una pared celular epidérmica de protección natural que impide el paso del agua, pero que a la vez contiene los fluidos de la planta que son absorbidos por las raíces (Morfología Vegetal, 2014); sin embargo, al estar más carbonizada o más expuesta al calor, su repelencia se ve comprometida más fácilmente, además, dependiendo de la curvatura que tome la hoja, se hunde más fácilmente, evidenciándose que las más planas se mantienen a

flote por más tiempo mientras que las más enrolladas dejan que la parte central de su área se sumerja, en la tabla 4 se puede evidenciar el cambio de cada probeta dependiendo de la prueba que se le realizó.

**Alejandro, Z. (2018) Pruebas Transformación Entrevista [Hoja de banano] Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana.**

"Es mejor enfocarse en las pruebas principales, con esta prueba (tracción) se pueden determinar estas dos propiedades tales como la rigidez y resistencia, con estas se puede conocer lo básico, y mejor cuando ya se haya intervenido el material hacen las pruebas restantes para entrar en profundidad y detalle de todos los resultados según la transformación que ustedes le hagan."

La importancia de esta prueba para el proyecto radica en el comportamiento que puede llegar a tener el material si se utiliza para cargar alimentos no solo como contenedor para el consumo inmediato, sino, para el transporte de estos, en donde la hoja puede estar en constante movimiento inclusive por efectos de la gravedad que exigen esfuerzos mecánicos de resistencia a la tracción.

*Tabla 4. Información generada por la máquina INSTRON en las pruebas de tracción.*

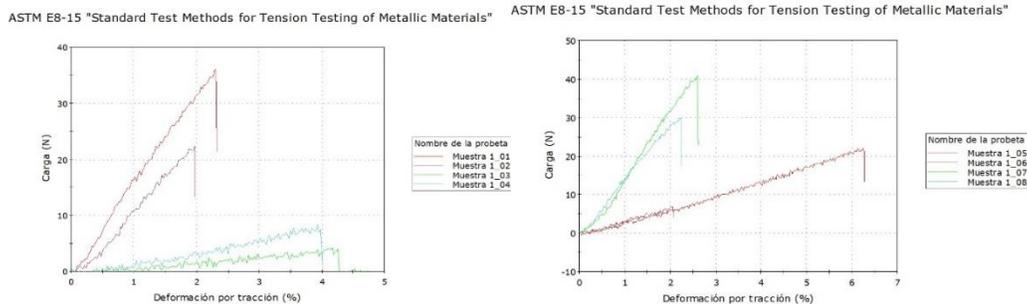
|   | Inicio  | General  | Carga Tensile Strength (N) | Esf. de tracc (MPa) | Def. por tracc (%) | Carga Break (N) | Esf. de tracc (MPa) | Def. por tracc (%) | Final   |
|---|---|--|----------------------------|---------------------|--------------------|-----------------|---------------------|--------------------|---|
| 1 |  | Hoja de banano pequeño, Medidas: Largo 15 cm, Ancho 3 cm, Espesor 0.028 cm Dirección de la veta a lo Largo | 27.64                      | 3.47                | 1.74               | 35.95           | 4.51                | 2.31               |  |
| 2 |  | Hoja de banano pequeño, Medidas: Largo 10 cm, Ancho 2 cm, Espesor 0.025 cm Dirección de la veta a lo Largo | 15.26                      | 3.02                | 1.40               | 22.36           | 4.42                | 1.98               |  |
| 3 |  | Hoja de banano pequeño, Medidas: Largo 10 cm, Ancho 2 cm, Espesor 0.025 cm Dirección de la veta a lo Ancho | 3.51                       | 0.70                | 3.83               | -0.25           | -0.05               | 5.13               |  |

|   |  |  |       |      |      |       |       |      |  |
|---|--|--|-------|------|------|-------|-------|------|--|
| 4 |   | Hoja de banano pequeño,<br>Medidas: Largo 15 cm,<br>Ancho 3 cm,<br>Espesor 0.037 cm<br>Dirección de la veta a lo Ancho | 6.56  | 0.59 | 3.52 | -0.96 | -0.09 | 4.34 |   |
| 1 |   | Hoja de banano grande,<br>Medidas: Largo 15 cm,<br>Ancho 3 cm,<br>Espesor 0.036 cm<br>Dirección de la veta a lo Ancho  | 19.64 | 1.82 | 5.67 | 21.31 | 1.97  | 6.26 |   |
| 2 |   | Hoja de banano grande,<br>Medidas: Largo 10 cm,<br>Ancho 2 cm,<br>Espesor 0.033 cm<br>Dirección de la veta a lo Ancho  | 5.20  | 0.79 | 1.48 | 6.97  | 1.07  | 2.05 |   |
| 3 |   | Hoja de banano grande,<br>Medidas: Largo 15 cm,<br>Ancho 3 cm,<br>Espesor 0.030 cm<br>Dirección de la veta a lo Largo  | 32.13 | 2.02 | 2.02 | 41.00 | 4.70  | 2.60 |   |
| 4 |  | Hoja de banano grande,<br>Medidas: Largo 10 cm,<br>Ancho 2 cm,<br>Espesor 0.032 cm<br>Dirección de la veta a lo Largo  | 24.07 | 1.67 | 1.67 | 29.77 | 4.93  | 2.24 |  |

Al final del ensayo se obtuvieron curvas de la fuerza aplicada y el desplazamiento, además de un análisis sobre el tipo de orientación de la fibra óptima para el proyecto. La prueba realizada permitió comparar el comportamiento de la hoja con tres direcciones diferentes de las fibras que están sometidas ante un esfuerzo de tracción, analizando principalmente el límite elástico, porcentaje de deformación del material y la carga soportada.

En la Figura 9 se observa el gráfico comparativo entre los dos tipos de banano y en la tabla 4 se observa la recopilación de las pruebas obtenidas en donde se muestra la comparación entre ambos tipos de hoja de banano. Como se puede observar en la gráfica de la Figura 9, las probetas que mayor resistencia tuvieron fueron que contaban con la dirección de la fibra horizontal en el banano pequeño, y en el banano grande fueron las muestras con dirección

de la fibra vertical, es decir que los factores que permiten que una hoja sea más resistente que otra no depende únicamente de la dirección de las fibras, sino, del tipo de fruto.



*Figura 9. Gráficas con información dada por la máquina INSTRON, en las pruebas de tracción, en donde se evidencian y se comparan los puntos de esfuerzo y ruptura de todas las probetas.*

La desviación estándar, que se observa en la Figura 9, según el tipo de hoja y el tamaño fue: (El primer valor corresponde al promedio y el segundo a la desviación.)

Hoja 1 (musa paradisiaca): 15x3 cm: 2.75 MPa  $\pm$  0.93 % - 10x2 cm: 2.38 MPa  $\pm$  1.59 %  
(Ver Anexo 2)

Hoja 2 (banano enano): 15x3 cm: 2.03 MPa  $\pm$  1.44 % - 10x2 cm: 1.86 MPa  $\pm$  1.16 % (Ver Anexo 3)

Al final de todas las pruebas se analizaron los resultados que arrojó cada una y se puntuaron para elegir una de las dos hojas, para esto se generó una discusión entre todos los integrantes del grupo sobre los niveles de resistencia que tuvo cada hoja, el plátano enano presentó mayor resistencia al choque térmico y mayor impermeabilidad, que son los dos aspectos más importantes para el proyecto, ya que la resistencia mecánica se puede mejorar más fácilmente con una intervención química o morfológica, por lo tanto, se decidió trabajar con el plátano enano.

### 6.3. Selección de los procesos de transformación

Luego de la selección de la hoja se pudo identificar que la hoja de banano grande presenta mejores resultados en el momento de realizar pruebas, las diferencias entre los resultados se generan por el estado de madurez de la hoja, la dirección de las fibras

y las condiciones ambientales en las que esta se encuentre expuesta. A través de la investigación teórica se realizó una búsqueda de experimentos que sirvan para potencializar las propiedades de barrera y mecánicas a través de un sustrato natural, estos experimentos usan variaciones basadas en cambios de concentración de glicerina, almidón y agua destilada.

Durante el proceso de selección de los aditivos que se le aplicaron a la hoja de banano, se encontró que el proceso que tiene como ingredientes el almidón de yuca, glicerina y agua destilada presenta mayor facilidad de procesamiento, es de menor costo y en el proceso que se encontró se reforzaron las propiedades de barrera y mecánicas que se buscan potencializar en este proyecto; sin embargo, con uno de los experimentos seleccionados y con las variaciones basadas en cambios de concentración de glicerina de almidón y de agua destilada, el punto de vista técnico, vale la pena destacar que, durante el proceso de experimentación con almidón de papa. El uso del bioplástico debe ser adherido a la hoja de manera limitado ya que la mezcla no resultó ser completamente resistente a temperaturas superiores a 70 °C, al estar en contacto con el vapor la mezcla se debilitaba o derretía, además tenía una textura constantemente pegajosa por lo que el contacto del usuario con la mezcla no era placentero. Además, el endurecedor (almidón de yuca) no cumplía totalmente su función, ya que, al dejar la mezcla secar este no se secaba completamente y al intentar poner una mayor cantidad del almidón la mezcla quedaba grumosa o blanca en vez de suave y transparente.

Paralelamente se realizó un proceso de selección de características para realizar una intervención morfológica con el fin de crear estabilidad mecánica en el sustrato sin afectar las propiedades de barrera propios de la hoja, para esto, se realizó una lista de características morfológicas que pudieran ayudar a definir un patrón adecuado para el tipo de esfuerzos a los que estará sometido.

Luego de identificar las características necesarias se buscó una geometría que respondiera a la mayor cantidad de requerimientos, entre los cuales se encuentra el diagrama de Voronoi, ya que este diagrama, el cual consiste en un conjunto de puntos en el plano es la división de

dicho plano en regiones, de tal forma, que a cada punto se le asigna una región del plano formada por los puntos que son más cercanos a él que a ninguno de los otros objetos, permite dividir el plano en tantas regiones como puntos se tengan de tal forma que a cada punto le asignemos la región formada por todo lo que está más cerca de él que de ningún otro. Estas geometrías son la manera óptima de ocupar todo un espacio de manera irregular, se compone mayormente de hexágonos, aunque se pueden presentar ocasionalmente pentágonos, cuadrados y triángulos, por esto la naturaleza se ha encargado de aplicar su estructura en muchos organismos, bien sea para ocupar espacio, crear mayor resistencia mecánica o llevar más fácilmente los nutrientes a todo el organismo.

Como referente natural del Patrón de Voronoi se tomó la estructura formal de las rocas metamórficas, ya que presentan una composición morfológica que genera la suficiente resistencia mecánica necesaria para el proyecto y la disposición de sus patrones es hidrofóbica, en donde se crean tramas que hacen que el agua o los fluidos se queden en las grietas generadas y no pasen fácilmente. Después de analizar su morfología se procedió a diseñar un patrón bajo ciertas características o requerimientos de diseño, que se replicará en la hoja de banano.

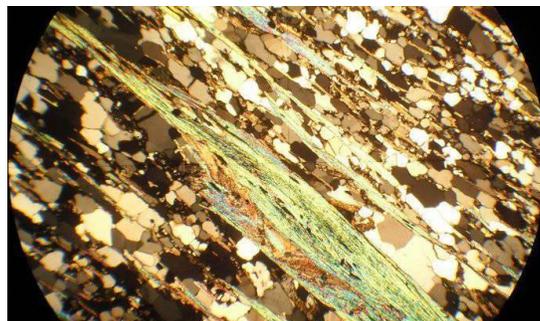
#### **6.4. Aplicación y validación de los procesos en la hoja.**

Después de realizar los dos experimentos y analizar las ventajas y desventajas de producción y aprovechamiento de recursos, se decide optar por el segundo tipo de transformación ya que la intervención se hace con el mismo material, se puede hacer manual e industrialmente y se generan pocos desperdicios. Luego de esto, se siguió desarrollando a profundidad el tipo de unión final para el patrón obtenido. Para seleccionar el tipo de ensamble se realizó un rastreo de los tipos de uniones que se utilizan para crear láminas, es decir, que se generen en un solo plano, entre ellas se tiene: ensamble macho-hembra, ensamble con gancho, ensamble con tejido y ensamble con aditivo. Esto se muestra en la Figura 10.



*Figura 10. Experimento en diferentes tipos de papel con propiedades físicas y mecánicas parecidas a las de la hoja.*

Se decidió explorar a profundidad el ensamble tipo tejido, ya que los orificios generados por el hilo son los más pequeños en comparación con los otros tipos de uniones, ya que, a pesar de que el aditivo no genera ningún agujero, sino que más bien los cubre, todos los aditivos encontrados se diluyen con el agua, por lo que la lámina se separaría más fácilmente. Al igual que las rocas metamórficas se toman estos patrones y se traslapan, comportamiento que se evidencia en la Figura 11, lo que mejora la rigidez y resistencia mecánica del textil generado y ayuda a que los orificios que genera el hilo se “cubran” por otras secciones del patrón, lo que ayuda a generar formas tridimensionales según como se junten lo patrones.

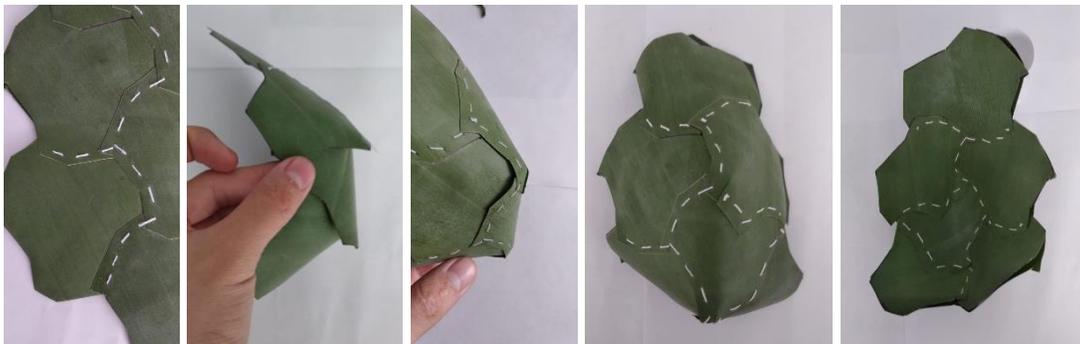


*Figura 11. Evidencia del tipo de traslapo de capas en las rocas metamórficas que se llevan a las capas en el material.*

Para materializar este tejido se tomaron 6 patrones, estos se unen por las caras correspondientes en dos hileras, el primer tejido se hace de forma vertical para unir los patrones entre sí; luego se toman dos “hojas” de patrón y se sobreponen una encima de la otra, al alinearlas correctamente se hacen una serie de tejidos horizontales, uniéndose así completamente los diferentes patrones en un textil. Ahora, si se desea llevar a una forma tridimensional se toma las dos hojas de patrón, y en lugar de hacer tejidos verticales se mueven los patrones a conveniencia y se cose por el borde de uno de los patrones, de esta manera se pueden crear contenedores sin necesidad de un molde.

Esta propuesta de ensamble consta de unas solapas que sobresalen de 6 de los 12 lados del patrón, esas 6 solapas están situadas una al lado de la otra, por lo que, al unir dos o más patrones, ese espacio extra se sobrepone en los otros 6 lados que no cuentan con ellas, para unir las unas con otras se hace uso de un hilo biodegradable que se entrelaza entre las capas en tipo punto recto, es decir, creando una única línea.

Dentro de las solapas creadas, se puede observar que hay dos direcciones, por lo que una dirección se utilizó para unir patrón con patrón y la otra dirección para unir capa con capa, de esta manera, se evita coser dos veces en el mismo punto y posiblemente crear más orificios.

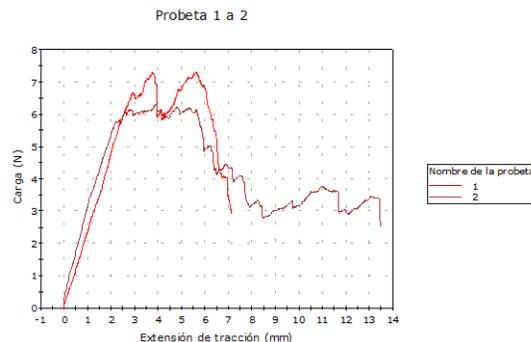


*Figura 12. Configuraciones realizadas con el patrón aplicado en el sustrato.*

Se encontró que el patrón permite generar diferentes uniones que la hoja por sí sola no puede hacer, formas ángulos rectos uniendo varias fibras que permiten mejorar la resistencia a tracción, así como tramas que mejoran la transferencia de fluidos.

Al final de las pruebas de tracción se generaron unos resultados cuantitativos (esfuerzo de tracción y máximo esfuerzo de tracción) (Ver Anexo 4) que ayudó a determinar el tipo de usos que se pueden crear con el material dependiendo de los elementos o productos que vaya a contener. Se determinó que no puede contener líquidos en grandes cantidades, ya que, ante un esfuerzo mecánico como el que se realizó en las pruebas de tracción, las fibras se separan y se generan fracturas, como las que se observan en la Figura 14, permitiendo que los fluidos pasen fácilmente.

Las probetas resistieron a la tracción gracias a las uniones con el hilo biodegradable, este fue quien hizo el trabajo de soportar la carga de tracción, ya que los mismos orificios por lo que pasaba ese componente a través de la hoja fueron los causantes de que el sustrato vegetal se agrietara fácilmente en dirección a las fibras y se presentaran fallas como las que se muestran en la Figura 14. En comparación con las pruebas de tracción que se realizaron a las hojas de banano al inicio de la investigación, el sustrato vegetal perdió resistencia mecánica al esfuerzo de tracción, sin embargo, el hilo hace que la lámina se mantenga unida a pesar de la falla presentada en la hoja, por lo que este material resultante puede soportar cargas mayores a la de la hoja de banano sin intervención.



*Figura 13. Gráfica generada por la máquina INSTRON en las pruebas de tracción del material resultante.*

La mejora final del sustrato fue de un 18% en la resistencia mecánica.

Gracias estas pruebas de tracción que se pudo evidenciar que los módulos que se crearon en este proceso crean una red estable a la tracción y a la carga, por lo que puede ser utilizado no solo en la creación de contenedores para alimentos, sino también para cualquier tipo de contenedor desechable, con la combinación de varias capas se pueden lograr mayor o menor resistencia mecánica. Desde contenedores para alimentos, como bolsas desechables de elementos de camping, la lámina creada puede sustituir los elementos derivados del petróleo que son utilizados en las zonas naturales cercanas a los ríos, que normalmente son desechadas en el mismo lugar y representan una amenaza para el ecosistema.



*Figura 14. Lámina 1 después de ser fallada en las pruebas de tracción en la máquina INSTRON, evidencia de los puntos de ruptura de las fibras.*

## 7. CONCLUSIONES

- Tras la investigación documental realizada al inicio del proyecto se pudo evidenciar la necesidad de darle un uso a los desechos generados por el cultivo de banano, no únicamente para mitigar el impacto ambiental, sino también para generar empleo y dinamizar la economía.
- En la medida en la que se aumente la resistencia mecánica del material con el tipo de unión elegido en el proceso de investigación actual, se pierde resistencia a la transferencia de fluidos, ya que, este tipo de unión genera orificios cada vez más grandes cuando se somete a mayores cargas.
- Únicamente por intervención morfológica no se puede generar un material que cumpla con todos los requerimientos planteados desde el principio de la investigación, se debe reforzar el sustrato bien sea con un aditivo o una capa de otro material que mejore sus propiedades de barrera.
- Después del culminar el proceso de funcionalización el material tuvo una mejora del 18% en resistencia a la tracción, por lo que, aunque se generan fracturas por la fibra más fácilmente en comparación a la hoja sin intervención, se obtuvo un resultado favorable, que según las combinaciones de varias capas se puede aumentar.

## 8. REFERENCIAS

(SIPSA), S. d. (2014). El cultivo del plátano (*Musa paradisiaca*), un importante alimento para el mundo. *INSUMOS Y FACTORES*, 1-52.

Blade, G. (s.f.). *Fib&Co*. Obtenido de <http://www.fibandco.es/green-blade.php>

Centro de BioSistemas, U. d. (s.f.). *Guía para la toma de muestra foliar*. Obtenido de [http://www.utadeo.edu.co/files/collections/documents/field\\_attached\\_file/muestreo\\_para\\_analisis\\_foliare.pdf](http://www.utadeo.edu.co/files/collections/documents/field_attached_file/muestreo_para_analisis_foliare.pdf)

Leclair, D. (s.f.). *DIANE LECLAIR BISSON*. Obtenido de <http://www.dianeclairbisson.com/food-exploration-series/>

Ministerio de asuntos extranjeros de Francia, I. I. (1989). *Compendio de Agronomía Tropical, Tomo 2*. San José, Costa Rica.

Rodríguez, A. (2 de Abril de 2015). *La Enciclopedia de los Materiales*. Obtenido de <http://www.materialesde.com/propiedades-ecologicas-de-los-materiales/>

Tellez, E. F. (24 de Agosto de 2017). *El Campesino*. Obtenido de <http://www.elcampesino.co/platos-base-hoja-platano/>

UN, A. d. (17 de Agosto de 2017). *Unimedios*. Obtenido de <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/platos-ecologicos-a-base-de-hojas-de-platano.html>

Belalcazar C., V. J. (1991). La planta y el fruto. En V. J. Belalcazar C., *Manual de Asistencia Técnica No. 50 ICA, El cultivo del plátano en el trópico. Armenia, Quindío* (págs. 45-89,376). Feriva, Cali: INIBAP.

Miguel Mazzeo Meneses, L. L. (2010). APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DE RESIDUOS DE COSECHA Y POSCOSECHA DEL PLÁTANO EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS. *Educación en Ingeniería*, 128-139.

Vidal F.I., P. E. (2001). En P. E. Vidal F.I., *Efecto de la suplementación con seudotallo de plátano sobre la salud y el peso al sacrificio de cerdos comerciales*. (págs. 67-69). *Revista Producción Animal*, Vol 13 No. 1, Universidad de Camagüey

## **9. ANEXOS**

**Anexo 1.**

**Artículo.**

# INTERVENCIÓN MORFOLÓGICA DE LA HOJA DE BANANO.

*Camila Restrepo* \*, *Sebastián Duque*, *Paulina Monsalve*

Facultad de Diseño Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia.

\*Autor de correspondencia: [camila.restrepot@upb.edu.co](mailto:camila.restrepot@upb.edu.co)

## Resumen

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo el desarrollo de un material natural a partir del aprovechamiento de los residuos poscosecha de las plantaciones de banano en las zonas aledañas a la ciudad de Medellín. Lo anterior, por medio del mejoramiento de sus propiedades mecánicas y de barrera sin afectar su condición de biodegradación, con el fin de sustituir los polímeros utilizados para producir contenedores de alimentos, muchos de los cuales llegan a las riveras de los ríos afectando el ecosistema de manera perjudicial. Para lograr esto se exploraron procesos de intervención química, es decir, a base de aditivos, que en este caso fueron realizados con agua oxigenada, glicerina y distintos almidones variando sus cantidades, para obtener una película que generara una barrera hidrofóbica y aportara estabilidad mecánica al sustrato. Además, se exploró la intervención morfológica resultante de un proceso de rastreo de información que arrojó como resultado un patrón compuesto por tres hexágonos irregulares, la definición de este patrón se fundamentó en los principios mecánicos y físicos del diagrama de Voronoi, el cual se teje con un hilo biodegradable para crear láminas y formas 3D autoportantes que dejen pasar la menor cantidad de fluidos posible. Se determinó que el proceso que más beneficios traía para el proyecto era la intervención morfológica, ya que en esta se aprovecha mayor cantidad de material, su producción se puede hacer manual e industrialmente y se pueden crear formas en 3D de manera óptima en comparación con el proceso a base de aditivo.

## Abstract

city of Medellin. This, by improving its mechanical and barrier properties without affecting its biodegradation status, in order to replace the polymers used to produce food containers, many of which reach the banks of rivers damaging the ecosystem. To achieve this, chemical intervention processes were explored, based on additives, which in this case were carried out with oxygenated water, glycerin and different starches varying their quantities, to obtain a film that generates a hydrophobic barrier and provides mechanical stability to the substrate. In addition, the morphological intervention resulting from an information tracking process was explored, resulting in a pattern composed of three irregular hexagons, the definition of this pattern was based on the mechanical and physical principles of the Voronoi diagram, which is woven with a biodegradable yarn to create sheets and self-supporting 3D shapes that pass as few fluids as possible. It was determined that the process that brought the most benefits to the project was morphological intervention, since in this one more material is used, their production can be made manually and industrially and 3D shapes can be created optimally compared to the additive based process.

**Palabras Clave:** *Intervención morfológica, aprovechamiento de residuos, hoja de banano, contaminación ambiental.*

# 1 INTRODUCCIÓN

En Colombia se cultiva el banano en diferentes regiones, siendo el Urabá Antioqueño el territorio de mayor producción, seguido por el Magdalena (incluyendo la Guajira), generando fuentes de empleo e impulsando el desarrollo rural y nacional a través del desarrollo económico basado en la agricultura, solo en la zona de Urabá genera 17 mil empleos directos y 54 mil indirectos, sin embargo, de estas plantaciones solo se aprovecha el fruto de manera constante, se optó por aprovechar la hoja de banano, que no es utilizada para generar productos actualmente, además, hojas con composiciones similares como la hoja de plátano y de bijao se utilizan como contenedores y preservadores de alimentos tradicionales, por esto se concluye que la hoja de banano no genera un riesgo para la salud. En la Finca el Naranjal, ubicada en Copacabana Antioquia se cultivan dos tipos de banano que se decidió llamarlos como la musa paradisiaca y el plátano enano, se selecciona esta finca por la cercanía con la ciudad de Medellín.

El proyecto está enmarcado en la investigación morfológica de tipo experimental, en la que se estudia el procesamiento de la hoja del banano y la posibilidad de usar este como un nuevo material que pueda suplir el uso de contenedores plásticos, por medio de una investigación morfológica de los diferentes patrones encontrados en la naturaleza y los variados tipos de uniones que se usan actualmente, este patrón se fundamenta en el Diagrama de Voronoi, rescatando sus propiedades mecánicas y referenciándose en las rocas metamórficas para aprovechar la disposición de los módulos para disminuir la transferencia de fluidos.

En el mercado se pueden encontrar productos con un material a base de la hoja de banano, sin embargo, son escasos y difíciles de conseguir, además, todas las funcionalizaciones generadas se basan en aditivos que se añaden al sustrato, ninguno de ellos explora la morfología. Entre estos se encontró una investigación llamada “Empaques biodegradables a partir de fibra de plátano para los productos agrícolas del departamento de Caldas” en donde se preparan películas de harinas de arroz y plátano mediante el método de vaciado en placa, usando un diseño central compuesto rotacional para optimizar sus propiedades mecánicas y de barrera.

El objetivo del trabajo es contribuir a la disminución de los desechos que terminan en los ríos cercanos a la ciudad de Medellín, en donde se realizan actividades turísticas basadas en el consumo de alimentos.

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Selección de las muestras.

Para alcanzar los objetivos planteados en la investigación se realizó, inicialmente, una búsqueda sobre los diferentes tipos de musa paradisiaca que son cultivados en el país, para luego seleccionar cual de todas las especies cual era la más apropiada. Posteriormente, se realizó un análisis basado en características de disponibilidad tales como mayor demanda en el mercado y tiempo del cultivo al año; a su vez se tomaron en cuenta características morfológicas tales como tamaño, forma, dirección de las fibras, textura, y por último que se encontraran en lugares cercanos a la ciudad de Medellín, Antioquia. Luego de analizar la información se seleccionaron al menos dos de los tipos de musa paradisiaca que cumplieran con las mejores condiciones antes mencionadas. Fue necesario preguntar a expertos sobre la toxicidad de la hoja para poder hacer más cerrada la selección.

**Andrés, V. (2018) Transformación propiedades físicas y Químicas [Hoja de banano] Entrevista Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana. Ingeniero Mecánico.** “Hay un asunto y es que la toxicidad puede verse afectada por diferentes niveles de tiempo, es decir puede que la hoja cuanto está cortada sea tóxica, pero cuando esta seca se evapora y genere nuevos componentes que la vuelvan tóxica”.

## 2.2 Caracterización de las propiedades físicas y mecánicas de las hojas seleccionadas.

Se realizaron pruebas de tracción, permeabilidad al agua, y resistencia a la temperatura. Las pruebas de tracción se realizaron a una temperatura de 26.8 °C y el 50 % de humedad relativa, bajo la norma empleando una máquina universal INSTRON 5582 a una velocidad de 10 mm/min. Para cada hoja de banano se cortaron 2 probetas de 10x2 cm y otras 2 de 15x3 cm (Figura 1).



**Figura 1:** Probetas antes, durante y después de las pruebas de resistencia a la tracción.

Para las pruebas de resistencia a la temperatura y a la permeabilidad se diseñó un protocolo que pudiera unir las dos propiedades, ya que, en el momento de la posible utilización del material, estas dos se verán afectadas por los mismos factores, tales como, comida caliente y líquida, congelación, y vapor.

## 2.3 Selección de los procesos aplicables al sustrato.

Para seleccionar los procesos de transformación que mejoran las propiedades de barrera se realizó la evaluación de dos alternativas, una química y otra morfológica, para luego determinar cuál de las dos es la óptima para el proyecto.

La primera alternativa consistió en el uso de un aditivo a base de glicerina, agua oxigenada y almidón de yuca y de papa mediante la técnica de vaciado en placa. En este proceso se creó una mezcla tomando como receta una investigación previa para intentar generar estabilidad formal y mecánica a la hoja, además, de aumentar las propiedades de barrera a la temperatura y a los líquidos, en caso de que se hiciera un corte o una deformación que afectara estas dos últimas propiedades.

La segunda alternativa consistió en la intervención morfológica tomando la naturaleza como referencia, se inició una búsqueda de soluciones propuestas por la naturaleza para adaptar diferentes plantas o seres fortaleciendo las características de permeabilidad y resistencia mecánica, se decidió trabajar con el diagrama de Voronoi, con el que se creó un patrón que pasa a ser intervenido con diferentes tipos de uniones que desaprovechan la menor cantidad de material, que sea fácil de producir y mantenga las propiedades físicas y ambientales del sustrato, en este punto se optó por trabajar con la unión tipo tejido.

## 2.4 Validación de los procesos en la hoja.

Para aplicarlo a la hoja se tejieron 2 de las láminas con el patrón resultante y se realizaron pruebas de mecánicas en la máquina INSTRON, bajo la norma ASTM E8, con una velocidad de 2 mm/min, utilizando extensometría de bastidor, con condiciones ambientales de temperatura a 21° C con humedad relativa de 73 %, se sometieron a tracción hasta que se evidenciara una ruptura en varios patrones y se hizo un análisis de los resultados. Las pruebas se realizaron con método bajo la norma ASTM E8, con una velocidad de 2 mm/min, utilizando extensometría de bastidor, con condiciones ambientales de temperatura a 21° C con humedad relativa de 73%.

## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para seleccionar cuál de las dos hojas era óptima se realizaron pruebas permeabilidad al agua, resistencia a la temperatura o choque térmico, pruebas de resistencia. Las imágenes de estas pruebas se observan en la Figura 2.

Al finalizar las pruebas permeabilidad se evidenció que la hoja de banano repele el agua o los fluidos. Esto puede deberse a que, gracias a la cutina, que es una es una macromolécula que forma una pared celular epidérmica de protección natural, se impide el paso del agua, pero que a la vez contiene los fluidos de la planta que son absorbidos por las raíces (morfología vegetal), sin embargo, al estar más carbonizada o más expuesta al calor, su repelencia se ve disminuida más fácilmente como consecuencia, posiblemente, de la degradación de la cutina.

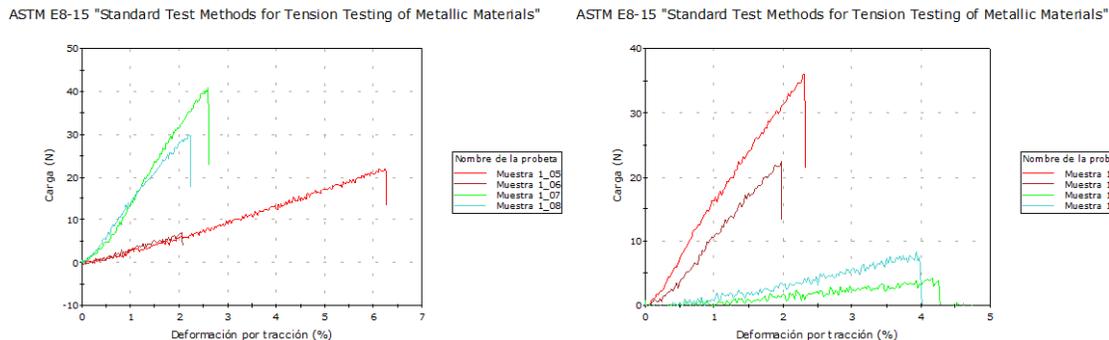


**Figura 2.** Registro de las pruebas de permeabilidad en ambas hojas, después de ser sometidas las pruebas de resistencia a la temperatura.

Por otro lado, se realizaron pruebas de tracción, con el objetivo de observar el comportamiento que puede llegar a tener el material si se utiliza para cargar alimentos no solo como contenedor para el consumo inmediato, sino, para el transporte de estos, en donde la hoja puede estar en constante movimiento incluyendo esfuerzos de gravedad que exigen esfuerzos mecánicos altos. Al final del ensayo se obtuvieron curvas de la fuerza aplicada y el desplazamiento, además de un análisis sobre el tipo de orientación de la fibra óptima para el proyecto.

La prueba realizada permitió comparar el comportamiento de la hoja con dos direcciones diferentes de las fibras que están sometidas ante un esfuerzo de tracción, analizando principalmente el límite elástico, porcentaje de deformación del material y la carga soportada. En la Figura 3 se observa el gráfico comparativo entre los dos tipos de banano, como se puede observar en la gráfica las probetas que mayor resistencia tuvieron fueron que contaban con la dirección de la veta a lo ancho u horizontal en el banano pequeño, y en el banano grande fueron

las muestras con dirección de la fibra a lo largo, es decir que los factores que permiten que una hoja sea más resistente que otra no depende únicamente de la dirección de las fibras, sino, del tipo de fruto.



**Figura 3.** Gráficas con información dada por la máquina INSTRON, en las pruebas de tracción, en donde se evidencian y se comparan los puntos de esfuerzo y ruptura de todas las probetas.

La desviación estándar, que se observa en la Figura 3, según el tipo de hoja y el tamaño fue: (El primer valor corresponde al promedio y el segundo a la desviación.)

Hoja grande (musa paradisiaca): 15x3 cm: 2.75 MPa ± 0.93 % - 10x2 cm: 2.38 MPa ± 1.59 %

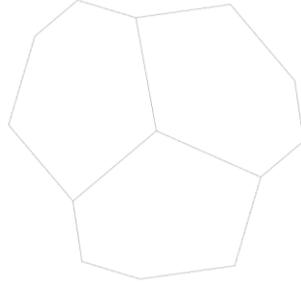
Hoja pequeña (banano enano): 15x3 cm: 2.03 MPa ± 1.44 % - 10x2 cm: 1.86 MPa ± 1.16 %

El plátano enano presentó mayor resistencia al choque térmico y mayor impermeabilidad, que son los dos aspectos más importantes para el proyecto, ya que la resistencia mecánica se puede mejorar más fácilmente con una intervención química o morfológica, por lo tanto, se decidió trabajar con el plátano enano.

Luego de la selección de la hoja se pudo identificar que la hoja de banano grande presenta mejores resultados en el momento de realizar pruebas mecánicas, de barrera y de peso, las diferencias entre los resultados se generan por el estado de madurez de la hoja, la dirección de las fibras y las condiciones ambientales en las que esta se encuentre expuesta.

A través de la investigación teórica se realizó una búsqueda de experimentos que sirvieran para potencializar las propiedades de barrera y mecánicas a través de un sustrato natural, estos experimentos usan variaciones basadas en cambios de concentración de glicerina, almidón y agua destilada. Desde el punto de vista técnico, vale la pena destacar que, durante el proceso de experimentación con almidón de papa el uso del bioplástico debe ser adherido a la hoja de manera limitado ya que la mezcla no resultó ser completamente resistente a temperaturas mayores a 70° C, al estar en contacto con el vapor la mezcla se o derritió.

Estas geometrías son la manera óptima de ocupar todo un espacio de manera irregular, se compone mayormente de hexágonos, aunque se pueden presentar pentágonos, cuadrados y triángulos. La mejor opción dentro de los referentes explorados fueron las rocas metamórficas, ya que, presentan una composición morfológica que genera la suficiente resistencia mecánica necesaria para el proyecto, además de que la disposición de sus patrones es hidrofóbica, con esta información se elaboró un patrón que se observa en la Figura 4, que cumple con el referente y los requerimientos mecánicos establecidos en el proyecto.



**Figura 4.** Patrón resultante basado en el Diagrama de Voronoi.

Después de realizar los dos experimentos y analizar las ventajas y desventajas de producción y aprovechamiento de recursos, se decidió optar por el segundo tipo de transformación, ya que, la intervención se hace con el mismo material, se puede hacer manual e industrialmente y se generan pocos desperdicios. Luego de esto se siguió desarrollando a profundidad el tipo de unión final para el patrón obtenido.

Para esto se realizó un rastreo de los tipos de uniones que se utilizan para crear láminas, es decir, que se generen en un solo plano, entre ellas se tienen: ensamble macho-hembra, ensamble con gancho, ensamble con tejido y ensamble con aditivo. (Figura 5)



**Figura 5.** Experimento en diferentes tipos de papel con propiedades físicas y mecánicas parecidas a las de la hoja.

Se decidió explorar a profundidad el ensamble tipo tejido, ya que los orificios generados por el hilo son los más pequeños en comparación con los otros tipos de uniones, ya que, a pesar de que el aditivo no genera ningún agujero, sino que más bien los cubre, todos los aditivos encontrados se diluyen con el agua, por lo que la lámina se separaría más fácilmente. Al igual que las rocas metamórficas se toman estos patrones y se traslapan (Figura 6), lo que mejora la rigidez y resistencia mecánica del textil generado y ayuda a que los orificios que genera el hilo se “cubran” por otras secciones del patrón.

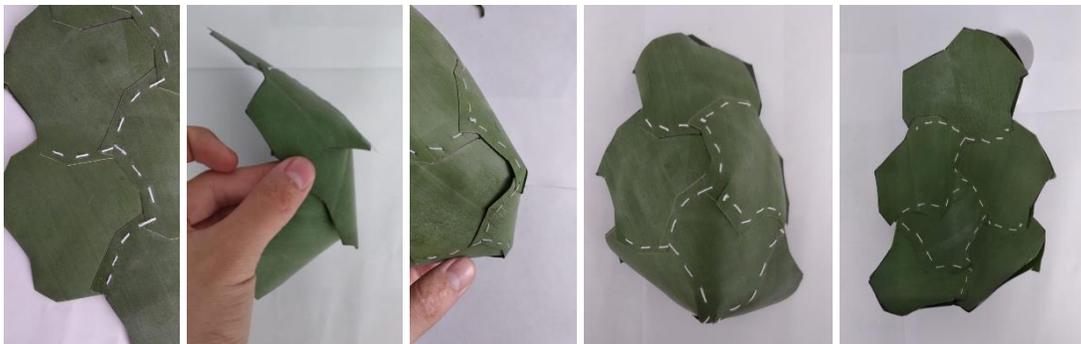


**Figura 6.** Evidencia del tipo de traslape de capas en las rocas metamórficas, que se llevan a las capas en el material.

Para materializar este tejido se consideraron 6 patrones que se unen en dos hileras, el primer tejido se hace de forma vertical para unir los patrones entre sí; luego se toman dos láminas y se superponen una encima de la otra, al alinearlas correctamente se hace una serie de tejidos horizontales, uniéndose así completamente los diferentes patrones en un textil. Ahora, si se desea llevar a una forma tridimensional se toma las dos hojas de patrón, y en lugar de hacer tejidos verticales se mueven los patrones a conveniencia y se cose por el borde de uno de los patrones, de esta manera se pueden crear cuantas formas cóncavas.

Se encontró que el patrón permite generar diferentes uniones que la hoja por sí sola no puede hacer, formas ángulos rectos uniéndose varias fibras que permiten mejorar la resistencia a tracción, así como tramas que mejoran la permeabilidad.

Dentro de las solapas creadas, se pudo observar que hay dos direcciones, por lo que una dirección se utilizó para unir patrón con patrón y la otra dirección para unir capa con capa, de esta manera, se evita coser dos veces en el mismo punto y posiblemente crear más orificios.



**Figura 7.** Configuraciones realizadas con el patrón aplicado en el sustrato.

Gracias a las pruebas de tracción que se realizaron se pudo observar que los módulos que se crearon en este proceso crean una red estable a la tracción y a la carga, por lo que puede ser utilizado no solo en la creación de contenedores para alimentos, sino también para cualquier tipo de contenedor desechable, con la combinación de varias capas se pueden lograr mayor o menor resistencia mecánica. La lámina creada puede sustituir los elementos derivados del petróleo que son utilizados en las zonas naturales cercanas a los ríos, que normalmente son desechadas en el mismo lugar y representan una amenaza para el ecosistema.



**Figura 8.** Lámina 1 después de ser fallada en las pruebas de tracción en la máquina INSTRON, evidencia de los puntos de ruptura de las fibras.

La desviación estándar de las muestras finales fue:  $3.82 \text{ MPa} \pm 0.06 \%$ . La mejora final del material en comparación con el sustrato sin intervención fue de un 18%.

## 4 CONCLUSIONES.

- Tras la investigación documental realizada al inicio del proyecto se pudo evidenciar la necesidad de darle un uso a los desechos generados por el cultivo de banano, no únicamente para mitigar el impacto ambiental, sino también para generar empleo y dinamizar la economía.
- En la medida en la que se aumente la resistencia mecánica del material con el tipo de unión elegido en el proceso de investigación actual, se pierde resistencia a la transferencia de fluidos, ya que, este tipo de unión genera orificios cada vez más grandes cuando se somete a mayores cargas.
- Únicamente por intervención morfológica no se puede generar un material que cumpla con todos los requerimientos planteados desde el principio de la investigación, se debe reforzar el sustrato bien sea con un aditivo o una capa de otro material que mejore sus propiedades de barrera.
- Después del culminar el proceso de funcionalización el material tuvo una mejora del 18% en resistencia a la tracción, por lo que, aunque se generan fracturas por la fibra más fácilmente en comparación a la hoja sin intervención, se obtuvo un resultado favorable, que según las combinaciones de varias capas se puede aumentar.

## 5 REFERENCIAS

[1] Miguel Mazzeo Meneses, L. L. (2010). aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de caldas. *Educación en Ingeniería*, 128-139.

[2] Vidal F.I., P. E. (2001). En P. E. Vidal F.I., *Efecto de la suplementación con seudotallo de plátano sobre la salud y el peso al sacrificio de cerdos comerciales*. (págs. 67-69). Revista Producción Animal, Vol 13 No. 1, Universidad de Camagüey

[3] Rodriguez, A. (2 de Abril de 2015). *La Enciclopedia de los Materiales*. Obtenido de <http://www.materialesde.com/propiedades-ecologicas-de-los-materiales/>

[4] Centro de BioSistemas, U. d. (s.f.). *Guía para la toma de muestra foliar*. Obtenido de [http://www.utadeo.edu.co/files/collections/documents/field\\_attached\\_file/muestreo\\_para\\_analisis\\_foliars.pdf](http://www.utadeo.edu.co/files/collections/documents/field_attached_file/muestreo_para_analisis_foliars.pdf).

[5] (SIPSA), S. d. (2014). El cultivo del plátano (*Musa paradisiaca*), un importante alimento para el mundo. *INSUMOS Y FACTORES*, 1-52.

[6] Belalcazar C., V. J. (1991). La planta y el fruto. En V. J. Belalcazar C., *Manual de Asistencia Técnica No. 50 ICA, El cultivo del plátano en el trópico*. Armenia, Quindío (págs. 45-89,376). Feriva, Cali: INIBAP.

## ANEXO 2.

### Pruebas de tracción de la hoja 1 (musa paradisiaca).

Descripción del método  
 Metodo bajo norma ASTM E8

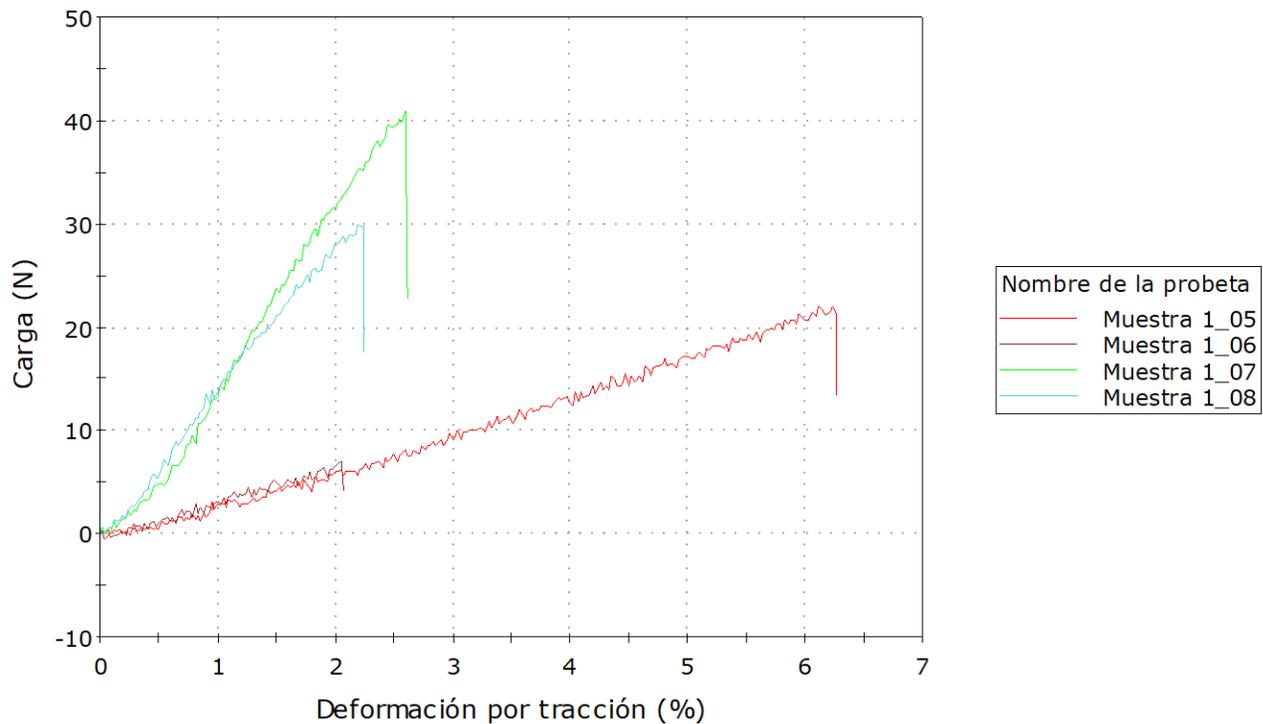
Velocidad de ensayo  
 Velocidad: 10 mm/min

Extensometría  
 Se utiliza extensometria de bastidor

Descripción de la muestra  
 Las probetas han sido realizadas por el solicitante del ensayo.

Condiciones de ensayo  
 Temperatura: 27.1° C  
 Humedad relativa: 50%

### ASTM E8-15 "Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials"



|                     | <b>Diámetro (mm)</b> | <b>Diámetro final (mm)</b> | <b>Etiqueta de la probeta</b> | <b>Anchura (mm)</b> |
|---------------------|----------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------|
| 1                   |                      |                            | Muestra 1_05                  | 30.00               |
| 2                   |                      |                            | Muestra 1_06                  | 20.00               |
| 3                   |                      |                            | Muestra 1_07                  | 29.00               |
| 4                   |                      |                            | Muestra 1_08                  | 19.00               |
| Media               |                      |                            |                               | 24.50               |
| Desviación estándar |                      |                            |                               | 5.80230             |

|                        | <b>Espesor<br/>(mm)</b> | <b>Longitud inicial<br/>(mm)</b> | <b>Área inicial/Area<br/>Reduction<br/>(mm<sup>2</sup>)</b> | <b>Carga Tensile<br/>Strength<br/>(N)</b> |
|------------------------|-------------------------|----------------------------------|---|---|
| 1                      | 0.36                    | 70.00                            | 10.80   | 19.64                                     |
| 2                      | 0.33                    | 70.00                            | 6.54  | 5.20                                      |
| 3                      | 0.30                    | 70.00                            | 8.73  | 32.13                                     |
| 4                      | 0.32                    | 70.00                            | 6.04  | 24.07                                     |
| Media                  | 0.33                    | 70.00                            | 8.03  | 20.26                                     |
| Desviación<br>estándar | 0.02480                 | 0.00000                          | 2.18584   | 11.29386                                  |

|                        | <b>Esfuerzo de tracción<br/>Tensile Strength<br/>(MPa)</b> | <b>Deformación por<br/>tracción Tensile<br/>Strength<br/>(%)</b> | <b>Carga<br/>Break<br/>(Standard)<br/>(N)</b> | <b>Esfuerzo de tracción<br/>Break (Standard)<br/>(MPa)</b> |
|------------------------|--|--|---|--|
| 1                      | 1.82   | 5.67   | 21.31   | 1.97   |
| 2                      | 0.79   | 1.48   | 6.97  | 1.07   |
| 3                      | 3.68   | 2.02   | 41.00   | 4.70   |
| 4                      | 3.98   | 1.67   | 29.77   | 4.93   |
| Media                  | 2.57   | 2.71   | 24.76   | 3.17   |
| Desviación<br>estándar | 1.52204  | 1.98529  | 14.34180                                      | 1.93891  |

|                        | <b>Deformación por<br/>tracción Break<br/>(Standard)<br/>(%)</b> |
|------------------------|--|
| 1                      | 6.26   |
| 2                      | 2.05   |
| 3                      | 2.60   |
| 4                      | 2.24   |
| Media                  | 3.29   |
| Desviación<br>estándar | 1.99707  |

### ANEXO 3.

#### Pruebas de tracción de la hoja 2 (plátano enano).

Descripción del método  
 Metodo bajo norma ASTM E8

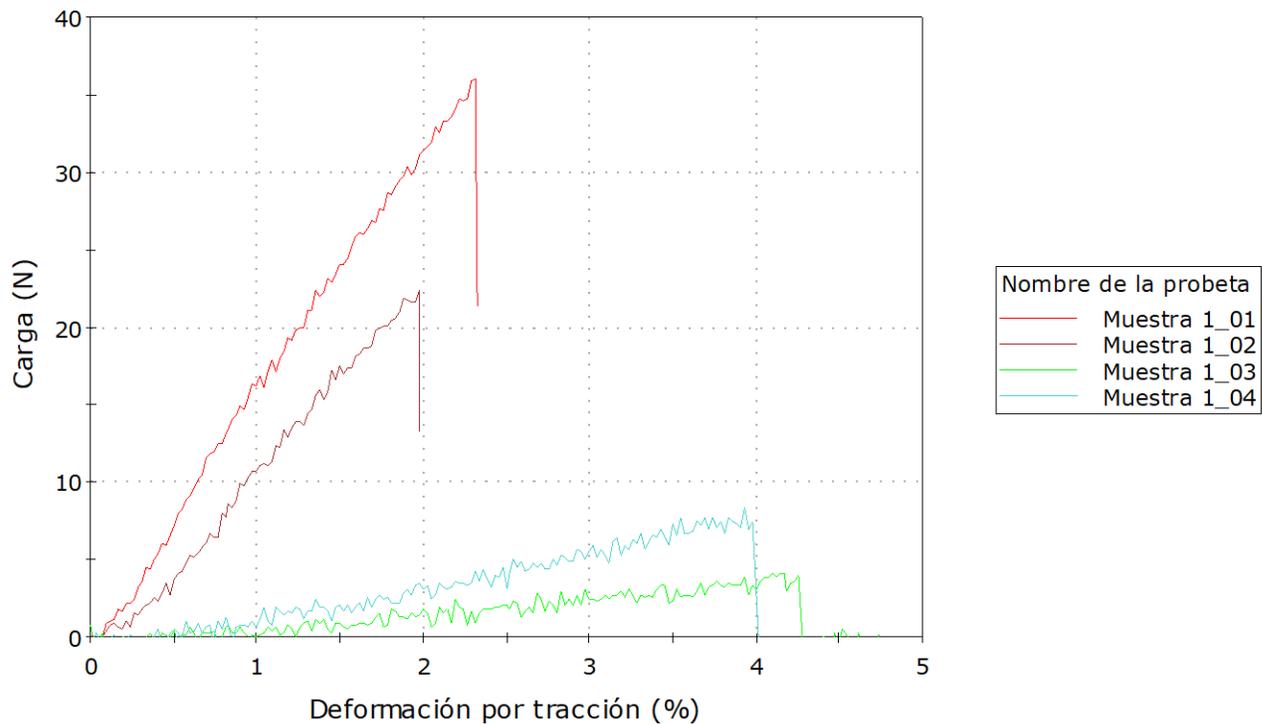
Velocidad de ensayo  
 Velocidad: 10 mm/min

Extensometría  
 Se utiliza extensometria de bastidor

Descripción de la muestra  
 Las probetas han sido realizadas por el solicitante del ensayo.

Condiciones de ensayo  
 Temperatura: 26.8° C  
 Humedad relativa: 50%

#### ASTM E8-15 "Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials"



|                     | <b>Etiqueta de la probeta</b> | <b>Anchura (mm)</b> |
|---------------------|-------------------------------|---------------------|
| 1                   | Muestra 1_01                  | 29.00               |
| 2                   | Muestra 1_02                  | 20.00               |
| 3                   | Muestra 1_03                  | 20.00               |
| 4                   | Muestra 1_04                  | 30.00               |
| Media               |                               | 24.75               |
| Desviación estándar |                               | 5.50000             |

|                        | <b>Espesor<br/>(mm)</b> | <b>Longitud inicial<br/>(mm)</b> | <b>Área inicial/Area<br/>Reduction<br/>(mm<sup>2</sup>)</b> | <b>Carga Tensile<br/>Strength<br/>(N)</b> |
|------------------------|-------------------------|----------------------------------|---|---|
| 1                      | 0.28                    | 70.00                            | 7.98  | 27.64                                     |
| 2                      | 0.25                    | 70.00                            | 5.06  | 15.26                                     |
| 3                      | 0.25                    | 70.00                            | 5.02  | 3.51                                      |
| 4                      | 0.37                    | 70.00                            | 11.10   | 6.56                                      |
| Media                  | 0.29                    | 70.00                            | 7.29  | 13.24                                     |
| Desviación<br>estándar | 0.05623                 | 0.00000                          | 2.89316   | 10.81348                                  |

|                        | <b>Esfuerzo de tracción<br/>Tensile Strength<br/>(MPa)</b> | <b>Deformación por<br/>tracción Tensile<br/>Strength<br/>(%)</b> | <b>Carga<br/>Break<br/>(Standard)<br/>(N)</b> | <b>Esfuerzo de tracción<br/>Break (Standard)<br/>(MPa)</b> |
|------------------------|--|--|---|--|
| 1                      | 3.47   | 1.74   | 35.95   | 4.51   |
| 2                      | 3.02   | 1.40   | 22.36   | 4.42   |
| 3                      | 0.70   | 3.83   | -0.25   | -0.05  |
| 4                      | 0.59   | 3.52   | -0.96   | -0.09  |
| Media                  | 1.94   | 2.62   | 14.28   | 2.20   |
| Desviación<br>estándar | 1.51058  | 1.23064  | 18.05609                                      | 2.61638  |

|                        | <b>Deformación por<br/>tracción Break<br/>(Standard)<br/>(%)</b> |
|------------------------|--|
| 1                      | 2.31   |
| 2                      | 1.98   |
| 3                      | 5.13   |
| 4                      | 4.34   |
| Media                  | 3.44   |
| Desviación<br>estándar | 1.53844  |

## ANEXO 4.

### Pruebas de tracción del material final.

Descripción del método

Método bajo norma ASTM E8

Velocidad de ensayo

Velocidad: 2 mm/min

Extensometría

Se utiliza extensometría de bastidor

Descripción de la muestra

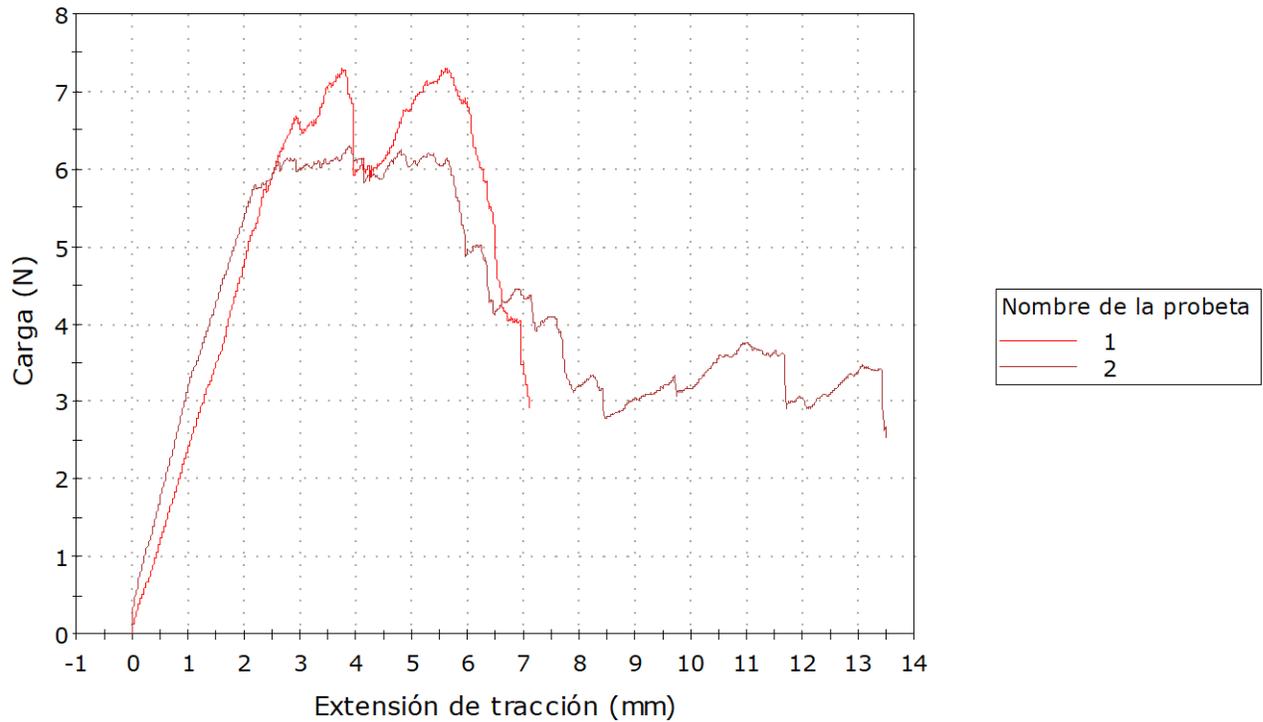
Las probetas han sido realizadas por el solicitante del ensayo.

Condiciones de ensayo

Temperatura: 21° C

Humedad relativa: 73

Probeta 1 a 2



|                     | <b>Diámetro (mm)</b> | <b>Diámetro final (mm)</b> | <b>Carga Máxima Esfuerzo de tracción (N)</b> | <b>Extensión de tracción Máximo Esfuerzo de tracción (mm)</b> |
|---------------------|----------------------|----------------------------|--|---|
| 1                   |                      |                            | 7.29510                                      | 3.76016   |
| 2                   |                      |                            | 6.29595                                      | 3.88327   |
| Media               |                      |                            | 6.79553                                      | 3.82171   |
| Desviación estándar |                      |                            | 0.71   | 0.09  |

**Análisis:**

Las probetas presentaron buena resistencia a la extensión gracias a las uniones con el hilo biodegradable, este fue quien hizo el trabajo de soportar la carga de tracción, ya que los mismos orificios por lo que pasaba ese componente a través de la hoja fueron los causantes de que el sustrato vegetal se rajara fácilmente en dirección a las fibras y se presentaran fallas como las que se muestran en las imágenes 1 y 2

En comparación con las pruebas de tracción que se realizaron a las hojas de banano al inicio de la investigación, el sustrato vegetal perdió resistencia mecánica al esfuerzo de tracción, sin embargo, el hilo hace que la lámina se mantenga unida a pesar de la falla presentada en la hoja, por lo que este material resultante puede soportar cargas mayores a la de la hoja de banano sin intervención.

El proceso de funcionalización empleado permite que la lámina resultante pueda soportar cargas incluso después de que se presenten fallas en la hoja de banano, pero estas mismas fallas impiden que se presente una mejora en la permeabilidad del sustrato, lo que demuestra que a medida que se aumenta la resistencia mecánica con procesos de funcionalización formales como el que se presenta en esta investigación, se reducen las propiedades de hidrofobia. Como consecuencia de esto, dependiendo del uso que se le quiera dar a la lámina, se deben hacer configuraciones diferentes entre las capas de la lámina y en las direcciones de las fibras de la lámina.