

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y QUÍMICA DEL COMPUESTO FORMADO
POR AGLUTINANTES Y FIBRA CELULOSA OBTENIDA A PARTIR DE LOS
SUBPRODUCTOS DE LA COSECHA DE LA MATA DE PLÁTANO

CARLOS ALBERTO MARTÍNEZ ESTRADA
WENDY YERALDYN RUIZ TAMAYO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2018

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y QUÍMICA DEL COMPUESTO FORMADO
POR AGLUTINANTES Y FIBRA CELULOSA OBTENIDA A PARTIR DE LOS
SUBPRODUCTOS DE LA COSECHA DE LA MATA DE PLÁTANO

CARLOS ALBERTO MARTÍNEZ ESTRADA
TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

WENDY YERALDYN RUIZ TAMAYO
TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA

DIRECTORES

DIONISIO ANTONIO LAVERDE CATAÑO

Ph.D. Ingeniería Industrial

ALBERTO DAVID PERTUZ COMAS

Ph.D. Ciencia de los materiales

CODIRECTOR

SERGIO ANDRÉS LESMES ALFONSO

Ingeniero químico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2018

DEDICATORIA

Agradezco infinitamente a Dios, por guiarme siempre, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por permitirme cumplir tan anhelado sueño, por llenarme de valor frente a las adversidades, por haber puesto en mi camino a todas aquellas personas que han sido mi soporte durante todo el periodo de estudio y devolverme la fe en los momentos en que yo creía imposible terminar.

A mis padres Miriam y Ovidio, gracias por su amor incondicional y fe en mí, por enseñarme que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se consigue, por su infinita paciencia y quienes por su esfuerzo y apoyo incondicional me impulsaron a cumplir con mis metas en la formación profesional.

A mis hermanas que tanto quiero, gracias por estar ahí, por sus voces de aliento y de una u otra forma hacer esto posible.

Wendy Yeraldyn Ruiz Tamayo

Dedicatoria

A Mis padres por ser apoyo y ejemplo constante.

A mis hermanos, mis amigos, Juliana y a Totti por compartir mis logros,
mis tristezas, por compartir su vida conmigo,

A Oscar Contreras y familia, Sra. Lilia Amorocho y Henry Gómez Plata y
familia por creer en mí.

A la sede Socorro y Bienestar Universitario por estar dispuestos al estudiante.

A mi Selección de Fútbol quienes comparten este gran amor.

A mi CEIM por todo el aprendizaje y por los amigos que aún perduran.

A todas las personas que de una u otra forma aportaron para avanzar en este
camino.

Carlos Alberto Martínez Estrada

AGRADECIMIENTOS

A los profesores Dionisio y Alberto, por creer en este proyecto de investigación y dirigirnos con sus aportes, consejos, apoyo y orientación para llevarlo a cabo.

Al codirector del trabajo de grado, el Ingeniero Químico Sergio Andrés Lesmes Alfonso, por sus importantes orientaciones y aportes a lo largo de todo el proceso de investigación.

A los laboratorios del Parque Tecnológico Guatiguará, por prestarnos sus instalaciones en especial al laboratorio de microscopía y el de polímeros por la colaboración en el desarrollo de las diferentes pruebas realizadas, agradecemos el buen trato de su personal y el servicio prestado.

A los coordinadores del centro integrado de laboratorios de ingeniería química Héctor Joaquín Orozco Monroy y Guillermo Acero Medina por su colaboración en la realización de análisis químicos.

A los técnicos Luis Eduardo Carreño Pérez y Wilson Eduardo Carreño Soler por su constante ayuda.

A la Universidad Industrial de Santander por brindarnos una excelente formación académica, a nuestros profesores que son un pilar para el aprendizaje en nuestra vida profesional.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	9
1. OBJETIVOS	12
1.1 OBJETIVO GENERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	12
2. METODOLOGÍA.....	13
2.1 SELECCIÓN Y RECOLECCIÓN DE MATERIA PRIMA	14
2.2 PROCESAMIENTO DE LA FIBRA.....	14
2.2.1 Preparación de las fibras	15
2.2.2 Tratamiento Químico	15
2.3 PRUEBAS PRELIMINARES Y SELECCIÓN DE AGLUTINANTE DEL MATERIAL COMPUESTO	16
2.4 DEFINICIÓN DE FRACCIONES MASICAS FIBRA- AGLUTINANTE	17
2.5 OBTENCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE AGLUTINANTE Y FIBRA CELULOSA.....	17
2.6 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO	17
2.6.1 Caracterización Mecánica.....	18
2.6.2 Caracterización Química.....	20
3. RESULTADOS	22
3.1 PRUEBAS PRELIMINARES Y SELECCIÓN DE AGLUTINANTE DEL MATERIAL COMPUESTO	22
3.2 DEFINICIÓN DE FRACCIONES MASICAS FIBRA- AGLUTINANTE	24
3.3 OBTENCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE AGLUTINANTE Y FIBRA CELULOSA.....	25
3.4 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO	26
3.4.1 Caracterización Mecánica.....	26
3.4.2 Caracterización Química.....	30
4. CONCLUSIONES	37

5. RECOMENDACIONES.....38
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....39
BIBLIOGRAFIA.....44
ANEXOS48

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades mecánicas de algunas fibras naturales.....	14
Tabla 2. Módulos de Elasticidad para cada Aglutinantes	23
Tabla 3. Propiedades Mecánicas Ensayo de Tracción	27
Tabla 4. Propiedades del Compuesto.....	36
Tabla 5. Parámetros físicos de algunas fibras naturales	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la metodología empleada en el proyecto	13
Figura 2. Procesamiento de las fibras de los subproductos del plátano.	16
Figura 3. Material Compuesto prensado	18
Figura 4. Curva Esfuerzo Vs Deformación para diferentes aglutinantes.....	22
Figura 5. Curva Esfuerzo Vs Deformación comparativa de proporciones fibra-gelatina	25
Figura 6. Matriz de fibra y aglutinante.....	25
Figura 7. Curva Esfuerzo Vs Deformación del material compuesto	26
Figura 8. Micrografía SEM de la muestra sometida a ensayo de tracción.	28
Figura 9. Microscopia Detallada.....	29
Figura 10. Microscopia de Fisura.....	30
Figura 11. Microanálisis elemental EDS del compuesto	31
Figura 12. Porcentaje Peso vs Temperatura	32
Figura 13. Transmitancia vs Número de Onda de las fibras de plátano	34
Figura 14. Transmitancia vs Número de Onda de las fibras y el compuesto	35
Figura 15. Derivada de la curva termogravimétrica	49
Figura 16. Relación Shore A vs Shore D	50

RESUMEN

TÍTULO: CARATERIZACIÓN MECÁNICA Y QUÍMICA DEL COMPUESTO FORMADO POR AGLUTINANTES Y FIBRA CELULOSA OBTENIDA A PARTIR DE LOS SUBPRODUCTOS DE LA COSECHA DE LA MATA DE PLÁTANO*.

AUTORES: CARLOS ALBERTO MARTÍNEZ ESTRADA, WENDY YERALDYN RUIZ TAMAYO**

PALABRAS CLAVE: Caracterización, Fibra de Plátano, Material Compuesto.

DESCRIPCIÓN: El interés por los materiales compuestos con propiedades comparables y bajo impacto medio ambiental se ha venido desarrollando en las últimas décadas, razón por la cual se da uso a los recursos naturales, renovables y de poco aprovechamiento como lo son los subproductos de la cosecha de la mata de plátano. Este proyecto se desarrolla con el objetivo de caracterizar mecánica y químicamente un material conformado a partir de las fibras del raquis, tallo y hojas de la mata de plátano con la finalidad de tener datos que permitan conocer sus posibles aplicaciones, mediante un proceso experimental que parte de la selección del aglutinante y su proporción fibra/aglutinante a través de ensayos de tracción. El material conformado finalmente está compuesto por una matriz de gelatina tipo C y glicerina y un refuerzo de fibras de plátano cortas distribuidas aleatoriamente obtenidas mediante un tratamiento químico con NaOH. La proporción 1:1 se determinó teniendo en cuenta los resultados obtenidos; luego se caracterizó el compuesto mediante espectroscopia infrarroja por la transformada de Fourier (FTIR), termogravimetría (TGA), microscopia electrónica de barrido (SEM) y pruebas mecánicas de tracción y dureza.

Los resultados obtenidos de este estudio indicaron la no efectividad del tratamiento químico, debido a que no se evidenció la pérdida de lignina, hemicelulosa, impurezas y ceras, no obstante, se determinó que el compuesto reforzado con fibras de plátano presenta buenas propiedades mecánicas con un módulo de elasticidad equivalente a 0,574 MPa, un porcentaje de elongación del 56%, una resistencia a la tracción última de 3,521 MPa y una dureza de 82 Shore A, lo cual pone en consideración este material compuesto biodegradable para aplicaciones en las que se desempeñan las gomas blandas y los elastómeros.

* Proyecto de grado

** Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Directores: Dionisio Antonio Laverde Cataño y Alberto David Pertuz Comas Codirector: Sergio Andrés Lesmes Alfonso.

ABSTRACT

TITLE: MECHANICAL AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE COMPOUND FORMED BY BINDING AGENTS AND CELLULOSE FIBER OBTAINED FROM THE HARVEST BANANA-PLANTAIN BUSH BY-PRODUCTS*.

AUTHORS: CARLOS ALBERTO MARTÍNEZ ESTRADA, WENDY YERALDYN RUIZ TAMAYO**.

KEYWORDS: Characterization, plantain fiber, composite materials.

DESCRIPTION: The interest in composites with comparable properties and low environmental impact has been developed in recent decades, which is why natural, renewable and low-use resources are used, such as the by-products of the harvest of the banana-plantain bush. This project is developed with the objective of mechanically and chemically characterizing a material formed from the rachis fiber, stem and leaves of the plantain bush with the purpose of having data that allows to know their possible applications, through an experimental process that starts from the binder selection and its fiber / binder through traction tests. The finally formed material is composed by a matrix of type C gelatin and glycerin and a reinforcement of short plantain fibers randomly distributed obtained by a chemical treatment with NaOH. The 1: 1 ratio was determined considering the results obtained; then the compound was characterized by infrared spectroscopy by the Fourier transform (FTIR), thermogravimetry (TGA), scanning electron microscopy (SEM) and mechanical traction and hardness tests.

The results obtained from this study indicated the non-effectiveness of the chemical treatment, due to the fact that the loss of lignin, hemicellulose, impurities and waxes was not evident, however, it was determined that the compound reinforced with banana-platain fibers presents good mechanical properties with a elasticity modulus equivalent to 0.574 MPa, an elongation percentage of 56%, a resistance to breakage of 3,521 MPa and a hardness of 82 Shore A, which considers this biodegradable composite material for applications in which perform soft gums and elastomers.

* Degree Project

** Universidad Industrial de Santander, Faculty of Physical Chemical Engineering. School of Chemical Engineering. Faculty of Physical Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Dionisio Antonio Laverde Cataño & Alberto David Pertuz Comas. Co-director: Sergio Andrés Lesmes Alfonso.

INTRODUCCIÓN

Actualmente se ha aumentado la demanda de nuevos materiales que reemplacen los materiales tradicionales, sean de menor costo y presenten propiedades y características mejores o más eficientes. Los materiales compuestos están constituidos por un fuerte material de carga (refuerzo) adheridos en materiales más débiles (matriz). El refuerzo brinda resistencia y rigidez, mientras la matriz o aglutinante mantiene la posición y la orientación del refuerzo [1].

Los refuerzos con fibras naturales están reemplazando de igual manera los refuerzos sintéticos utilizados en la elaboración de materiales compuestos, es así como las fibras naturales del yute, cáñamo, sisal, piña, plátano, entre otros productos residuales de procesos agrícolas están siendo utilizadas para diferentes aplicaciones como automoción e industrias de envasado, sacando provecho de ventajas como: fuentes abundantes, biodegradables, mejora de la productibilidad agrícola, bajo peso específico, renovables, no tóxicas, propiedades de resistencia satisfactorias, menor costo que las fibras sintéticas, poco abrasivas y que presentan la posibilidad de modificar sus propiedades mediante tratamiento químico [2].

El plátano es uno de los productos alimenticios de mayor importancia y presencia en el sistema de economía campesina en Colombia, es un producto básico en la dieta de los hogares colombianos, con un consumo cercano a los cuatro millones de toneladas al año y que en paralelo al proceso de cosecha genera un 95% de materias que no son aprovechadas y se reconocen como desechos no comercializables [3]. El 5% restante es utilizado como abono para la cosecha al descomponerse o como alimento para el ganado, este exceso de desechos sin uso afectan negativamente al medioambiente, es decir, los residuos de la cosecha como lo son el vástago, las hojas y el raquis que se reconocen como subproductos que no son aprovechados, generan el crecimiento de diversos microorganismos en zonas donde no deberían crecer, se pueden afectar otros cultivos, obstruir cañadas,

acumular agua y formar hongos en lugares inadecuados, contribuyendo a la degradación del ecosistema [4].

En busca de una solución a esta problemática, los subproductos de la cosecha del plátano como materia prima han despertado interés en investigaciones que tratan el aprovechamiento de estos, usándolos como una alternativa de alimento animal [5]; también la utilización de sus fibras en la industria, ya que poseen algunas propiedades mecánicas relativamente mejores que otras fibras de origen vegetal como lo son el porcentaje de deformación, la resistencia a la tracción última entre otras (ver Anexo A) [6] [7]. Lo anterior implica un interés por el aprovechamiento de estos en la generación de nuevos materiales de origen natural, renovables y con final de ciclo de vida completamente biodegradables [8].

Reconociendo lo anterior, es importante darles un uso diferente a estos desechos, dándoles un valor agregado en la conformación de un material compuesto que sirva como objeto de estudio para obtener sus posibles aplicaciones en la industria.

El planteamiento de una caracterización tiene como objetivo la identificación de las propiedades físicas, químicas, estructurales, entre otras, a partir de una variedad de técnicas que permitan conocer la naturaleza del material y su utilidad en distintas aplicaciones. Muchos son los trabajos dedicados al estudio de compuestos conformados con fibras de plátano y matrices de almidón modificado de yuca [9], nanopartículas de peróxido de zinc [10], epoxi [11], así como también estudios comparativos de gelatina y películas de nanocompuestos a base de almidón modificado por nanocelulosa para aplicaciones de envasado de alimentos [12]. Pero en su mayoría son estudiadas las fibras de plátano con matrices sintéticas como un grupo de investigadores liderado por Zaman [13], quienes presentan una comparación de las propiedades mecánicas de los compuestos de matriz de polipropileno reforzado con fibra de plátano con y sin radiación ultravioleta, demostrando de esta manera que las propiedades mecánicas de las fibras de

plátano irradiadas y los compuestos basados en matrices aumentan significativamente en comparación con las contrapartes no tratadas, lo que aporta a nuestro proyecto información de los tratamientos previos que se pueden hacer a las fibras con la finalidad de obtener mejores propiedades mecánicas.

La presente investigación, tiene como objetivo principal la caracterización mecánica y química del compuesto formado por aglutinantes y fibra celulosa obtenida a partir de los subproductos de la cosecha de la mata de plátano. En este estudio las fibras obtenidas serán sometidas a tratamientos químicos como lo presenta Sepúlveda [14], quien demuestra que es posible mejorar las propiedades de las fibras de plátano, cuando estas son tratadas con una solución alcalina a base de NaOH que logran la compatibilidad de las fibras y un mejor compuesto.

En consecuencia, se analizan cada uno de los tratamientos con el fin de especificar y delimitar mediante un diseño experimental los alcances de la materia prima como refuerzo, mediante un pretratamiento, selección de un aglutinante adecuado para la compactación de las fibras, buscar la influencia de la proporción másica fibra/aglutinante adecuadas para que el compuesto obtenga atributos que le otorguen al material mejores propiedades ante el esfuerzo de tensión. Por último, la caracterización de un material compuesto biodegradable con el fin de tener una visión de sus posibles aplicaciones.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la caracterización química y mecánica del compuesto de aglutinante y fibra celulosa obtenida a partir de los subproductos de la cosecha del plátano.

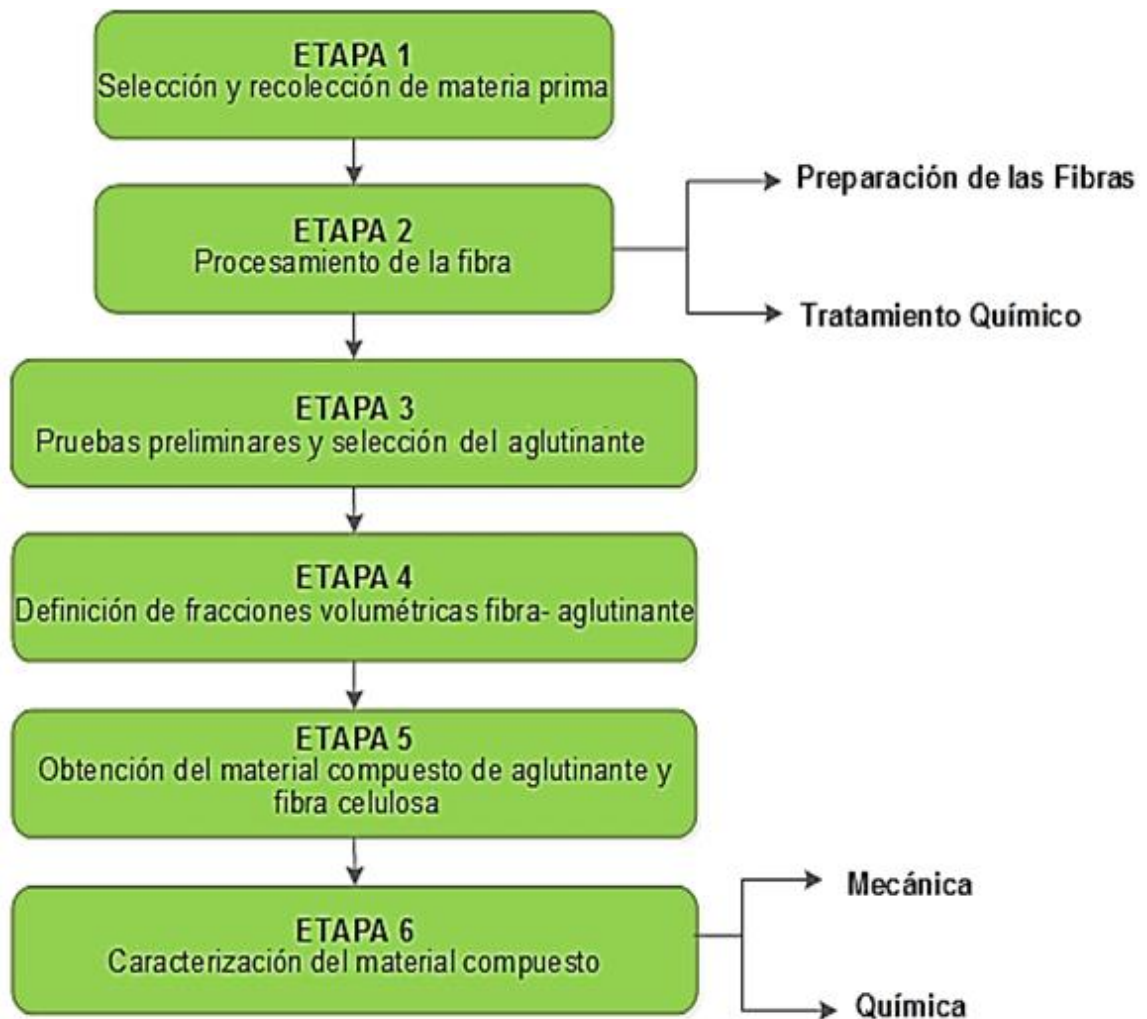
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Sintetizar un compuesto de aglutinante y fibra celulosa a partir de los subproductos de la cosecha del plátano.
- Determinar mediante caracterización mecánica las propiedades estáticas del compuesto.
- Caracterizar químicamente mediante técnicas microscópicas y espectroscópicas el compuesto.
- Establecer los parámetros de influencia y su relación con las propiedades mecánicas y químicas del compuesto.

2. METODOLOGÍA

La metodología empleada para llevar a cabo la caracterización mecánica y química del compuesto formado por aglutinantes y fibra celulosa obtenida a partir de los subproductos de la cosecha de la mata de plátano consta de seis etapas, las cuales se presentan a continuación:

Figura 1. Esquema de la metodología empleada en el proyecto



2.1 SELECCIÓN Y RECOLECCIÓN DE MATERIA PRIMA

Las fibras naturales están constituidas principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina; entre ellas se destaca las fibras de plátano, que poseen propiedades mecánicas sobresalientes para la elaboración de materiales compuestos respecto a otras fibras como se puede evidenciar en la siguiente tabla:

Tabla 1. Propiedades mecánicas de algunas fibras naturales.

Fibra	Módulo de elasticidad (GPa)	Resistencia tracción (MPa)	Alargamiento a rotura (%)
Cáñamo	–	285	1,3
Sisal	10,4	444 – 552	2,0 – 2,5
Plátano	20	550	5,0 – 6,0
Piña	4,2	413	3,0 – 4,0

Fuente: ARAUJO, J, et al. Biomicrofibrilar composites of high density polyethylene reinforced with curauá fibers: Mechanical, interfacial and morphological properties. En: Composites science and technology, 2010, vol. 70, no 11, p. 1637-1644.

Los subproductos seleccionados como materia prima son las hojas, el raquis y el pseudotallo de la mata de plátano (*Musa paradisiaca*) que fueron obtenidos después de haber recolectado la fruta, en el periodo de madurez de la cosecha de una plantación de 18 meses de edad. La plantación está ubicada en Oiba- Santander a 1.420 metros sobre el nivel del mar, tiene una temperatura promedio de 20 °C y 88% de humedad relativa.

2.2 PROCESAMIENTO DE LA FIBRA

El procesamiento de la fibra comprende dos etapas principales:

2.2.1 Preparación de las fibras. Una vez recolectada la materia prima, se lava con suficiente agua destilada para eliminar agentes externos como ceras, grasas y residuos de tierra. Posteriormente se cortó en trozos de aproximadamente tres centímetros de longitud y se trituro por medio de una licuadora industrial, obteniendo de esta manera fibras cortas que permiten un proceso menos robusto y que se consolidan con el siguiente tratamiento químico.

2.2.2 Tratamiento Químico. Las fibras de plátano obtenidas de la trituración se tratan químicamente con Hidróxido de sodio (NaOH al 97%, Merck) para eliminar el porcentaje de lignina y hemicelulosa presentes en la fibra (ver Anexo A). Se cocinan durante media hora las fibras trituradas hasta alcanzar una temperatura de 75 °C y se adicionan 250 gramos de NaOH por kilogramo de fibra de plátano. La principal función del tratamiento alcalino es actuar como un disolvente, lo que ayuda a mejorar la rugosidad superficial y la humectabilidad de las fibras, así mismo la compatibilidad para formar un material compuesto [15].

Después de conservar en reposo por unos minutos se procede a lavar la fibra para eliminar la concentración de NaOH presente y con esto obtener la pasta celulósica, la cual es la base para la obtención del material compuesto.

Para conseguir que la celulosa adopte un color blanquecino se utiliza hipoclorito de sodio (NaClO al 15%, Merck) que se le adiciona después de que se haya realizado el paso anterior, en una concentración de 100 ml de NaClO por dos (2) kilogramos de fibra de plátano, mientras se agita constantemente hasta que empiece a tornarse de un color amarillo, lo cual ocurre luego de un periodo de 2 horas. Posteriormente, la fibra es lavada para eliminar el hipoclorito y finalmente someter las fibras a 60 °C durante 12 horas en un horno de secado, obteniendo fibras con un porcentaje de humedad de aproximadamente 50 % (ver Figura 2).

Figura 2. Procesamiento de las fibras de los subproductos del plátano. De izquierda a derecha: Licuado de los subproductos; tratamiento con NaOH; blanqueamiento con NaClO; Secado



2.3 PRUEBAS PRELIMINARES Y SELECCIÓN DE AGLUTINANTE DEL MATERIAL COMPUESTO

En esta fase se seleccionaron diferentes tipos de aglutinante que funcionan como complemento en la parte biodegradable del material compuesto, como ha sido reportado por Rodríguez y Orrego en 2016 [16], dentro de los que se tienen en cuenta biopolímeros como la gelatina tipo C, derivada de la hidrólisis parcial del colágeno contenido en las pieles de origen bovino, mezcla de gelatina tipo c y almidón de yuca y un polímero sintético como el acetato polivinilo (PVA); acompañados de un plastificante como la glicerina.

Se realizaron pruebas preliminares para la selección del mejor aglutinante, que consiste en la elaboración del material compuesto con cada uno de los aglutinantes anteriormente nombrados (aglutinante + glicerina), en proporciones equivalentes fibra- aglutinante. Posteriormente, se elaboraron probetas normalizadas según la norma ASTM D3039 con las siguientes dimensiones $L= 40\text{mm}$, $A= 2\text{-}3\text{mm}$, $E= 0,5\text{-}2\text{mm}$, adaptadas para hacer ensayos de tracción en el equipo DMA Q800 en donde, algunas probetas fueron descartadas del ensayo de tracción por inspección visual ya que no se compactaron, mientras otras dieron resultado del aglutinante con mejores características.

2.4 DEFINICIÓN DE FRACCIONES MASICAS FIBRA- AGLUTINANTE

Para definir la fracción másica del compuesto fue necesario hacer una prueba con cada una de las siguientes fracciones: 40%-60%, 50%-50%, 60%-40% fibra-aglutinante respectivamente, y se adoptó el método de selección utilizado en la fase anterior, es decir, un ensayo de tracción acompañado de una inspección visual por el cual se determina la proporción adecuada para el material compuesto.

2.5 OBTENCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE AGLUTINANTE Y FIBRA CELULOSA

Luego de obtener la fibra seca, el aglutinante resultante y la proporción fibra-aglutinante establecida, se procedió a conformar el material compuesto, que consistió en humectar las fibras con aglutinante y un porcentaje de glicerina que es utilizado como plastificante y corresponde al 10% de la proporción final del aglutinante tal como lo sugiere Ayala y Barbosa [17], mientras se mezcla en un baño termostático que confiere una temperatura uniforme de 63 °C para poder hacer una mezcla homogénea del compuesto.

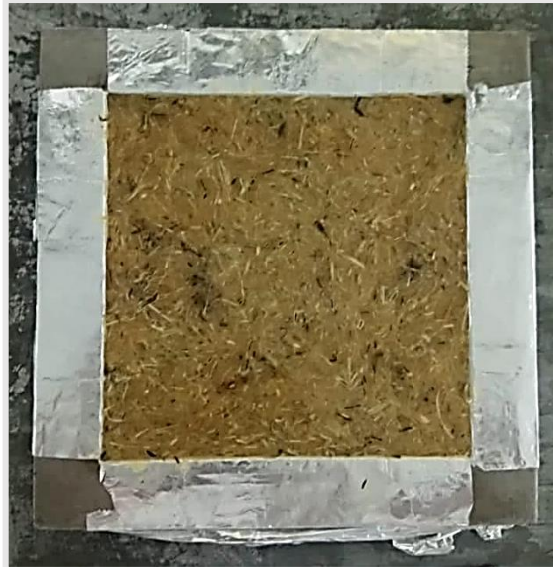
Una vez lista la mezcla se procedió a hacer un moldeo manual. Para preparar la pieza, se utilizó una lámina cuadrada como molde debidamente pulida, desinfectada y con agentes desmoldantes. En seguida las muestras son formadas en una prensa hidráulica con una presión de 25 Kg/cm² (Ver Figura 3). Posteriormente, se deja un tiempo de curado de aproximadamente una hora, para finalmente obtener el material compuesto.

2.6 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

Finalmente, partiendo del material compuesto conformado, se realizó la caracterización mecánica y química que comprende diferentes pruebas y ensayos

que son la base para la obtención de las propiedades que permiten evaluar los usos potenciales del nuevo material con características comparables y con menos impacto medio ambiental. A continuación, se describe cada una de las pruebas realizadas.

Figura 3. Material Compuesto



2.6.1 Caracterización Mecánica. Se realizaron tres diferentes ensayos mecánicos en las instalaciones del Laboratorio de Polímeros y Microscopia del Parque Tecnológico de Guatiguará con el fin de obtener la caracterización mecánica del compuesto.

2.6.1.1 Ensayo de tracción. La Figura 4 muestra las probetas preparadas para el ensayo de tracción. Para llevar a cabo el ensayo de tracción se hizo uso del equipo DMA Q800 TA Instruments que permite analizar diferentes modos de deformación de materiales. El método utilizado es una adaptación de las normas ASTM D 3039 de muestra para el equipo. La muestra se somete a tensión entre una abrazadera fija y una móvil para medir la fuerza requerida para romper el material compuesto y la medida en que el material se estira o se deforma hasta el punto de ruptura con

una velocidad de deformación de 5mm/mm /min. Se obtuvo la curva de esfuerzo-deformación, lo cual facilita la determinación del módulo elástico que es la relación entre la fuerza aplicada y la deformación que se produce en la región elástica del compuesto como lo describe la siguiente ecuación:

$$E_c = \frac{\sigma}{\Delta L}; \quad \sigma = \frac{F}{A}; \quad \Delta L = \frac{L-L_0}{L_0}$$

Donde,

E_c = *Módulo de elasticidad*

σ = *Esfuerzo*

ΔL = *Deformación Unitaria*

F = *Fuerza aplicada*

A = *Área de la sección transversal*

L = *Longitud final de ensayo*

L_0 = *Longitud inicial de espécimen*

La deformación unitaria se mide utilizando como referencia la longitud original entre dos marcas realizadas a la probeta y la longitud hasta el rompimiento.

2.6.1.2 Ensayo de dureza Shore. El ensayo de dureza se realizó según la norma ASTM D2240 para caucho moderadamente duro, elastómeros termoplásticos, productos de papel y materiales fibrosos, utilizando un durómetro Shore D que emplea un escleroscopio en donde se deja caer un indentador en la superficie del material haciendo presión manual durante 10 segundos. Se realizaron cinco determinaciones de dureza en diferentes posiciones de la muestra, separadas por 6,0 mm y se toma el valor, que tiene escalas de 0 a 100 HD. La dureza Shore es una escala de medida de la dureza elástica de los materiales, determinada a partir de la reacción elástica del material cuando se deja caer un objeto sobre él.

2.6.1.3 Microscopia Electrónica de Barrido – SEM. La microscopia electrónica de barrido SEM es un método exploratorio que permite observar la microestructura de los materiales, se usó un aumento hasta las 200 μ m, permitiendo obtener imágenes perfectamente enfocadas de objetos muy tridimensionales. La imagen se genera con los electrones que rebotan sobre la superficie de la muestra, la calidad de la imagen dependerá de la capacidad que tenga la muestra para emitir electrones. Se ubicó la muestra en stubs metálicos con cinta adhesiva de carbón, esto con el fin de dar referencia de coordenadas XY precisas y permitir que el material conductor mantenga la muestra fija. Por otro lado, fue necesario un recubrimiento de oro para hacer la muestra conductora, tan gruesa como para que la corriente eléctrica circule y tan delgada como para que no tape las características superficiales de interés, este se realizó con el equipo Quorum 150ES y las imágenes se realizaron en el microscópico Quanta Feg 650.

2.6.2 Caracterización Química. Se realizaron tres análisis químicos, uno de ellos en las instalaciones del Laboratorio de Microscopia del Parque Tecnológico de Guatiguará y los dos restantes en las instalaciones del centro integrado de laboratorios de ingeniería química; con el fin de obtener la caracterización química del compuesto.

2.6.2.1 Análisis Micro elemental SEM-EDS. La microscopia electrónica de barrido es un método exploratorio usada para observar la microestructura. Las muestras se ubican sobre stubs metálicos con cinta adhesiva de carbón, se recubrieron con oro en un equipo de recubrimiento Quorum 150ES. El análisis micro elemental SEM-EDS utiliza espectroscopia de rayos x de energía dispersa que analiza los rayos x generados como producto de la interacción del haz de electrones de un microscopio electrónico de barrido (Quanta Feg 650) con un material sometido a análisis para la identificación y cuantificación de rayos x característicos de elementos químicos.

2.6.2.2 Análisis Termogravimétrico – TGA. Para los ensayos de TGA, se utilizó un analizador termogravimétrico TGA 5500 TA Instruments, que emplea una velocidad de calentamiento de 10 °C/min hasta alcanzar 600 °C en una atmósfera controlada de nitrógeno. El análisis termogravimétrico está basado en la medida de la variación de la masa de una muestra cuando es sometida a un cambio de temperatura en una atmósfera controlada. Esta variación puede ser una pérdida o una ganancia de masa. Los valores obtenidos son pérdida de peso y la temperatura de descomposición a partir de la derivada de la curva TGA.

2.6.2.3 Análisis FTIR. La Espectroscopia infrarroja del material compuesto y fibras obtenidas de los residuos de la cosecha de la mata de plátano se midió en un espectrofotómetro infrarrojo por transformadas de Fourier Shimadzu IRTracer-100, ubicado en el laboratorio CILIQ de la escuela de ingeniería química, con un rango espectral de 400 a 3800 cm^{-1} ; con la finalidad de caracterizar la presencia de los principales grupos funcionales del material compuesto y los efectos del tratamiento químico realizado a las fibras.

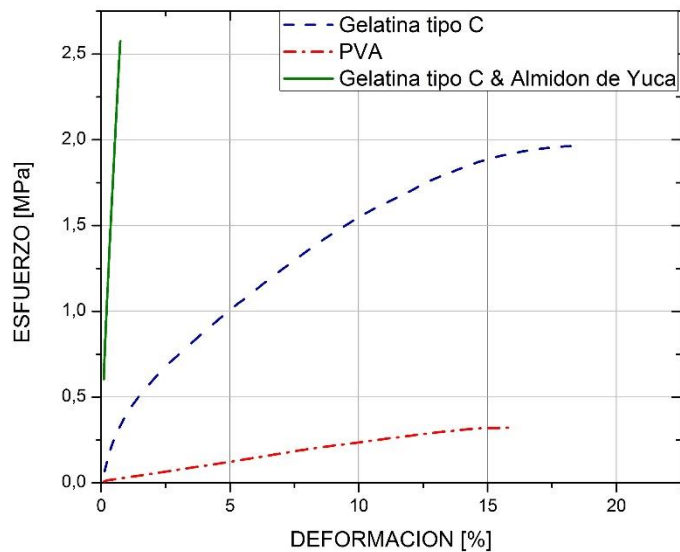
3. RESULTADOS

3.1 PRUEBAS PRELIMINARES Y SELECCIÓN DE AGLUTINANTE DEL MATERIAL COMPUESTO

El parámetro de selección para el aglutinante del material compuesto es el módulo de elasticidad obtenido a través del ensayo de tracción, en el cual se compara el comportamiento de cada uno de los aglutinantes ante una fuerza de tensión ejercida por el equipo.

El equipo DMA Q800 utilizado para llevar a cabo el ensayo de tracción arrojó una serie de resultados como se muestra en la siguiente gráfica:

Figura 4. Curva Esfuerzo Vs Deformación para diferentes aglutinantes



El compuesto de gelatina tipo C, almidón de yuca, glicerina y fibra muestra una enlogación mínima ante un esfuerzo aproximado de 2,5 MPa, lo cual supone un comportamiento rígido con un módulo de elasticidad alto, contrario al acetato polivinílico PVA el cual indica facilidad de deformación ante una fuerza de tensión menor (Material dúctil), mientras que el compuesto formado por gelatina tipo C, glicerina y fibra se distingue por mantener una mayor proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación, pasando de un comportamiento elástico a plástico hasta llegar a su punto de ruptura. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a partir del ensayo de tracción y la inspección visual basada en la textura, rugosidad, dispersión y compactación de las fibras, se infiere que el material conformado por la gelatina tipo C y las fibras de los subproductos de plátano representa una posibilidad mejor al ser este material el que tiene la mejor proporción entre deformación y esfuerzo, sin embargo no se deben descartar los otros resultados, puesto que no hay una aplicación evidente.

A continuación, se muestra el valor del módulo de elasticidad de cada una de las curvas teniendo en cuenta que este equivale a la pendiente del diagrama esfuerzo vs deformación en cualquier punto de la zona elástica.

Tabla 2. Módulos de Elasticidad para cada Aglutinantes

Aglutinante	Módulo de elasticidad
Gelatina y almidón	4,196 Mpa
PVA	0,002 Mpa
Gelatina tipo C	0,416 Mpa

De acuerdo con la anterior tabla, existe una evidente diferencia entre el módulo de elasticidad del compuesto formado por el aglutinante de gelatina tipo C y almidón en comparación a los compuestos que usan gelatina tipo C y acetato polivinílico, lo

cual ratifica la decisión de usar como aglutinante la gelatina tipo C, considerando que se pretende encontrar un material que tenga un rango mayor de usos y versatilidad, lo cual hace descartable los materiales frágiles.

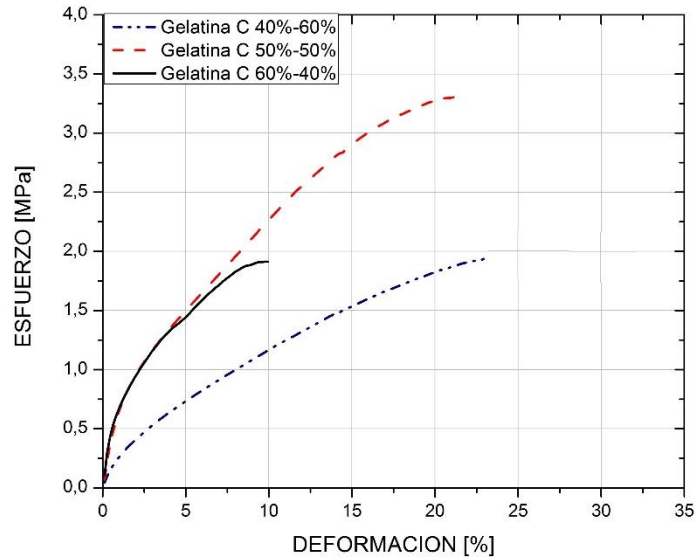
3.2 DEFINICIÓN DE FRACCIONES MASICAS FIBRA- AGLUTINANTE

Una vez seleccionado el aglutinante se continuó con la definición de las proporciones másicas apropiadas, nuevamente basados en el ensayo de tracción y el módulo de elasticidad, esta vez estableciendo diferencias entre las cantidades que conforman el compuesto.

Como se puede observar en la Figura 6, se pusieron a prueba compuestos con un 40%, 50% y 60% de aglutinante, del cual se adiciona un 4%, 5% y 6% de glicerina respectivamente como complemento al aglutinante.

Esta vez los resultados arrojados señalan una evidente relación entre el porcentaje de aglutinante y la resistencia a la tracción del compuesto. Como se puede observar, el compuesto con un 40% de aglutinante y 60% de fibra, alcanza el punto de ruptura con un esfuerzo aproximado de 2 MPa después de haberse deformado un 32%. Por su parte, el compuesto formado por 60% de aglutinante y 40% de fibra muestra un material que no cede con facilidad ante la tensión al alcanzar una elongación de tan solo 10 % con el mismo esfuerzo ejercido al compuesto anterior. El compuesto elaborado con fracciones equivalentes de aglutinante y fibra tiene un comportamiento más dúctil, posee una mayor resistencia a la tracción comparado con los otros compuestos ensayados lo cual lo hace un material con una mayor amplitud de aplicaciones.

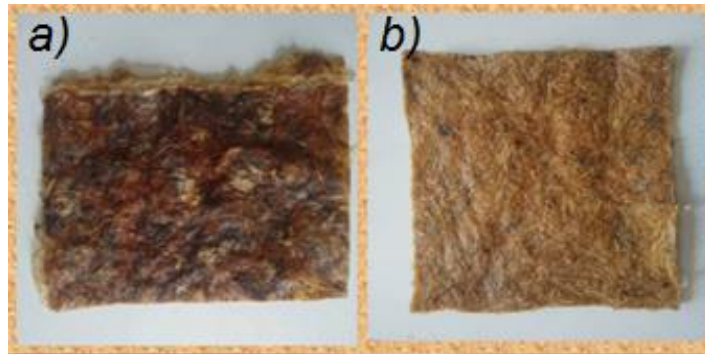
Figura 5. Curva Esfuerzo Vs Deformación comparativa de proporciones fibra-gelatina



3.3 OBTENCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO DE AGLUTINANTE Y FIBRA CELULOSA

Se obtuvo un material compuesto biodegradable con fibras de plátano discontinuas (cortas) orientadas al azar con una proporción 50%-50% fibra - aglutinante (Gelatina tipo C y glicerina). (Ver Figura 7)

Figura 6. Matriz de fibra y aglutinante. a) Matriz sin prensar. B) Matriz prensada



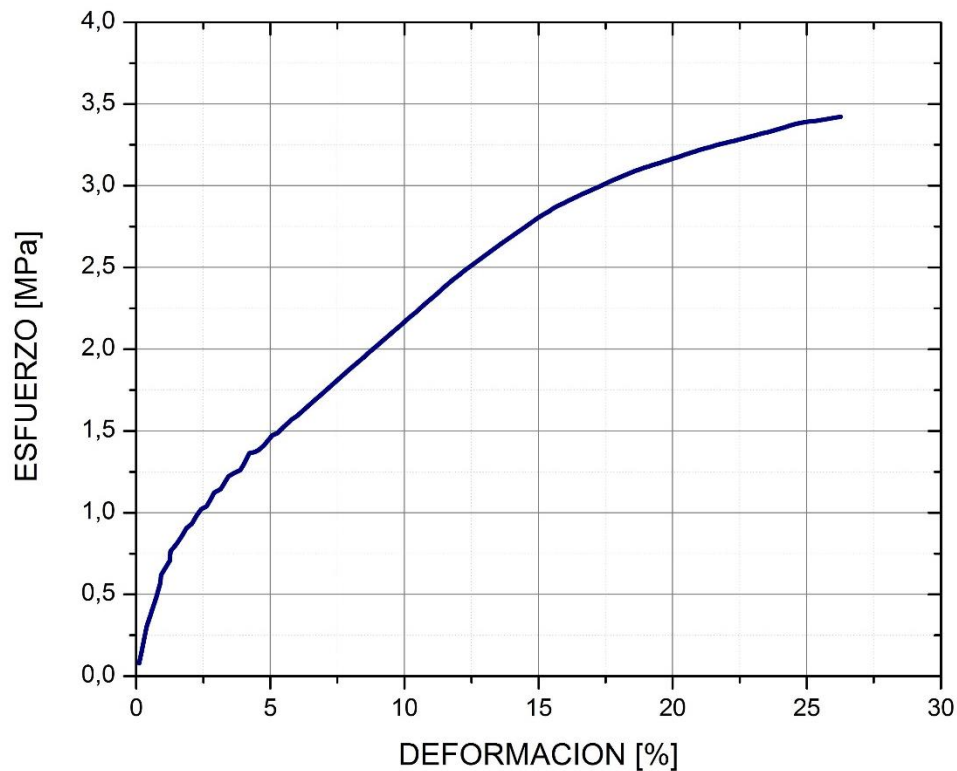
3.4 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

Con el fin de obtener la información a partir de la respuesta de un material al ser perturbado por una señal, se tuvo en cuenta dos tipos de caracterización: mecánica y química.

3.4.1 Caracterización Mecánica. Fue basada en la aplicación específica de técnicas instrumentales, apoyado por un procedimiento normalizado.

3.4.1.1 Ensayo de tracción. La caracterización final del compuesto formado por un porcentaje del 50% de aglutinantes más glicerina y 50% de fibra de subproductos de la cosecha de plátano pretratada se realizó poniendo a prueba tres muestras del mismo compuesto sometidas a tensión. Los resultados obtenidos se representan en la siguiente gráfica:

Figura 7. Curva Esfuerzo Vs Deformación del material compuesto



A partir de los datos obtenidos y la anterior gráfica se obtuvo la información descrita en la siguiente tabla en la cual se expresa los resultados para cada probeta ensayada. Por tanto, el material compuesto elaborado con 50% de aglutinante y la cantidad restante de fibra de plátano se caracteriza por tener un módulo de elasticidad equivalente a 0,574 MPa, un porcentaje de elongación del 56 % y una resistencia última a la tracción de 3,521 MPa que se puede comparar con materiales como el poliestireno expandido (EPS) que posee una resistencia a la tracción entre 0,1 y 0,6 MPa.

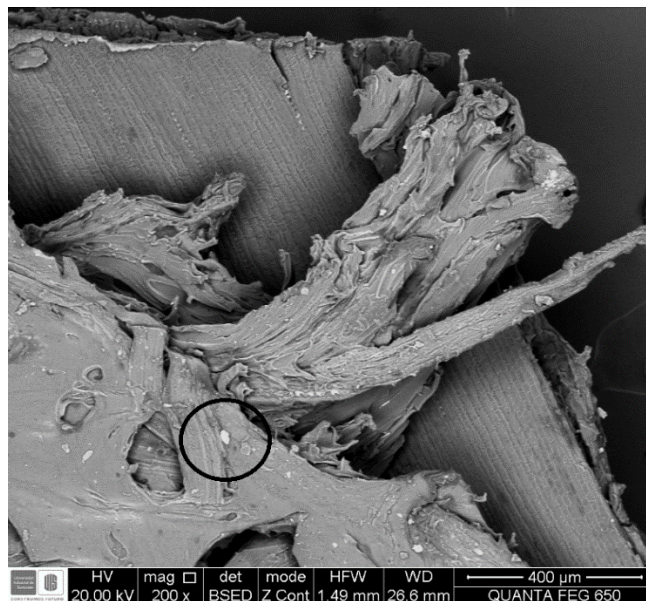
Tabla 3. Propiedades Mecánicas Ensayo de Tracción

<i>Características</i>	<i>Probeta</i>			Promedio	Unidades	Desviación Estándar
	1	2	3			
<i>Punto de Fluencia</i>	0,635	0,699	0,604	0,646	MPa	0,048
<i>Módulo de Elasticidad</i>	0,601	0,532	0,588	0,574	MPa	0,037
<i>Ec= Esfuerzo/% Deformación</i>	0,605	0,525	0,595	0,575	MPa	0,043
<i>Resistencia a la Tracción</i>	3,359	3,405	3,800	3,521	MPa	0,242
<i>Punto de Ruptura</i>	0,577	0,735	1,133	0,815	MPa	0,286
<i>Resiliencia</i>	0,331	0,467	0,301	0,366	MPa	0,088
<i>Tenacidad</i>	123,77 2	150,32 9	136,22 5	136,775	MPa	13,286
<i>Elongación</i>	52,79	63,61	52,296	56,23	%	6,393

3.4.1.2 Ensayo de dureza Shore. Se pudo evidenciar en el ensayo realizado a la muestra que la dureza shore D está en un rango entre 29 y 32. La media aritmética de las 5 mediciones es de 30,6 que es un valor bajo en la dureza Shore D que comprende gomas duras y termoplásticos, no obstante, representa un valor relativamente alto de 82 en dureza Shore A para gomas blandas, plásticos y elastómeros (Anexo C).

3.4.1.3 Microscopia Electrónica de Barrido – SEM. Las imágenes SEM del material compuesto de la muestra fracturada sometida a ensayo de tracción se presenta en la Figura 9, donde se observa la fractura de las fibras debido al ensayo de tracción, al igual que algunas pequeñas zonas blancas (impurezas) de donde se infiere que aparecen a causa de posibles sustancias o contaminantes que se han adherido al material, como grasas, ceras o el mismo recubrimiento empleado para el análisis y que son visibles desde la micrografía.

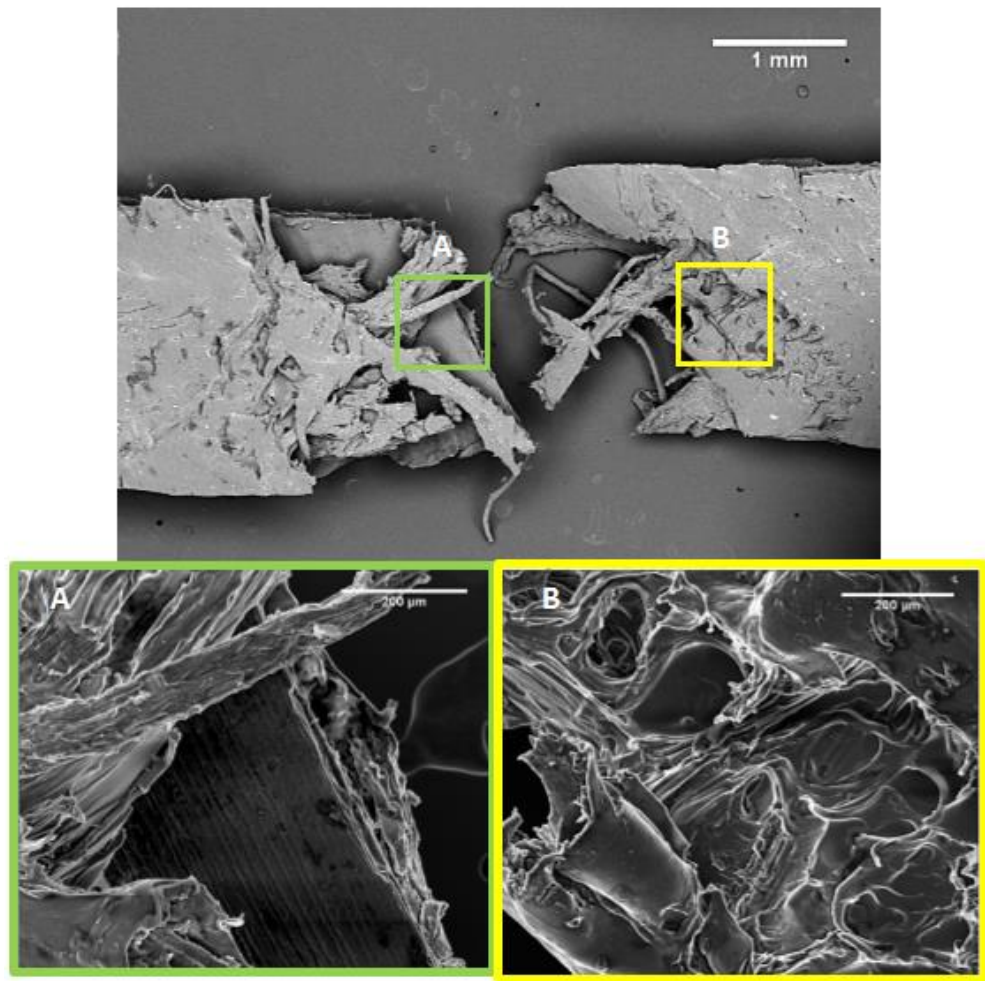
Figura 8. Micrografía SEM de la muestra sometida a ensayo de tracción.



Fuente: Equipo Quanta Feg 650.

En la Figura 10 se puede observar la matriz (gelatina) así como el refuerzo (fibras obtenidas de los residuos de la cosecha el plátano). Las fibras de plátano, al igual que todas las fibras naturales, están formadas por materiales celulósicos y no celulósicos que a su vez poseen varias celdas con microfibrillas unidas por un material o cemento intercelular como la lignina y la hemicelulosa [18]. Es así, como se pueden observar cavidades en las paredes celulares de las fibras debido al obstáculo de la lignina, también fibras tipo hilo y rendijas con un tamaño promedio de 15 μm , tal como lo reporto Satyanarayana [19]; lo que infiere que tras el tratamiento químico quedó parte de lignina.

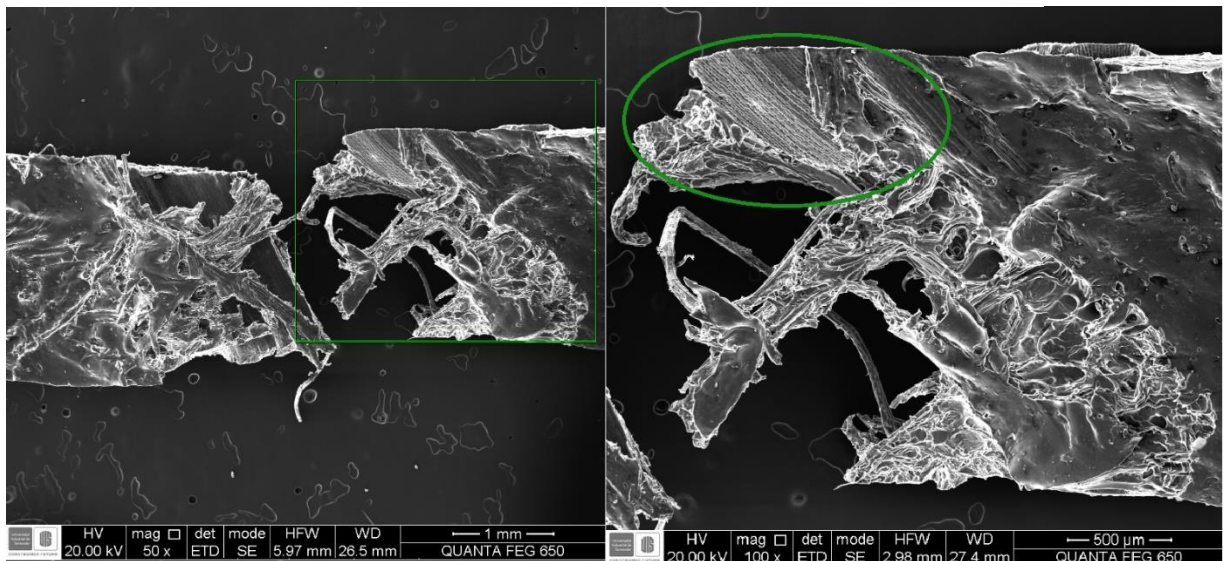
Figura 9. Microscopia Detallada



Fuente: Equipo Quanta Feg 650.

A partir de la Figura 11 se analiza la fractura de la muestra por efectos del ensayo de tracción, se observa el direccionamiento de las fibras provocado por el ensayo de tensión, donde la elongación es longitudinal y las tensiones máximas de corte actúan sobre planos orientados a 45° del eje de tensión. Estas tensiones de corte son las responsables del proceso de deformación plástica. Por lo tanto, se observa el comportamiento claro de un material dúctil sometido a tracción donde se comenzará a fracturar según estos planos, dando como resultante una superficie rugosa, y un borde dúctil a 45°.

Figura 10. Microscopia de Fisura



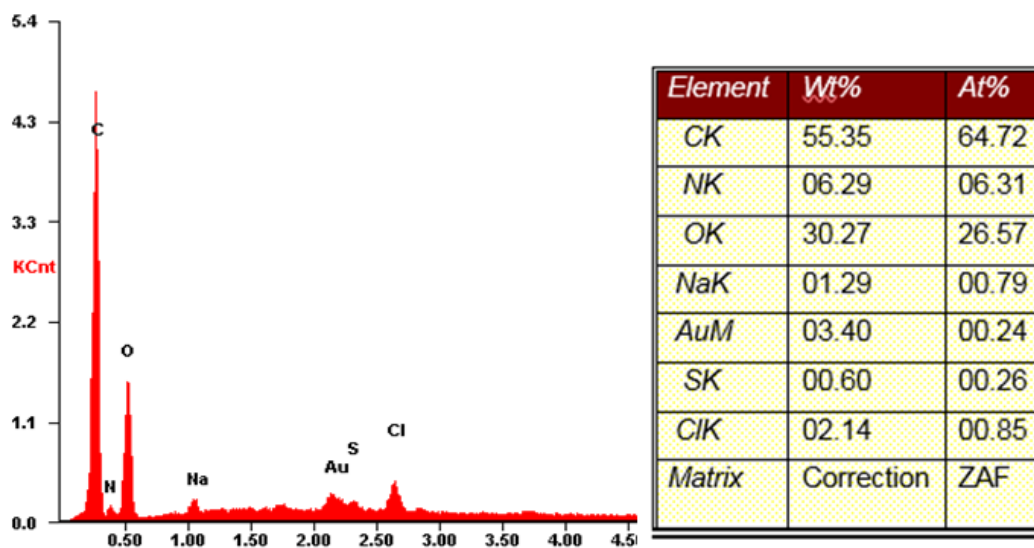
Fuente: Equipo Quanta Feg 650.

3.4.2 Caracterización Química. La caracterización química se realizó con el fin de obtener la composición, estructura, propiedades (Temperatura, Color, entre otras).

3.4.2.1. Análisis micro elemental SEM-ED. A partir de los resultados del microanálisis elemental EDS, los cuales se observan en la Figura 12, se evidencian los elementos presentes en un área de la superficie de la muestra del compuesto,

se revela la presencia heterogénea de elementos. Este resultado semicuantitativo permitió inferir que se tienen mayores valores de carbono y oxígeno incorporados en el compuesto, lo cual es acorde a lo esperado, ya que las fibras de plátano están formadas por una cadena celobiósica y el aglutinante por una cadena proteica. La presencia de elementos como Au, S, Cl, Na, probablemente corresponda a remanentes de las sustancias empleadas para el tratamiento de la fibra que no se eliminaron durante la realización de los lavados, así como el recubrimiento empleado para hacer el análisis.

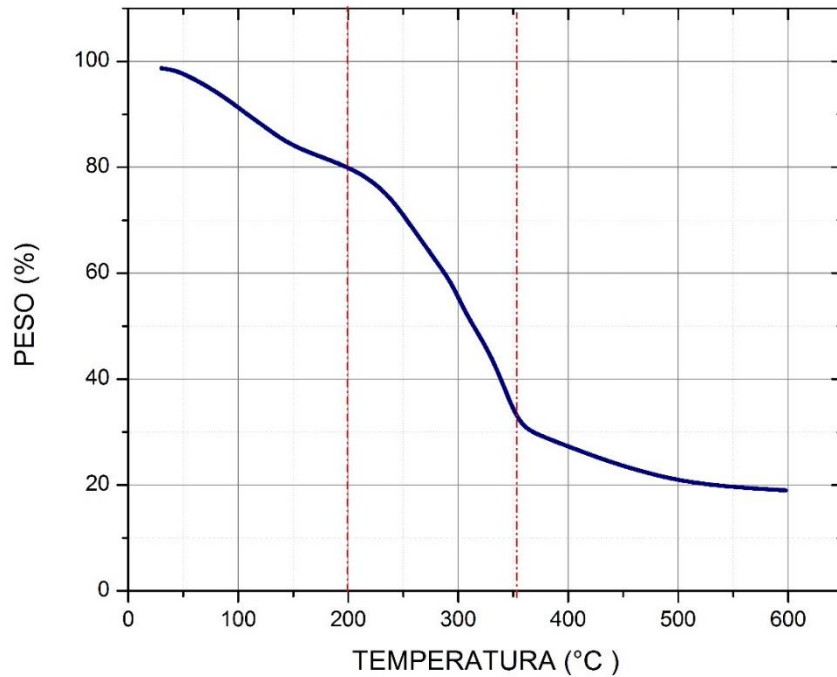
Figura 11. Microanálisis elemental EDS del compuesto



Fuente: Equipo Quanta Feg 650.

3.4.2.2 Análisis Termogravimétrico – TGA. La figura 13 muestra la pérdida de peso del material compuesto en función de la temperatura. En el análisis termogravimétrico se observa una descomposición multietapa en donde se evidencian tres regiones de pérdida de peso principalmente (Figura 13).

Figura 12. Porcentaje Peso vs Temperatura



En la primera región se observa una pérdida de masa que empieza desde los 40 °C hasta 200 °C, que obedece a la eliminación de humedad de la muestra, así como el inicio de la descomposición de la fibra que empieza por la hemicelulosa a los 180° C, con una pérdida de peso de 19%; una segunda región donde ocurre la principal descomposición con un decaimiento comprendido entre los 200 °C hasta los 355 °C, con una pérdida de masa del 50%, ocasionado por la degradación térmica de hemicelulosa [28]; celulosa a los 240 °C, que ocurre en dos etapas: la primera ocurre por la ruptura de enlaces y generación de radicales libres, grupos carboxilos y carbonilos, además de carbón provocando la reducción de la longitud de la cadena. Y una segunda etapa consistente en la despolimerización de la celulosa por ruptura de unidades glucosídicas y formación de levoglucosano [20], y lignina a 280°C, componentes principales de las fibras lignocelulósicas tal y como lo reporta Mohan (Ver Anexo A) [6]. Por último, la tercera región entre los 360 – 600 °C, con una pérdida de masa de 13,4%, rango correspondiente a la degradación de la lignina, algunos polisacáridos y las sustancias inorgánicas, quienes son las responsables

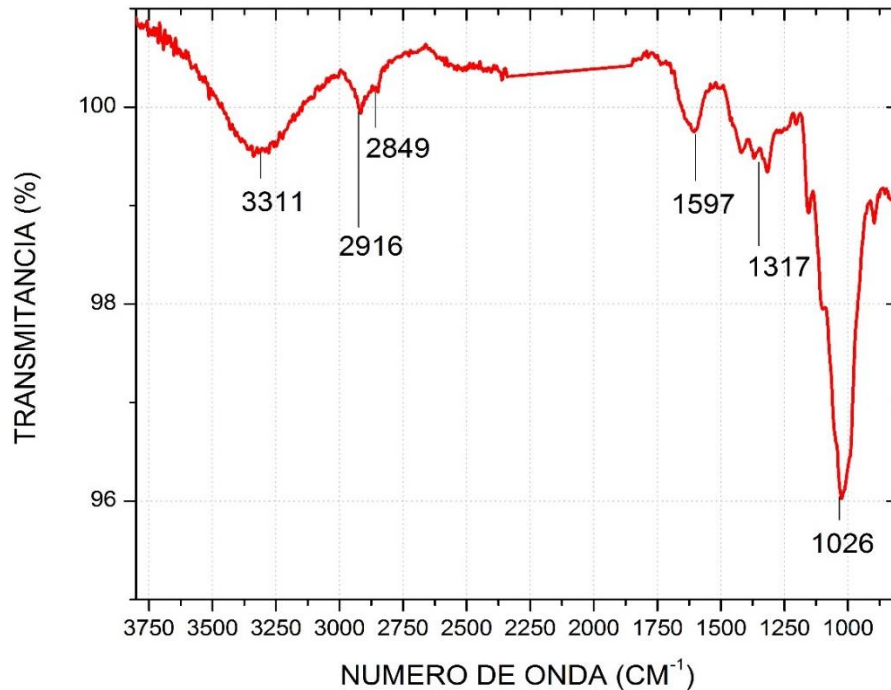
de la continuidad del proceso degradativo que ocurre a temperaturas por encima de 550 °C [21].

El pico de temperatura de degradación fue determinado a partir de la derivada de la curva termogravimétrica (Ver Anexo B) cuyo valor es de 340, 35 °C y corresponde a la temperatura a la cual se detectó la máxima tasa de descomposición.

3.4.2.3 Análisis FTIR. Posterior a los procesos de degradación del material se realizan espectros infrarrojos por transformadas de Fourier para determinar los estados de vibración y por consiguiente los grupos funcionales presentes en las fibras de plátano después del tratamiento químico, tal como lo muestra la Figura 14. Considerando que las fibras naturales están compuestas en su mayoría por celulosa, hemicelulosa y lignina, experimentalmente se determinó la presencia de estos compuestos.

Se evidencia el plano vibratorio aromático C=C de las bandas correspondientes a la lignina, que están en 2916 cm^{-1} ; de igual manera se encuentran señales pertenecientes a C-O-C de éter glicosídico en 3311 cm^{-1} , $2848,85\text{ cm}^{-1}$, 1317 cm^{-1} y $1026,12\text{ cm}^{-1}$, de componentes polisacáridos de la celulosa, lo cual es consistente con los resultados presentados por Rodríguez [22]. También, se observan rastros al estiramiento en tensión de los enlaces carbonilo -C=O, pues se mantiene la banda de 1597 cm^{-1} , correspondiente a la hemicelulosa [23,24]. Se logró determinar que hay reducción de lignina, pero aun poseen rastros de esta y de hemicelulosa en comparación a los resultados presentados por Rodríguez [22] para las fibras de plátano sin tratamiento.

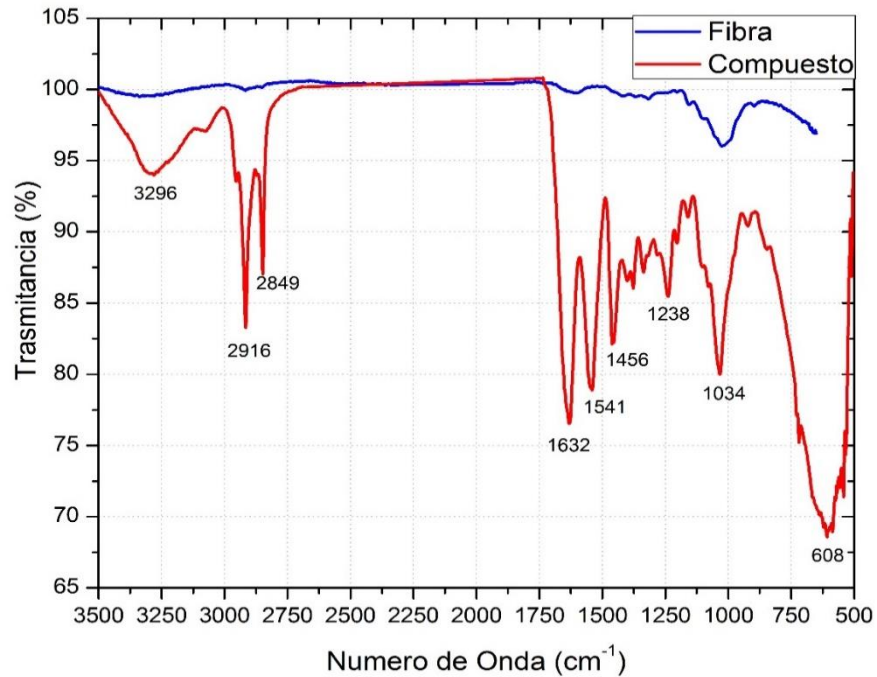
Figura 13. Transmitancia vs Número de Onda de las fibras de plátano



Fuente: Equipo Shimadzu IRTracer-100

En la Figura 15 se evidencian espectros en los números de onda correspondiente a los estados de vibración propios de la celulosa, hemicelulosa y lignina que fueron intensificados respecto a las señales presentadas por la fibra con tratamiento químico, debido a la incorporación de los aglutinantes (gelatina tipo C + glicerina) que son un tipo de elastómeros de base biológica [25], funcionan como un polímero natural que a su vez contiene abundantes grupos hidrófilos en las cadenas, como amino, hidroxilo y carboxilo. Por lo anterior, se puede explicar la formación de una gran cantidad de enlaces de hidrógeno fuertes entre los grupos hidroxilo de la fibra [26], la glicerina por su parte posee una gran cantidad de grupos hidroxilo, que pueden alterar los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de la gelatina, facilitando la movilidad de estos grupos polarizados en la gelatina como lo reporta Nanying [25], razón por la cual se hace posible la interacción entre las fibras y el aglutinante.

Figura 14. Transmitancia vs Número de Onda de las fibras y el compuesto



Fuente: Equipo Shimadzu IRTracer-100

Así mismo, cabe resaltar que hay más carbonos disponibles para enlaces simples que para enlaces dobles, lo cual se evidencia en el ensanchamiento de la banda de 1456 cm^{-1} hasta 608 cm^{-1} y la no presencia de señales fuertes en el número de onda del doble enlace, si no la presencia de estiramientos de este en 1632 y 1541 cm^{-1} . Por otro lado, se observa la intensificación de la señal de los enlaces con hidrógeno presentes en 3296 cm^{-1} al igual que la señal del estiramiento del enlace C-H en 2916 Y 2849 cm^{-1} .

En conclusión, las propiedades obtenidas, permiten comparar el material compuesto conformado de la presente investigación con otros materiales reforzados con fibras naturales tales como la fibra de seda natural con una matriz de gelatina [27], este material posee características similares al compuesto de fibra de plátano, cuenta con un módulo de elasticidad de $0,65 \text{ GPa}$, una resistencia a la tracción de $44,5 \text{ MPa}$, un porcentaje de elongación de tan solo $8,2 \%$ y una dureza de 96 Shore

A. Según lo anterior, el material conformado por la fibra de plátano tiene mayor porcentaje de elongación, sin embargo, sus otras propiedades mecánicas son bajas en comparación con las realizadas por la investigación referenciada (Ver Tabla 4).

Tabla 4. Propiedades del Compuesto

<i>PROPIEDADES DEL COMPUESTO</i>		
<i>PROPIEDAD</i>	<i>VALOR</i>	<i>UNIDAD</i>
Punto de Fluencia	0,65	MPa
Módulo de Elasticidad	0,57	MPa
Resistencia a la Tracción	3,52	MPa
Punto de Ruptura	0,81	MPa
Resiliencia	0,37	MPa
Tenacidad	136,78	MPa
Ductilidad	537,23	%
Dureza	82,00	Shore A
Temperatura de Degradación	340,35	°C

4. CONCLUSIONES

- Se logró una matriz compuesta por gelatina tipo C y fibra celulosa obtenida de los desechos de la mata de plátano en proporción de 1:1, fabricada de forma manual, obteniendo una disposición aleatoria de las fibras y sin elementos sintéticos.
- Las propiedades mecánicas del compuesto son resistencia a la tracción de 3,52 MPa, un porcentaje de elongación equivalente al 56,23% con la capacidad de deformarse sin romperse, dureza 82 Shore A que clasifica al compuesto como un elastómero, las curvas de Esfuerzo vs Deformación obtenidas a partir del ensayo de tracción y las imágenes generadas en el SEM evidencian que el compuesto resultante se comporta como un material dúctil al estar las fibras en la ruptura a 45° mostrando la actuación de los esfuerzos cortantes internos máximos.
- El análisis termogravimétrico permitió identificar las temperaturas características del proceso de degradación térmica en tres regiones principales de pérdida de masa, de donde se resalta la segunda región con una descomposición del 50%; esta pérdida de masa constante dificulta tener información exacta de la temperatura de servicio; además se encontró el pico de temperatura de degradación cuyo valor es 340 °C. Por otro lado, la espectroscopia FTIR permite corroborar junto con el microanálisis elemental SEM-EDS una presencia mayoritaria de carbono, así como los estados de vibración de la hemicelulosa, celulosa y lignina, propios de las fibras lignocelulósicas.
- Se evidenció que la relación entre las proporciones fibra aglutinante generan cambios en las propiedades mecánicas y químicas que influyen en los resultados de la caracterización del material.

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda explorar otros métodos de moldeo tales como la extrusión y moldeo por inyección que permiten obtener materiales con otro tipo de presentación, tales como hilos o películas y así ampliar sus aplicaciones.

Con el propósito de mejorar las propiedades del compuesto, se recomienda aumentar el tiempo de exposición al tratamiento químico con NaOH, así como su concentración para garantizar la eliminación completa del contenido de lignina y hemicelulosa con el objetivo de mejorar la calidad de la fibra y las propiedades del material. Además, se recomienda evaluar otros tipos de tratamientos químicos con anhídrido acético, epiclohidrina y la mezcla de ambos químicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] PUJARI, Satish; KUMAR, Suresh. Comparison of yute and banana fiber composites: A review. En: International Journal of Current Engineering and Technology. Febrero, 2014, p. 121-126.
- [2] ARAUJO, J, et al. Biomicrofibrillar composites of high density polyethylene reinforced with curauá fibers: Mechanical, interfacial and morphological properties. En: Composites science and technology, 2010, vol. 70, no 11, p. 1637-1644.
- [3] SIGDOC. Cifras sectoriales plátano. Bogotá, 2016.
- [4] M.D, Salvador, et al. Valorización de residuos de fibras vegetales como refuerzo de plásticos industriales. I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, 2008.
- [5] MAZZEO MENESES, Miguel, et al. Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de caldas. [Base de datos en línea]. Junio de 2010. Revista Educación en Ingeniería, 9 (2), 128-139. (Recuperado en 17 mayo 2017). Disponible en <https://goo.gl/Lgr5LW>
- [6] BENAZCO ÁNGEL, Lohengrin David. Preparación y caracterización de fibras naturales. Tenerife, 2015, p (22). Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad de la Laguna. Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología.
- [7] B, Bharath, et al. Property Evaluation of Banana Fiber reinforced Polymer Composites. En: Composites science and technology, 2015, vol. 10, no 13, p. 5483-5485.

- [8] RODRÍGUEZ SEPÚLVEDA, Lady Joana. Formular alternativas basadas en tecnología de acumulación para el uso eficiente de la cadena de valor del plátano. Manizales, 2011. Trabajo de grado (Ingeniera Industrial). Universidad Nacional de Colombia.
- [9] CUEVAS CARBALLO, Zujey Berenice. Obtencion y caracterizacion de almidones termoplasticos obtenidos a partir de almidones injertados con poliesteres biodegradables. Yucatán, 2017. Trabajo de grado (Doctor en Ciencias Materiales Poliméricos).Centro de Investigacion Cientifica de Yucatán.
- [10] BALLESTEROS, M, et al. Sintesis in- situ de nanopartículas de peróxido de zinc sobre fibras de plátano con potencial en la industria textil. En: Revista Mutis, 2017, vol 7, no 2, p. 23-32.
- [11] BOOPALAN, M, et al. Study on the mechanics properties and thermal properties of jute and banana fiber reinforced epoxy hybrid composites.En: Composites: Part B, 2013, vol 51, no 3, p. 54-57.
- [12] S.M, Noorbakhsh-Soltani, et al. A comparative study of gelatin and starch-based nanocomposite films modified by nano-cellulose and chitosan for food packaging applications. En Carbohydrate Polymers, 2018, vol 189, p. 48-55.
- [13] ZAMAN, Haydar, et al. Banana fiber-reinforced polypropylene composites: A study of the physico-mechanical properties.En: Fibers and Polymers, 2013, vol 14, no 1, p. 121–126.
- [14] RODRÍGUEZ SEPÚLVEDA, Lady Joana. Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano. Manizales, 2014. P (29). Tesis de grado (Magister en Ingeniería Industrial).Universidad Nacional de Colombia.

- [15] MEJÍA OSORIO, Julio César, et al. The influence of alkali treatment on banana fibre's mechanical properties. En: Ingeniería e Investigación, 2012, vol 32, no 1, p. 83-87.
- [16] RODRÍGUEZ SEPÚLVEDA, Lady Johana; ORREGO ALZATE, Carlos Eduardo. Aplicaciones de mezclas de biopolímeros y polímeros sintéticos: revisión bibliográfica. En: [Base de datos en línea]. Mayo de 2016. Revista Científica, 25, 252-264. (Recuperado 16 noviembre 2017). Disponible en <https://goo.gl/TLLC3R>
- [17] AYALA CORREA, Jorge Alfonso; BARBOSA FONTECHA, Cristian Alejandro. Determinación de la resistencia a la tracción y tenacidad de un material compuesto a partir de bagazo de caña de azúcar y almidón de yuca, a través de los ensayos de tensión y de impacto charpy, 2014. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Santo Tomás. Facultad de Ingeniería Mecánica.
- [18] MARIARRI V, Vilay, et al. Effect of fiber surface treatment and fiber loading on the properties of bagasse fiber- reinforced unsaturated polyester composites. En Renewable Energy Center, 2008, vol 68, no 4, p. 631-638.
- [19] SATYANARAYANA G, Kestur. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers. En: Progress in Polymer Science, 2009, vol 34, no 9, p. 982-1021.
- [20] CANTERO, Guillermo, et al. Effects of fibre treatment on wettability and mechanical behaviour of flax/ polypropylene composites. En: Composites Science and Technology, 2009, vol 63, no 9, p. 1247-1254.
- [21] BETANCOURT, Santiago, et al. Degradación térmica de fibras naturales procedentes de la calceta de plátano. (Estudio cinético). [Base de datos en línea].

Enero de 2009. Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, 29 (2), 215-219. (Recuperado en 23 septiembre 2017). Disponible en <https://goo.gl/3jVAGf>

[22] RODRÍGUEZ, Erwin, et al. Obtención y caracterización de la carboximetil celulosa a partir del pseudotallo de plátano musa paradisiaca. [Base de datos en línea]. Diciembre de 2011. Revista Iberoamericana de Polimeros, 12 (6), 317-323. (Recuperado en 20 abril 2018). Disponible en <https://goo.gl/7Coziy>

[23] GARSIDE, Paul; WYETH, Paul. Identification of cellulosic Fibres by FTIR spectroscopy-Thread and single Fibre analysis by attenuated total reflectance. En: Studies in Conservation, 2013, vol 48, no 4, p. 269-275.

[24] SAVASTANO JUNIOR, Holme, et al. Sustainable and nonconventional construction materials using inorganic bonded fiber composites. India: MPS, 2017. P. 87. ISBN 978-0-08-102002-9

[25] NANYING, Ning, et al. Enhanced electromechanical performance of bio- based gelatin/glycerin dielectric elastomer by cellulose nanocrystals. En: Carbohydrate Polymers, 2015, vol 130, no 5, p. 262-267.

[26] CHENG YU, Ming, et al. Study on physical properties and nerve cell affinity of composite films from chitosan and gelatin solutions. En Biomaterials, 2003, vol 24, No 17, p. 2871-2880.

[27] QUAZI TH, Shubhra, et al. Mechanical and degradation characteristics of natural silk fiber reinforced gelatin composites. En Materials Letters, 2011, vol 65 no 2, p. 333-336.

[28] CARRIER M., et al. Thermogravimetric analysis as a new method to determine the lignocellulosic composition of biomass. *En Biomass and Bioenergy*, 2011, vol 35, p. 298-307.

BIBLIOGRAFIA

ARAUJO, J, et al. Biomicrofibrilar composites of high density polyethylene reinforced with curauá fibers: Mechanical, interfacial and morphological properties. En: Composites science and technology, 2010, vol. 70, no 11, p. 1637-1644.

AYALA CORREA, Jorge Alfonso; BARBOSA FONTECHA, Cristian Alejandro. Determinación de la resistencia a la tracción y tenacidad de un material compuesto a partir de bagazo de caña de azúcar y almidón de yuca, a través de los ensayos de tensión y de impacto charpy, 2014. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Santo Tomás. Facultad de Ingeniería Mecánica.

B, Bharath, et al. Property Evaluation of Banana Fiber reinforced Polymer Composites. En: Composites science and technology, 2015, vol. 10, no 13, p. 5483-5485.

BALLESTEROS, M, et al. Síntesis in-situ de nanopartículas de peróxido de zinc sobre fibras de plátano con potencial en la industria textil. En: Revista Mutis, 2017, vol 7, no 2, p. 23-32.

BENAZCO ÁNGEL, Lohengrin David. Preparación y caracterización de fibras naturales. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad de la Laguna. Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología, Tenerife, 2015, p 22

BETANCOURT, Santiago, et al. Degradación térmica de fibras naturales procedentes de la calceta de plátano. (Estudio cinético). [Base de datos en línea]. Enero de 2009. Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, 29 (2), 215-219. (Recuperado en 23 septiembre 2017). Disponible en <https://goo.gl/3jVAGf>

BOOPALAN, M, et al. Study on the mechanics properties and thermal properties of jute and banana fiber reinforced epoxy hybrid composites. En: Composites: Part B, 2013, vol 51, no 3, p. 54-57.

CANTERO, Guillermo, et al. Effects of fibre treatment on wettability and mechanical behaviour of flax/ polypropylene composites. En: Composites Science and Technology, 2009, vol 63, no 9, p. 1247-1254.

CARRIER M., et al. Thermogravimetric analysis as a new method to determine the lignocellulosic composition of biomass. En Biomass and Bioenergy, 2011, vol 35, p. 298-307.

CHENG YU, Ming, et al. Study on physical properties and nerve cell affinity of composite films from chitosan and gelatin solutions. En Biomaterials, 2003, vol 24, No 17, p. 2871-2880.

CUEVAS CARBALLO, Zujey Berenice. Obtencion y caracterizacion de almidones termoplasticos obtenidos a partir de almidones injertados con poliesteres biodegradables. Trabajo de grado (Doctor en Ciencias Materiales Poliméricos). Centro de Investigacion Cientifica de Yucatán. Yucatán, 2017

GARSDIE, Paul; WYETH, Paul. Identification of cellulosic Fibres by FTIR spectroscopy-Thread and single Fibre analysis by attenuated total reflectance. En: Studies in Conservation, 2013, vol 48, no 4, p. 269-275.

M.D, Salvador, et al. Valorización de residuos de fibras vegetales como refuerzo de plásticos industriales. I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, 2008.

MARIARRI V, Vilay, et al. Effect of fiber surface treatment and fiber loading on the properties of bagasse fiber- reinforced unsaturated polyester composites. En Renewable Energy Center, 2008, vol 68, no 4, p. 631-638.

MAZZEO MENESES, Miguel, et al. Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de caldas. [Base de datos en línea]. Junio de 2010. Revista Educación en Ingeniería, 9 (2), 128-139. (Recuperado en 17 mayo 2017). Disponible en <https://goo.gl/Lgr5LW>

MEJÍA OSORIO, Julio César, et al. The influence of alkali treatment on banana fibre's mechanical properties. En: Ingeniería e Investigación, 2012, vol 32, no 1,p. 83-87.

NANYING, Ning, et al. Enhanced electromechanical performance of bio- based gelatin/glycerin dielectric elastomer by cellulose nanocrystals. En: Carbohydrate Polymers, 2015, vol 130, no 5, p. 262-267.

PUJARI, Satish; KUMAR, Suresh. Comparison of yute and banana fiber composites: A review. En: International Journal of Current Engineering and Technology. Febrero, 2014, p. 121-126.

RODRÍGUEZ, Erwin, et al. Obtención y caracterización de la carboximetil celulosa a partir del pseudotallo de plátano musa paradisiaca. [Base de datos en línea]. Diciembre de 2011. Revista Iberoamericana de Polimeros, 12 (6), 317-323. (Recuperado en 20 abril 2018). Disponible en <https://goo.gl/7Coziy>

RODRÍGUEZ SEPÚLVEDA, Lady Joana. Formular alternativas basadas en tecnología de acumulación para el uso eficiente de la cadena de valor del plátano. Trabajo de grado (Ingeniera Industrial). Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 2011

RODRÍGUEZ SEPÚLVEDA, Lady Joana. Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano. Tesis de grado (Magister en Ingeniería Industrial). Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 2014, p.29.

RODRÍGUEZ SEPÚLVEDA, Lady Johana; ORREGO ALZATE, Carlos Eduardo. Aplicaciones de mezclas de biopolímeros y polímeros sintéticos: revisión bibliográfica. En: [Base de datos en línea]. Mayo de 2016. Revista Científica, 25, 252-264. (Recuperado 16 noviembre 2017). Disponible en <https://goo.gl/TLLC3R>

S.M, Noorbakhsh-Soltani, et al. A comparative study of gelatin and starch-based nanocomposite films modified by nano-cellulose and chitosan for food packaging applications. En Carbohydrate Polymers, 2018, vol 189, p. 48-55.

SAVASTANO JUNIOR, Holme, et al. Sustainable and nonconventional construction materials using inorganic bonded fiber composites. India: MPS, 2017. P. 87. ISBN 978-0-08-102002-9

SATYANARAYANA G, Kestur. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers. En: Progress in Polymer Science, 2009, vol 34, no 9, p. 982-1021.

SIGDOC. Cifras sectoriales plátano. Bogotá, 2016.

QUAZI TH, Shubhra, et al. Mechanical and degradation characteristics of natural silk fiber reinforced gelatin composites. En: Materials Letters, 2011, vol 65, N° 2, p. 333-336.

ZAMAN, Haydar, et al. Banana fiber-reinforced polypropylene composites: A study of the physico-mechanical properties. En: Fibers and Polymers. vol. 14, N°1, 2013. p. 121–126.

ANEXOS

Anexo A. Parámetros físicos más importantes de algunas fibras naturales

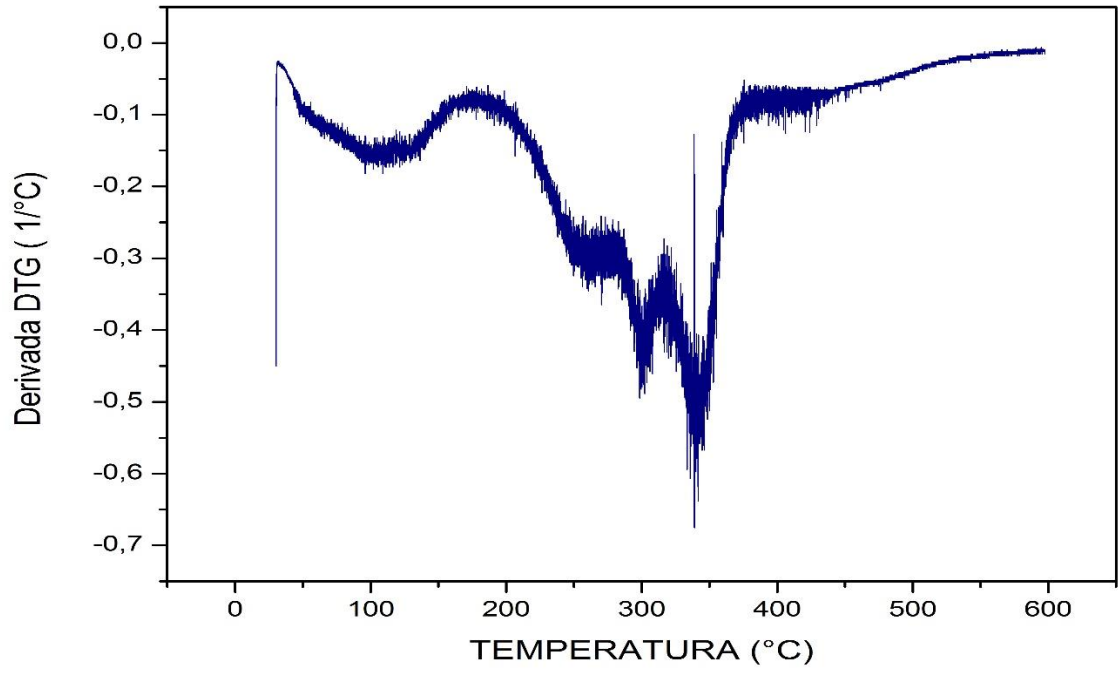
Tabla 5. Parámetros físicos de algunas fibras naturales

Fibra	Densidad (g/cm³)	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Humedad (%)
Cañamo	1,48	88 – 90	7 – 10	1,5 – 2	3,5 – 8
Sisal	1,45	65	12	9,9	10
Plátano	1,35	63 – 64	19	5	10 – 11
Piña	1,53	81	-	12,7	13,5

Fuente: Referencia [6]

Anexo B. Derivada de la curva termogravimétrica

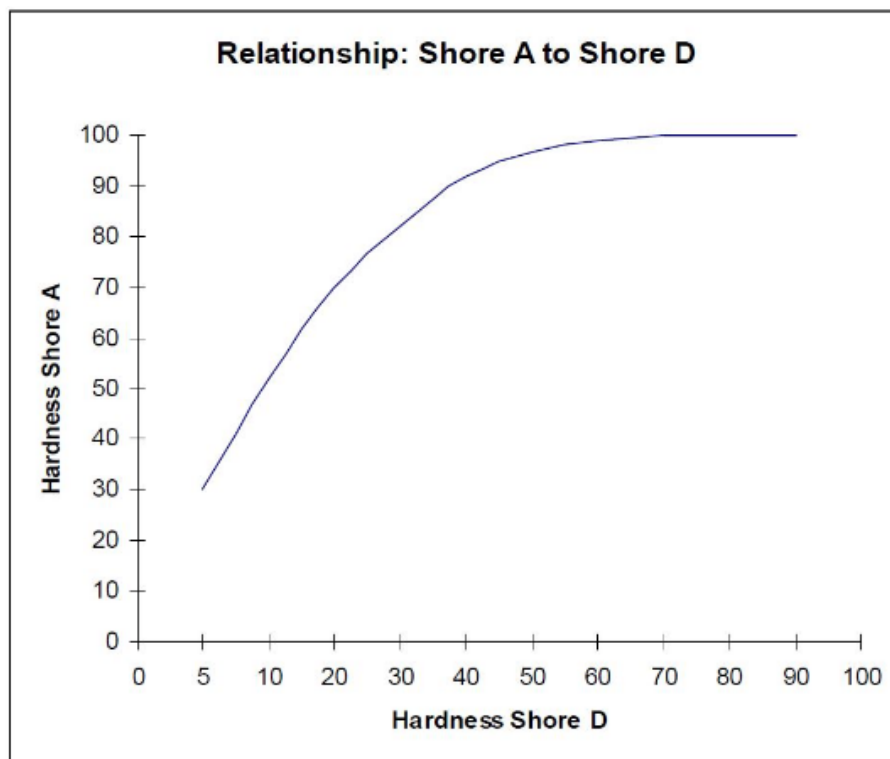
Figura 15. Derivada de la curva termogravimétrica



Anexo C. COMPARACIÓN DUREZA SHORE A HASTA SHORE D

Los elastómeros termoplásticos se miden en Shore A y Shore D según ISO 868. La dureza Shore es una medida de la resistencia de un material a la penetración de una aguja bajo una fuerza de resorte definida. Se determina como un número de 0 a 100 en las escalas A o D. Cuanto mayor sea el número, mayor será la dureza. La letra A se utiliza para los tipos flexibles y la letra D para los tipos rígidos. Sin embargo, los rangos se superponen. Este gráfico muestra una comparación de las escalas Shore de dureza A y D para materiales de Apilon 52 TPU. La dureza de la orilla se reduce a medida que aumenta la temperatura.

Figura 16. Relación Shore A vs Shore D



Mineral Elastomer (2018). Comparación Dureza Shore A hasta Shore D. [Figura]

Disponible en: <https://goo.gl/eUgcnz>