

DecoCalma: desarrollo de un producto para revestimiento de interiores a partir de  
compuestos de fibra natural

Presentado por:

Angie Lorena Gallego Medina

Asesores Académicos:

Juan Manuel España y Andrés Téllez

Proyecto de grado para optar por el título de Diseñadora Industrial  
Grupo de estudio de fibras naturales del semillero de diseño, pensamiento y creación

Universidad Jorge Tadeo Lozano

Facultad de Artes y Diseño

Bogotá, mayo 2019

## Resumen

El interés actual en utilizar fibras naturales como refuerzo de materiales compuestos se debe a la creciente preocupación por la preservación del medio ambiente, lo que ha posicionado a los compuestos de fibras naturales (NFC: composite natural fiber) como una solución viable para el reemplazo eficiente de fibras sintéticas que son fuente de contaminación. En el presente proyecto se estudió y desarrolló un compuesto de fibras vegetales con el fin de identificar opciones de aprovechamiento en el desarrollo de productos y aplicaciones, usando como estrategia metodológica el modelo de diseño del doble diamante. Se realizó una investigación basada en artículos científicos y reseñas sobre los procesos de elaboración, estudios de sus propiedades y las aplicaciones de estos compuestos en diferentes industrias, esto con el fin de realizar pruebas para la fabricación de un NFC y su aplicación en el desarrollo de un producto para revestimiento de interiores con propiedades de absorción y difusión acústica. Este proyecto evidencia que los campos de aplicación de los NFC en la industria son amplios y tienen pocas limitantes, sus propiedades los hacen una solución viable para el reemplazo de materiales petroquímicos y otros que son fuente de contaminación, principalmente en la industria de construcción, automotriz y geotextil.

*Palabras claves:* Fibras vegetales. Materiales compuestos. Compuestos de fibra natural. Polímeros. Revestimiento.

## Tabla de contenido

<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1. Definición del Problema .....	2
1.2. Justificación .....	2
1.1. Alcances .....	3
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>4</b>
2.1. Objetivo General .....	4
2.2. Objetivos Específicos.....	4
<b>3. Marco de Referencia.....</b>	<b>4</b>
3.1. Marco Teórico.....	4
3.2. Estado del Arte.....	8
3.2.1. Artículos científicos sobre NFC.....	8
3.2.1.1. Environmental performance of kenaf-fiber reinforced polyurethane: a life cycle assessment approach .....	9
3.2.1.2. Eco-design of automotive components making use of natural jute fiber composites.....	10
3.2.1.3. Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticas.....	11
3.2.1.4. Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz .....	12
3.2.1.5. Compuestos de fibra de hoja de piña fabricados mediante moldeo por compresión por capas.....	13
3.2.1.6. Charpy impact tenacity of epoxy matrix composites reinforced with aligned jute fibers.....	15
3.2.1.7. Comparative Study of Dielectric Properties of Hybrid Natural Fiber Composites..	16
3.2.1.8. Comparison between tensile behavior of epoxy and polyester matrix composites reinforced with eucalyptus fibers .....	17
3.2.1.9. Effects of Fibre Configuration on Mechanical Properties of Banana Fibre/PP/MAPP Natural Fibre Reinforced Polymer Composite .....	18
3.2.1.10. Experimental data on the properties of natural fiber particle reinforced polymer composite material .....	19
3.2.1.11. Free Vibration Characteristics of Banana/Sisal Natural Fibers Reinforced Hybrid Polymer Composite Beam.....	10
3.2.1.12. Impact Property of Flexible Epoxy Treated Natural Fiber Reinforced PLA Composites.....	21
3.2.1.13. Improving the Properties of Banana Fiber Reinforced Polymeric Composites by Treating the Fibers .....	22
3.2.1.14. Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites.....	23

3.2.2. Productos hechos con NFC que circulan actualmente en el mercado.....	25
3.2.2.1. Aplicación en la industria.....	25
3.2.2.2. Aplicación en la industria geotextil.....	26
3.2.2.3. Aplicación en la industria automotriz .....	27
3.2.2.3. Aplicación en la industria de la construcción.....	30
<b>4. Metodología .....</b>	<b>34</b>
4.1. Estrategia Metodológica .....	34
4.1.1. Modelo de diseño del doble diamante.....	34
4.1.2. Definición de las etapas .....	35
4.2. Métodos.....	35
4.2.1. Descubrir.....	36
4.2.2. Definir.....	46
4.2.3. Desarrollar .....	37
4.2.4. Entregar.....	49
<b>5. Resultados.....</b>	<b>40</b>
5.1. Investigación .....	40
5.2. Desarrollo de producto.....	44
<b>6. Conclusiones .....</b>	<b>47</b>
6.1. Direcciones futuras .....	48
<b>7. Glosario.....</b>	<b>50</b>
<b>8. Referencias.....</b>	<b>52</b>

## Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Aplicaciones de compuestos de fibra natural en diferentes industrias</i> .....	28
Tabla 2. <i>Autopartes de compuestos de fibra natural en la industria automotriz</i> .....	31
Tabla 3. <i>Tratamientos estudiados en los artículos científicos sobre NFC</i> .....	40
tabla 4. <i>Normas ASTM empleadas para comprobaciones mecánicas de NFC</i> .....	41

## Lista de Figuras

<i>Figura 1. Compuesto de fibra natural aplicado a panel de puerta interior en la industria automotriz</i> .....	33
<i>Figura 2. Paneles fabricados por Environ Biocomposites LLC y FlexForm</i> .....	34
<i>Figura 3. Modelo de diseño del Doble Diamante</i> .....	37
<i>Figura 4. Modelo de diseño trabajado en el proyecto a partir del doble diamante</i> .....	39
<i>Figura 5. Bocetos de propuesta formal del producto</i> .....	38
Figura 6. Modelo 3D elaborado en software Rhinoceros e impresión 3D a escala 1.4 .....	38
Figura 7. Fotografía de impresión 3D en cuatro partes y positivo del molde con acabados	39
Figura 8. Fotografía del molde en caucho de silicona .....	39
Figura 9. Formula y proceso de elaboración de NFC .....	43
Figura 10. Fotografía del panel final en olote de maíz y paneles en conjunto formando el patrón .....	45
figura 11. Secuencia adaptada de las cintas command 3M a la instalación del panel .....	46
Figura 12. Tebico: Dispositivo para transformar biopolímeros .....	47



## 1. Introducción

Este proyecto de grado está directamente vinculado al grupo de estudio de fibras naturales del semillero de diseño, pensamiento y creación. Y es parte de un proceso investigativo mancomunado, que busca aportar y fortalecer a la generación de conocimiento en el campo de fibras vegetales, posicionando a la escuela de diseño de producto y al programa de diseño industrial de la Universidad Jorge Tadeo Lozano en la vanguardia de la investigación en este campo. El autor de este documento es miembro activo del semillero.

Hoy en día las fibras naturales son una alternativa de materiales ecológicos de bajo costo que pueden ser un componente importante para la solución al uso de compuestos poliméricos debido a su naturaleza renovable y ecológica. Las fibras naturales ofrecen una serie de ventajas sobre otros materiales, tales como baja densidad, relación de módulo de peso aceptable, mayor amortiguación acústica, menos emisión de dióxido de carbono y la biodegradabilidad (Carvalho et al., 2016). La inclusión de fibras naturales como refuerzo de materiales compuestos ha sido estudiada ampliamente en las últimas dos décadas y su uso se ha incrementado, ya que el interés de los consumidores es cada vez mayor y son más conscientes de la necesidad de productos sostenibles (Guerrero, 2013; Carvalho et al., 2016). Algunos ejemplos de aplicaciones de materiales compuestos con fibras naturales (NFC) registrados en la literatura son productos para construcción, automóviles, aeronaves, geotextiles, calzado, envases y filtros, entre otros. Contemplados como avances significativos en los que aún existe un gran campo de estudio para continuar explorando las propiedades y aplicaciones de compuestos con fibras naturales.

## **1.1 Definición del problema**

La utilización de fibras sintéticas para el reforzamiento de polímeros, si bien mejoran las cualidades del plástico, representan un costo ambiental por el alto consumo de recursos energéticos y naturales requerido para su producción, así como por la dificultad de reciclar o separar tales materiales. Por lo tanto, las fibras vegetales se constituyen como una interesante alternativa para disminuir el uso de estas fibras sintéticas en materiales compuestos. En la literatura se evidencia el aprovechamiento de materiales compuestos de fibra natural (NFC: composite natural fiber) principalmente en el área automotriz, geotextil y de construcción, donde son empleados para el desarrollo de partes interiores no estructurales. Dichos materiales poseen características que se pueden continuar aplicando en otros productos donde se evidencie su potencial físico y estético.

Para esta investigación, se seleccionaron diversas fibras vegetales que actualmente son de interés en el grupo, procedentes de una variedad de residuos de uso industrial y natural, tales como, olote de maíz *Zea mays*, fique *Agave* y algas rojas *Rhodophyta*. La utilización de diferentes productos residuales lleva como fin generar un menor impacto ambiental e incentivar el desarrollo de nuevas alternativas para la disminución del uso de materiales petroquímicos.

## **1.2 Justificación**

El aprovechamiento integral de los recursos vegetales y un estudio de referentes para posibles aplicaciones en el desarrollo de producto, son fundamentales para la implementación de alternativas viables que permitan reemplazar materiales sintéticos o cuyas materias primas son derivadas del petróleo, permitiendo el aprovechamiento de una

mayor cantidad de la producción de fibras vegetales, aportando un valor agregado a lo que es considerado desecho en este sector y brindando así una mejor calidad de vida para la comunidad agrícola. Adicionalmente, El desarrollo de nuevos materiales compuestos con fibras naturales y el estudio sobre sus posibles aplicaciones en producto, es importante debido a la creciente preocupación ambiental, la alta tasa de disminución de los recursos petroleros y las nuevas políticas ambientales, que han forzado la búsqueda de materiales compuestos verdes, que estén en sintonía con el medio ambiente (Abilash, 2013). Por lo tanto, el estudio realizado durante los últimos años sobre fibras naturales como refuerzo en polímeros es fundamental como una solución material frente al uso del plástico debido al beneficio ambiental de estos, el cual radica en un menor consumo energético y en las emisiones contaminantes en su producción y transporte.

### **1.3. Alcances**

El propósito de este proyecto es desarrollar productos a partir de las ventajas y características de los materiales compuestos con fibra vegetal. Para esto es fundamental el levantamiento de información sobre los estudios realizados acerca de tratamientos y procesos de elaboración de los NFC, además de las áreas industriales en las que están siendo aplicados estos compuestos. Esta información servirá de guía para la elaboración del material que será aplicado a un producto teniendo en cuenta sus características y las industrias actuales. Finalmente se realizará una guía basada en estudios anteriores de pruebas químicas para mejorar las propiedades físicas y como retardante de llama de los compuestos.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo General**

Desarrollar un producto a partir de las propiedades y características de materiales compuestos de fibras naturales (NFC).

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Evidenciar en el producto los procesos de diseño que garantizan viabilidad y funcionalidad.
- Identificar las propiedades y características del material con el fin de proponer posibles usos de los compuestos elaborados.
- Establecer el estado del arte en los procesos de fabricación y transformación de NFC para el desarrollo del compuesto que será aplicado.

## **3. Marco de Referencia**

### **3.1. Marco Teórico**

Los materiales compuestos, han sido bien aceptados por la sociedad, por ser un producto derivado de la combinación de materiales simples que resultan con propiedades superiores (Guerrero et al., 2013), estos son en su mayoría elaborados con fibras sintéticas y productos derivados del petróleo. Están formados por el refuerzo y la matriz: lugar donde se encuentra el refuerzo y es distinguible a simple vista. A la matriz se suele adicionar refuerzos de otros materiales en forma de: fibras largas, cortas, partículas, etc., con la finalidad de elevar las propiedades mecánicas de ésta (Guerrero et al., 2013). Un ejemplo muy exitoso y referenciado de este tipo de materiales es la mezcla de resinas de poliéster con fibra de vidrio, obteniendo un material resistente, ligero y muy durable con diversas

aplicaciones (Groover, 1997). El uso de la fibra de vidrio se ha extendido por muchas latitudes durante décadas. Sin embargo, su impacto ambiental es complejo ya que sus componentes requieren una inversión energética alta para su producción, hasta 10 veces más que aquella requerida para procesar compuestos con fibras vegetales. Además, su separación con fines de reciclaje es compleja e ineficiente (Joshia, Drzal, Mohanty & Arora, 2004).

En consideración a lo anterior, surgen los materiales compuestos de fibras naturales como materiales novedosos para el siglo veintiuno, los cuales, pueden ser de gran importancia para el mundo, debido a que están surgiendo como una alternativa viable a los materiales compuestos constituidos con fibra de vidrio, de carbono o de aramida. Algunas de las ventajas de las fibras naturales en comparación con las sintéticas son: bajo costo, baja densidad, propiedades mecánicas específicas competitivas, excelente absorción de sonido, son más resistentes a roturas y tienen mejores características de gestión de energía que los materiales compuestos reforzados con fibra de vidrio (Mohanty, Wibowo, Misra & Drzal, 2004). Se han estudiado como refuerzo en diferentes tipos de matriz como lo son los materiales poliméricos, metálicos, cerámicos y de carbono, aunque la mayor parte de los compuestos utilizados en la industria hoy en día se basan en resinas poliméricas termoendurecible y termoplásticas (Taj, Munawar & Khan 2007).

El futuro de los materiales compuestos a base de fibras naturales parece ser brillante porque son más baratos, más ligeros y ambientalmente superiores a materiales compuestos de fibra de vidrio en general (Joshia et al., 2004). Se ha demostrado que, al final de su ciclo de vida cuando los materiales compuestos de fibra vegetal se someten al proceso de

combustión, la cantidad liberada de CO<sub>2</sub> de las fibras es neutral con respecto a la cantidad asimilada durante su crecimiento (Taj et al. 2007).

El desarrollo de materiales con fibras naturales en Colombia es un campo de gran potencial dada la gran diversidad de plantas a partir de las cuales se obtienen fibras con aplicaciones diversas. En Colombia se registran más de 248 especies de plantas, de las cuales, más de la mitad de éstas tienen usos artesanales y/o industriales con un legado sociocultural que impacta todo el territorio nacional, actualmente se reconocen 134 tipos de usos y productos artesanales (Linares, 1994). Sin embargo, son pocas las plantas en las que se ha profundizado con respecto a las características y beneficios que proporcionan en el momento de ser empleadas como refuerzo de materiales compuestos.

La fibra corta de fique *Agave*, el olote de maíz *Zea mays* y las algas rojas *Rhodophyta*, como casos de estudio, son seleccionados por ser productos residuales y en el caso de las algas por ser empleadas actualmente en la industria química. El fique *Agave* es una de las fibras con mayor presencia territorial y vinculación con comunidades en casi todo el territorio colombiano (España & Peña, 2013). Por las características de su fibra, el fique ha sido ampliamente estudiado como refuerzo en materiales compuestos.

Existen en el país cuatro empresas transformadoras del fique que constituyen el eslabón industrial de la cadena productiva de esta planta para la obtención de diferentes productos. El eslabón artesanal utilitario está compuesto por aproximadamente 66.480 productores, siendo entonces, el rendimiento productivo para Colombia de 1.18 toneladas por hectárea anuales (Hermida,2008). Estos productores solo utilizan el 4% de la fibra extraída, por lo que resulta necesario investigar alternativas para el manejo de los desechos de la

producción que representan el 96% y que constituyen fuente de contaminación en las regiones fiqueras (Linares, Galeano, García & Figueroa, 2008).

Con respecto al olote de maíz *Zea mays*, se trata de una de las primeras plantas que se domesticaron y se difundieron, consideradas como uno de los cultivos básicos más importantes y extendidos en todo el mundo (Sánchez, 2014). Por lo que se han realizado estudios que evidencian las cantidades de desechos generados en el área agroindustrial. En los cultivos de maíz se origina una gran cantidad de materia orgánica la cual, alrededor del 50% se cosecha en forma de grano y el porcentaje restante corresponde a residuos. (Peñaranda, Montenegro & Giraldo, 2017). En los que se encuentra el olote de maíz, del cual se genera una cantidad de aproximadamente 144 millones de toneladas por año (Córdoba et al., 2013). Este es considerado un subproducto agrícola renovable, ampliamente disponible y de bajo costo, pero con limitaciones para su uso, lo que ha conllevado a su quema o al esparcimiento de sus residuos a la intemperie, generando así, contaminaciones ambientales, por lo que es de gran importancia la búsqueda de nuevas soluciones (Hormaza, Figueroa & Moreno, 2012).

Entre las aplicaciones del olote que han sido reportadas en la literatura, se encuentra su uso como fertilizante y alimento en el área agrícola, además se han hallado estudios sobre tratamientos para la obtención de sus principales componentes y aplicaciones en compuestos químicos y absorbentes. A pesar de esto, las investigaciones sobre sus propiedades son escasas y no se han encontrado evidencias sobre la tusa del maíz como refuerzo en materiales compuestos, por lo tanto, se debe realizar un estudio más a fondo para comprobar sus potenciales y posibles aplicaciones.

Por último, las algas rojas *Rhodophyta*, son un grupo de algas con más de 4000 especies agrupadas en 650 géneros, que se caracterizan por tener pigmentos que enmascaran el color de las clorofilas y les confieren el color rojizo (Villalobos et al., 2007). Entre sus aplicaciones se han reportado estudios de esta planta como biosorción de metales pesados de aguas contaminadas (Basso, Cerrella & Cukierman, 2002) y como antioxidantes (Echavarría, Franco & Martínez, 2009), aunque su principal uso se encuentra en la extracción del agar y la carragenina. El agar es utilizado principalmente como base para los medios de cultivo microbiológicos (Villalobos et al., 2007) y la carragenina es empleada esencialmente en la industria alimentaria, por poseer la capacidad de formar diferentes texturas de gel a temperatura ambiente, además es usada como espesante, estabilizante, gelificante y para la retención de agua, entre otros. Cabe mencionar que ambas sustancias son ampliamente aplicadas en la industria alimenticia y farmacéutica a nivel mundial. No se han encontrado trabajos que estudien las propiedades de las algas como refuerzo de materiales compuestos, sin embargo, sus aplicaciones actuales muestran características interesantes que se podrían continuar aprovechando para la configuración de nuevos compuestos de fibras naturales.

### **3.2.Estado del Arte**

**3.2.1. Artículos científicos sobre NFC.** En el siguiente apartado se citarán los procesos y conclusiones de algunos documentos científicos, en los cuales, se han realizado diferentes estudios sobre fibras naturales como refuerzo en polímeros. Se tuvieron en cuenta los siguientes criterios para la selección de los documentos:

- Descripciones claras de mezclas de compuestos.
- Análisis de las características técnicas y ambientales de las fibras naturales en comparación a las fibras sintéticas.
- Estudio sobre métodos que mejoren la composición de polímeros reforzados con fibras vegetales.

***3.2.1.1. Environmental performance of kenaf-fiber reinforced polyurethane: a life cycle assessment approach***

*Batouli S, Zhu Y, Nar M & D'Souza N. (2014). Journal of Cleaner Production, 164-173*

Se estudiaron las propiedades mecánicas, térmicas y medioambientales que sobresalen del Kenaf *Hibiscus cannabinus*, así como aplicaciones exitosas de paneles estructurales aislados (SIP) hechos con placas de Kenaf. con el fin de crear edificios con materiales ambientalmente amigables. Para lo cual, se prepararon y analizaron tres compuestos hechos de poliuretano rígido (PU) reforzado con 0, 5, 10 y 15 por ciento de fibra de Kenaf. Adicionalmente se realizó un análisis del ciclo de vida para determinar el impacto ambiental con la norma ISO 14040, 2006.

El estudio concluyó que los métodos de fabricación son críticos para mantener las características térmicas y estructurales óptimas del material compuesto con Kenaf sin sacrificar su comportamiento medioambiental. Adicionalmente, se demostró que al aumentar la cantidad de fibra de Kenaf no necesariamente se disminuye el impacto ambiental, debido a que, para lograr la misma conductividad térmica se debe aumentar la densidad del material por lo que se ha traducido en más material tanto de PU como de

Kenaf, necesarios para proporcionar el mismo aislamiento, por lo que es necesario realizar más estudios con respecto al tema.

***3.2.1.2. Eco-design of automotive components making use of natural jute fiber composites.***

*Alves C, Ferrao P, Silva A, Reis L, Freitas M, Rodrigues L & Alves D. (2010). Journal of Cleaner Production, 313–327*

El trabajo demostró la posibilidad de utilizar fibras vegetales por medio de un estudio que investigó las mejoras ambientales relacionadas con la sustitución de fibra de vidrio por fibra de yute *Corchorus capsularis* para producir el capó frontal estructural de un vehículo todoterreno (Buggy).

Para el estudio se realizaron muestras con diferentes tratamientos de la fibra, como el secado, blanqueamiento y tratamiento con remojo en acetona durante 24 horas. Lo que demostró que el tratamiento de la fibra de yute determina en gran medida el impacto ambiental del producto. Con respecto a temas económicos, el yute cuesta alrededor de siete veces menos que la fibra de vidrio, mientras que los costos de producción son casi los mismos, debido a que es posible usar casi los mismos procesos de configuración y de producción tanto para la fibra sintética como la vegetal. El uso de fibra de yute también implica un menor consumo de combustible, por lo que significa una ventaja económica para el propietario del vehículo.

Con respecto al impacto ambiental, existen aún algunos impactos desconocidos en las fases de producción y eliminación de los capó, específicamente con el transporte de la fibra

y el reciclaje de estos. Algunos de los resultados, demostraron que los capos fabricados con yute tienen mejor rendimiento medio ambiental a su vez aquellos compuestos con fibras sintéticas, requieren de más energía para su producción, tienen un índice más elevado del daño en la salud humana y la calidad del ecosistema en comparación a la fibra de vidrio. Hoy en día en los EE. UU. más de 1.5 millones de vehículos utilizan NFC con fibras vegetales tales como el kenaf, cáñamo, yute, lino, sisal y polímeros termoplásticos tales como polipropileno y poliéster.

### ***3.2.1.3. Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticas.***

*Salvador M, Amigó A, Nuez A, Sahuquillo O, Llorens R & Martí F. (2008). Journal of Cleaner Production, 573-580*

El objetivo de este trabajo es el estudio de varias fibras de origen vegetal (algodón reciclado, lino *Linum usitatissimum*, cáñamo *Cannabis sativa*, kenaf, *Hibiscus cannabinus*, sisal *Agave sisalana* y fique *Agave* utilizado como material de refuerzo en polietileno de alta densidad reciclado. Se han realizado análisis termogravimétricos de las fibras, así como su resistencia mecánica y finalmente, su caracterización morfológica mediante microscopía óptica, electrónica de barrido y de fuerza atómica. La obtención de los componentes se realizó mediante una extrusora y se peletizaron las fibras en una prensa de matriz plana. Finalmente, el componente se inyectó en una Inyectora para obtener las diferentes muestras normalizadas para su ensayo.

Se concluye que las propiedades mecánicas de las fibras resultan bastante diversas y dependen mucho de las condiciones en las que se encuentra la fibra, principalmente en

cuanto a su grado de humedad. A pesar de esto, el aprovechamiento de fibras vegetales, es perfectamente viable con la peculiaridad de su disparidad en forma y tamaño obligando a la peletización previa y a la utilización de compatibilizantes para obtener el producto final. Estos presentan propiedades mecánicas ligeramente superiores a las del polímero, aunque pierden en gran medida su plasticidad y tenacidad.

***3.2.1.4. Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz.***

*Paredes J, Pérez C & Castro C. (2017). Enfoque UTE, 1 – 15*

El objetivo de esta investigación fue preparar un compuesto a base de fibra de vidrio (FV) con adiciones de fibra natural de cabuya (FC). Los resultados muestran un mejor comportamiento mecánico a tracción en un 7,7% respecto al material comúnmente utilizado. La incorporación de fibras de refuerzo de cabuya a las matrices poliméricas permitió un incremento de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto. Tal mejoramiento en las distintas estratificaciones depende de las fracciones volumétricas empleadas y la configuración del refuerzo.

El compuesto híbrido de fibra larga o corta al 30%, y fracción volumétrica 70% de matriz termoestable resina poliéster insaturada y 30% de refuerzo con estratificación a compresión y mediante el orden de capas de refuerzo: FV+FC+FV; evidenció el mejor comportamiento a las diferentes propiedades mecánicas. Este material potencialmente puede aplicarse a elementos automotrices sometidos a esfuerzos como por ejemplo guardachoques, frentes, respaldos y techos de autobuses.

La obtención de probetas se realizó mediante la técnica de estratificación por compresión mediante un cierre mecánico de moldes por presión mecánica atornillada. La resina poliéster fue diluida con estireno monómero más la adición de octoato de cobalto y peróxido de metil etil cetona sobre la resina poliéster. Las fibras de refuerzo fueron humedecidas por inmersión en la solución. Los ensayos de tracción se realizaron acorde a las normas ASTM D3039-08 y las pruebas complementarias de flexión e impacto para corroborar resultados se realizaron bajo normas ASTM D7264M-07 y ASTM D5628-10.

Por lo demostrado, hay gran campo de exploración y estudio en la manufactura de los biocompuestos; como es, la búsqueda del mejoramiento de la adhesión, la resistencia a la humedad, mejora de propiedades mecánicas, la velocidad de producción, entre otras. Que servirán para el reemplazo amigable de partes y piezas de la industria automotriz con el ambiente. Ya que, se observa en el estudio realizado que actualmente no se emplean con frecuencia materiales biocompuestos en partes estructurales, sino, en aplicaciones de bajo comportamiento mecánico como paneles en automotores y partes decorativas, debido a que la manufactura de estos materiales no tiene la velocidad de producción que esta industria requiere.

#### ***3.2.1.5. Compuestos de fibra de hoja de piña fabricados mediante moldeo por compresión por capas.***

*Jaramillo N, Hoyos D & Santa J. (2016). Ingeniería y Competitividad, 151 – 162*

Se utilizó el proceso de moldeo por compresión para la fabricación de compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra de hoja de piña *Ananas comosus*. Para la fabricación

de las muestras se utilizaron cuatro láminas de polipropileno de 0.76 mm de espesor y las fibras se distribuyeron igualmente entre éstas, generando un apilamiento alternado del material de la matriz y las fibras, donde las fibras de las capas más externas se encuentran orientadas transversales a las de la capa interna. Dos tipos de fibras de hoja de piña se usaron como refuerzo: fibras sin tratamiento y fibras modificadas con un tratamiento alcalino en solución de 10% en peso a 30 ° C. Las fibras se mantienen sumergidos durante 2 h en la solución de álcali y después, se lavaron con agua destilada y fresca varias veces para eliminar cualquier rastro de NaOH. Después del lavado, las fibras se secaron en un horno a 80 ° C durante 24 h.

Se evaluaron también dos porcentajes de fibra en el compuesto para determinar su efecto en las propiedades mecánicas del material. Al aumentar el porcentaje de fibra en el compuesto, se observó un incremento de un 22% en la resistencia a la tensión y de un 60% en el módulo de Young. La resistencia a la flexión y el módulo de flexión se incrementaron en un 19% y un 50%, respectivamente. Sin embargo, con el tratamiento alcalino no se observó ninguna mejora en dichas propiedades.

Los compuestos se obtuvieron mediante siete capas alternadas (0,76 mm de espesor), antes de fabricar los compuestos, las capas de polipropileno y las fibras se mantuvieron en un horno a 80 °C para evitar problemas relacionados con la humedad durante el procesamiento. Una vez que las fibras y los laminados de polímero se ubicaron en el molde, se precalentaron durante 3 minutos a 220 ° C. Después de eso, se aplicó una presión de moldeo de 10 MPa a las capas durante dos minutos a la misma temperatura. Posteriormente, el molde superior se liberó para permitir que los gases atrapados escaparan y luego, la presión de moldeo se aplicó nuevamente durante un minuto más. Las muestras

se enfriaron durante 20 minutos con la presión de moldeo aplicada para evitar la deformación de los laminados.

Se concluye que los compuestos con fibras de hoja de piña se fabricaron con éxito mediante moldeo por compresión en capas. Los compuestos mostraron en algunos casos poros relacionados con el diseño de moldes y una baja presión durante el moldeo. El tratamiento de modificación de la superficie realizado con las fibras de la hoja de la piña no mejoró las propiedades mecánicas de los compuestos debido a la formación de aglomeración de las fibras en el interior del compuesto. Los mecanismos de falla más importantes fueron la extracción de la fibra y la falla de la matriz. Es importante mejorar la adhesión de las fibras emparejando las diferencias de ductilidad entre el refuerzo y la matriz polimérica.

### ***3.2.1.6. Charpy impact tenacity of epoxy matrix composites reinforced with aligned jute fibers.***

*Camposo A, Neves S, Salgado F, Muylaert F, Santos da Luz F & de Oliveira F. (2017). Journal of Materials Research and Technology, 312-316*

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la resistencia al impacto de materiales compuestos de resina epoxi reforzada con hasta un 30% en volumen de fibra de yute continuas y alineadas. Esta evaluación se realizó midiendo la energía absorbida por medio de las pruebas de impacto Charpy. Los resultados indicaron un aumento significativo en la energía de impacto absorbida con la fracción de volumen de fibras de yute.

Se empleó resina epoxi bisfenol A (DGEBA) endurecido con 13 partes por cien de trietilentetramina (TETA). Las fibras se lavaron con agua y se secaron en una estufa a 60°C

por 24 h. Se realizó una muestra con 0% de fibra y otras con 10, 20 y 30% en volumen de fibra de yute, las fibras se ubicaron de forma continua y alineada en un molde rectangular de 152 x 122mm y fueron embebidas con la matriz epoxi hasta que se obtuvo la fracción de peso deseada. Los resultados se cortaron en barras de 120x12x10 mm para realizar las pruebas energía de impacto absorbida Charpy según la norma ASTM D256.

En conclusión, los resultados realizados en el presente documento referenciado, revelan que este material tiene un aumento significativo de tenacidad que depende de la cantidad de la fibra. los valores obtenidos son de los más altos en este tipo de materiales.

### ***3.2.1.7. Comparative Study of Dielectric Properties of Hybrid Natural Fiber Composites***

*Jayamani E, Hamdan S, Rahman M & Bin M (2014). Procedia Engineering, 536 – 544*

La constante dieléctrica, factor de disipación y el factor de pérdida dieléctrica de fibras naturales de yute / bambú reforzados con polipropileno y resinas híbridas de poliéster insaturado se estudiaron con diferentes cargas, proporciones de fibra, frecuencias y modificaciones químicas de fibras naturales.

Todas las materias primas se lavaron con agua para eliminar las impurezas y después se secaron en un horno a 75 °C durante 12 horas. Uno de los polímeros utilizados en esta investigación es resina de poliéster insaturado comercialmente disponible con el nombre de “Reversol P9509”.

En esta investigación se utilizó anhídrido maleico polipropileno injertado (MAPP) como agente de acoplamiento para mejorar la unión entre yute / fibra de bambú y híbridos de polipropileno. Adicionalmente, Las fibras de yute y bambú fueron sometidas a un

tratamiento alcalino usando hidróxido de sodio con una concentración de 5% en peso y se empaparon en la solución durante 48 horas a 25 °C. Se lavaron después 5 veces con agua destilada y se secaron en estufa a 80 °C durante 24 horas.

En esta investigación, se usó el método de prensado en caliente para la fabricación de polipropileno reforzado con yute / bambú compuestos de fibra híbrida y prensa en frío se utilizó para fabricar poliéster insaturado reforzados con yute / bambú compuestos de fibra híbrida.

Como resultado de tratamiento químico de las fibras naturales, la adhesión interfacial entre el polímero y fibras naturales aumentó y condujo a una reducción en los huecos que a su vez causó una reducción en la absorción de la humedad. El tratamiento químico también redujo la naturaleza hidrófila de fibras de yute y de bambú. Todos estos factores llevaron a una reducción en valores constantes dieléctricas en comparación con uno no tratado. A medida que el porcentaje en peso de fibra de yute aumentó en los materiales compuestos, la constante dieléctrica también aumentó. En general, el yute / bambú reforzado insaturados compuestos híbridos de poliéster exhiben valores más altos de propiedades dieléctricas en comparación con yute / bambú compuestos reforzados híbridos polipropileno.

#### ***3.2.1.8. Comparison between tensile behavior of epoxy and polyester matrix composites reinforced with eucalyptus fibers***

*De Oliveira C, Margem F, Monteiro S & Duarte F (2017). Journal of Materials Research and Technology, 406-410*

En el presente trabajo se compara el comportamiento mecánico a la tracción de los materiales compuestos poliméricos reforzados con fibras de eucalipto *Eucalyptus* natural. Se utilizaron matrices epoxi y poliéster ampliamente aplicadas en la industrial.

Para la elaboración de los materiales compuestos se emplearon fibras de eucalipto sin tratar en proporciones de 30, 40 y 50% de volumen. Fueron confeccionados mediante el establecimiento de las fibras en un molde de acero y vertiendo posteriormente resina líquida, bajo la presión de 3MPa.

La introducción de fibras de eucalipto, no cambiaron la resistencia a la tracción en la matriz epoxi y disminuyó ligeramente la resistencia a la tracción en el matriz poliéster, pero aumentó la elasticidad en ambos casos. No se logró obtener una buena adhesión entre ninguno de los componentes (epoxi y poliéster) con la fibra de eucalipto, lo que contribuye a la disminución de la tracción del material. Se recomienda realizar un pretratamiento a la fibra de eucalipto para mejorar el refuerzo, aunque esto implique mayor costo en la eliminación de residuos químicos.

***3.2.1.9. Effects of Fibre Configuration on Mechanical Properties of Banana Fibre/PP/MAPP Natural Fibre Reinforced Polymer Composite.***

*Amir N, Zainal K & Binti F (2017). Procedia Engineering, 573 – 580*

Esta investigación tiene como objetivo investigar los efectos de diferentes configuraciones de refuerzo de fibra de plátano (*Musa paradisiaca*) continua sobre las propiedades mecánicas de los materiales compuestos. Se añadió anhídrido maleico polipropileno injertado (MAPP) para los materiales compuestos para mejorar la unión entre la matriz de polímero y la fibra natural.

Para las pruebas se empleó fibra cruda de plátano, hilo de fibra de plátano, y la estera de fibra de plátano. Las propiedades mecánicas de las muestras compuestas se evaluaron utilizando la tracción y la prueba de flexión de acuerdo con ASTM D638 y ASTM D790, respectivamente.

Para la configuración de las muestras los gránulos de PP se midieron de acuerdo con la composición requerida y se colocan dentro de la cavidad del molde mediante la técnica de laminación. La primera capa se llenó de PP seguido de fibra de plátano para la segunda capa y finalmente otra capa PP se colocó en la parte superior.

Se encontró que, materiales compuestos de hilos de fibra de plátano poseían la más alta resistencia a la tracción y resistencia a la flexión con el incremento de 294% y 72%, respectivamente, en comparación con los de PP no reforzado. Las otras dos configuraciones de fibras producen resultados mixtos. Estudio de morfología realizado en las superficies de tracción-fracturado demostró unión homogénea e intacto entre hilo de fibra de plátano mezclado y la matriz de PP.

### ***3.2.1.10. Experimental data on the properties of natural fiber particle reinforced polymer composite material.***

*Chandramohan D & Presin A (2017). 460-468*

En este trabajo se realizó un estudio sobre el desarrollo de polímeros reforzados con cascara de coco *Cocos nucifera* en polvo, cascara de nuez *Juglans regia* y cascara de híbridas. Los porcentajes de las muestras fueron 1:1, mientras que la composición de resina y endurecedor son 10:1 respectivamente. Los compuestos se fabricaron según normas ASTM para evaluar las propiedades mecánicas con humedad y sin humedad.

Las cascaras se rompieron en pedazos y se produjo el polvo en un molino de bolas, luego se separaron por tamizado mecánico. Se lavaron con agua y se secaron, luego se les agrego 1% de NaOH y 99% de agua destilada. Posteriormente se secan las fibras de 2 a 3 horas. El remojo se lleva a cabo en diferentes intervalos de tiempo dependiendo de la fuerza de quiebre. En este estudio la fibra se empapo en la solución durante tres horas. después se lavó en agua corriente y se secó durante 2 horas.

El tratamiento químico con NaOH (hidróxido de sodio) elimina el contenido de humedad de las fibras aumentando así su fuerza y rigidez. además, borra todas las impurezas que están adyacentes a la fibra y también estabiliza la orientación molecular.

El resultado de la prueba muestra que el compuesto híbrido tiene mejores resultados en sus propiedades que el compuesto solo de fibra de vidrio bajo cargas mecánicas. sin embargo, se ha encontrado que la incorporación de cáscara de nuez y cascara de coco puede mejorar las propiedades.

#### ***3.2.1.11. Free Vibration Characteristics of Banana/Sisal Natural Fibers Reinforced Hybrid Polymer Composite Beam.***

*Rajेश M, Pitchaimania J & Rajinib N (2016). Procedia Engineering, 1055 – 1059.*

En este trabajo se estudia la influencia de la superficie pre-tratamiento con hidróxido de sodio y el efecto hibridación de fibra natural, en ensayos de flexión y comportamiento de la vibración libre. se emplearon fibras naturales de sisal y plátano en orientaciones cortas y aleatorias para preparar los compuestos de resina de poliéster isoftálico insaturado, utilizando el método de moldeo por compresión. A partir de la experimentación, se

encontró que el tratamiento químico mejora las propiedades de vibración mecánica y libre debido a la mejora de la unión interfacial entre la fibra y la matriz.

En este estudio se prepararon compuestos laminados con dimensiones de 270 mm x 250 mm x 3 mm, utilizando el método de moldeo por compresión. Inicialmente, la relación de peso conocido de resina, mezclador y endurecedor se agitó 20, 35, 50 y 60% en peso de fibra de plátano, sisal y un híbrido entre estas dos plantas. Luego, las mezclas se vertieron en el interior del molde.

Con el fin de comparar las fibras no tratadas y tratadas para mejorar las propiedades mecánicas del material compuesto, el 50% de las fibras naturales se trataron con 1% de solución de hidróxido de sodio. Los resultados mostraron que el tratamiento superficial mejora las propiedades mecánicas de manera efectiva. El porcentaje 35 de peso de material compuesto muestra un valor más alto de amortiguamiento. Esto se debe a que hay más interacción de fibra-matriz en el material y también tiene más superficie de contacto para generar unión. El resultado muestra que el tratamiento químico aumenta el módulo del material y aumenta la rigidez del material compuesto.

#### ***3.2.1.12. Impact Property of Flexible Epoxy Treated Natural Fiber Reinforced PLA Composites.***

*Nuthonga W, Uawongsuwan P, Pivsa-Art W & Hamadab H. (2013). Energy Procedia, 839 – 847*

En este trabajo se estudia la fibra de bambú, fibra de pasto vetiver y fibra de coco como refuerzo en materiales compuestos poliméricos. con el fin de mejorar las propiedades del polímero PLA. La resistencia al impacto de PLA reforzado con fibra natural disminuyo con

el aumento de fibra. La resina epoxi mejoro las características de impacto con el refuerzo de las fibras y el pretratamiento. la fibra de bambú resulto ser el refuerzo más eficaz entre todos los refuerzos estudiados.

Resina epoxi flexible (polibutadieno epoxidado, Epolead PB 3600, Daicel Chemical Co.Ltd., Japón) se utilizó como tratamiento de la superficie para las fibras naturales. Esta se disolvió en acetona (1g de resina:200 ml de acetona) para reducir la viscosidad antes del proceso. las fibras naturales tratadas se secaron primero a temperatura ambiente por 24 horas y luego en horno de vacío a 80°C durante 24 horas. el contenido de fibra vario entre 10, 20, 30 y 40% en peso. El tratamiento de superficie epoxi flexibles mejoró la propiedad de impacto del compuesto PLA reforzado con fibra de bambú y fibra de coco en comparación con materiales compuestos no tratados. Sin embargo, puede verse que el tratamiento de superficie epoxi flexibles fue ineficaz con la combinación de hierba vetiver.

### ***3.2.1.13. Improving the Properties of Banana Fiber Reinforced Polymeric Composites by Treating the Fibers.***

*Jordan W & Chester P (2017). Procedia Engineering, 283–289.*

Este estudio se centra en dos tratamientos químicos diferentes diseñados para promover la unión interfacial entre las fibras de plátano y una matriz de LDPE (polietileno de baja densidad): tratamiento con peróxido y tratamiento con permanganato. se evaluaron los efectos de los tratamientos sobre las propiedades de tracción de fibra de pseudo-tallo de banano. Con el tratamiento con peróxido mejoró la tracción y con el permanganato los resultados no fueron concluyentes. Para el tratamiento con peróxido, las fibras no tratadas se empaparon en 6% en peso de solución de peróxido en acetona durante 30 minutos. Para

el tratamiento de permanganato, fibras no tratadas se empaparon en una solución de permanganato de potasio en acetona (concentración que varía de 0,005% a 0,2% en peso) durante 1 minuto. En ambos procesos las fibras se dejaron secar al aire libre. Luego se aseguró que las fibras tuvieran el mismo contenido de humedad.

Se concluye que las fibras de pseudo-tallo de banano proporcionan una oportunidad única para el refuerzo de termoplásticos tales como el LDPE. Los tratamientos de peróxido y permanganato mejoran la unión interfacial entre la fibra y la matriz polimérica. Sin embargo, tratamiento con peróxido tiene el efecto adicional de mejorar las propiedades de tracción de las fibras individuales. En conclusión, las fibras de pseudo-tallo de banano proporcionaron alguna mejora medible a las propiedades de LDPE, especialmente en términos de rigidez a la tracción. Tratamiento con permanganato mejoró la unión interfacial, pero por lo demás parecía proporcionar poca o ninguna ventaja sobre el material compuesto no tratado en términos de propiedades de tracción y flexión. Esto puede ser debido al pretratamiento alcalino de las fibras.

#### ***3.2.1.14. Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites.***

*Herrera P & Valadez A (2004). Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 339–345.*

Para este trabajo se estudió el comportamiento mecánico del polietileno de alta densidad reforzado con fibras de henequén continua *Agave fourcroydes*. Para mejorar la adhesión entre la fibra y la matriz, se realizó un pretratamiento alcalino y una pre impregnación de la matriz junto con un agente de acoplamiento de silano. Se encontró que

la fuerza resultante y la rigidez del compuesto dependía de la cantidad de silano depositado sobre la fibra. Las fibras se trataron con una solución acuosa de NaOH (2% p / v) durante una hora a 25 ° C, luego se lavaron con agua destilada hasta que esta agua ya no indicará ninguna reacción de alcalinidad. Posteriormente, las fibras se secaron a 60°C durante 24 h. Para el tratamiento de la superficie de la fibra, se disolvió una cantidad de agente de acoplamiento de silano para su hidrólisis en una mezcla de metanol-agua (90/10 p / p) a 25 ° C. El pH de la solución se ajustó a 3,5 con ácido acético con agitación continua durante 10 minutos y se añadió el peróxido de dicumilo. Luego, las fibras se sumergieron en la solución y se dejaron durante 1 h bajo agitación. Posteriormente, las fibras se secaron a 60°C durante 24 horas.

El HDPE se molió con tamiz de 2mm y se colocó sobre moldes diseñados y luego se colocaron las fibras tratadas y sin tratar de forma alineadas por separado sobre el polímero molido en el molde, por último, se completó con una segunda capa de HDPE y se moldeó por compresión a 180°C a una presión de 1 tonelada. Las muestras se obtuvieron de acuerdo a las normas ASTM. Y las pruebas de tensión, flexión y cizallamiento se realizaron con las normas estándar ASTM D638, D790 y D-5379 respectivamente.

La elasticidad no mejoró con el refuerzo de las fibras, sin embargo, las propiedades mecánicas aumentaron hasta en un 43% y el aumento de cizallamiento fue del 50%. Además, la fibra tratada tuvo un efecto más notorio en las propiedades de resistencia en la dirección perpendicular a la fibra donde las mejoras estaban por encima de 50% con respecto al compuesto con la fibra no tratada.

**3.2.2. Productos hechos con NFC que circulan actualmente en el mercado.** En el siguiente apartado se mencionan a grandes rasgos las aplicaciones que existen hasta el momento de NFC, las ventajas por las que se han incorporado en la industria, los procesos más empleados para su fabricación y algunas empresas que las producen, tomando como base artículos científicos y reseñas sobre el tema.

**3.2.2.1. Aplicación en la industria.** Existen varios campos donde se puede emplear NFC como lo son: compuestos estructurales, automóviles, compuestos no estructurales, geotextiles, envases, productos moldeados, sorbentes, filtros y en combinación con otros materiales; se están encontrando en industrias electrónicas, aeroespacial, deportes, equipos de recreación, embarcaciones, maquinaria y productos de oficina; en los Estados Unidos se han fabricado y diseñado paneles y vigas estructurales, entre otros. (Bavan & Kumar, 2010; Mohammed, Ansari, Pua, Jawaaid & Islam, 2015).

Los principales motivos de la introducción de las fibras naturales en sectores industrializados son: reducción relativa de la masa, mejores propiedades mecánicas, buen funcionamiento con gran estabilidad, ventajoso en cuestión de costo en comparación con las estructuras tradicionales, sano uso y manipulación en comparación con la fibra de vidrio; estos no emiten humos tóxicos en condiciones de calor, son un recurso continuamente renovable y tienen un proceso de reciclaje por incineración con recuperación de la energía (ajewski & Błędzki, 2013).

Tabla 1. *Aplicaciones de compuestos de fibra natural en diferentes industrias.*  
(Mohammed et al., 2015)

<i>Fibra</i>	<i>Aplicación en edificación, construcción, y otros.</i>
--------------	--

Cáñamo	Productos de construcción, textiles, cordeles, geotextiles, papel y empaques, muebles, electricidad, fabricación de billetes de banco y fabricación de tuberías
Aceite de palma	Materiales de construcción tales como ventanas, marcos de puertas, sistemas de construcción de paneles con aislamiento estructural, revestimiento, cercas, techos, cubiertas y otros materiales de construcción
Madera	Marcos de ventanas, paneles, contraventanas, cubiertas, sistemas de barandas y cercas
Lino	Marco de ventana, paneles, cubiertas, sistemas de barandas, cercas, raquetas de tenis, cuadro de bicicleta, horquilla, tija de sillín, snowboard y maletines para portátiles
Cáscara de arroz	Materiales de construcción como paneles de construcción, ladrillos, marcos de ventanas, paneles, cubiertas, sistemas de barandas y cercas
Bagazo	Marcos de ventanas, paneles, cubiertas, sistemas de barandas y cercas
Sisal	En la industria de la construcción, como paneles, puertas, placas de cierre y láminas para techos; También, fabricación de papel y pulpa.
Tallo	Paneles de construcción, paneles de muebles, ladrillos y construcción de desagües y tuberías
Kenaf	Material de embalaje, estuches móviles, bolsas, aislamientos, telas aptas para ropa, mezclas para macetas sin suelo, ropa de cama para animales y material que absorbe aceite y líquidos
Algodón	Industria del mueble, textiles e hilados, mercadería y cuerdas.
Coco	Paneles de construcción, contraventanas rasantes, paneles de techo, tanque de almacenamiento, material de embalaje, cascos y buzones de correos, espejo Carcasa de fibras de fibra de coco, pesos de papel, cubierta de proyector, cubierta de estabilizador de voltaje, material de relleno para el tapizado del asiento, cepillos y escobas, cuerdas e hilados para redes, bolsas y estereras, así como acolchado para colchones y cojines para asientos
Ramina	Se utiliza en productos como hilo de coser industrial, materiales de embalaje, redes de pesca y telas filtrantes. También se fabrica en telas para muebles del hogar (tapicería, tela) y ropa, fabricación de papel.
Yute	Paneles de construcción, láminas para techos, marcos de puertas, contraventanas, transporte, embalaje, geotextiles y tableros de chips

**3.2.2.2. Aplicación en la industria geotextil.** En el área geotextil se han realizado estudios con la fibra de hojas de piña reforzados con resinas, polipropileno, polietileno y poliéster insaturado, este compuesto ha sido empleado en esta industria y se espera un incremento en el sector en artículos deportivos, equipaje, automóviles, armarios y colchonetas; en fabricación de piezas de maquinaria como cable de correa, cable de cinta transportadora, tela de transmisión, cables de atado de bolsas de aire y algunas telas para

usos industriales; se presenta también muy útil en la fabricación de alfombras por su tratamiento químico de teñido, comportamiento resistente a la tracción y tejido estéticamente agradable; puede ser adecuado para otras aplicaciones tales como cosméticos, medicina y recubrimiento de biopolímeros para productos químicos, adicionalmente sus propiedades son adecuadas para su aplicación en materiales de construcción, componentes automotrices y muebles. (Asim et al., 2015)

**3.2.2.3. Aplicación en la industria automotriz.** La aplicación de materiales compuestos en la industria automotriz se realizó desde los años cincuenta y gracias al desarrollo de la tecnología en plásticos sintéticos ha sido más común su uso como un sustituto del acero para disminuir el peso del vehículo, pero convirtiéndose en un problema por ser fuente de contaminación ambiental. La adopción de NFC en esta industria se debe a motivos de precio, reducción de peso y mercadeo en lugar de demandas técnicas (Bavan & Kumar, 2010), y por sus ventajas frente a su disposición final, teniendo en cuenta que el reciclado de todos los plásticos de los vehículos al fin de su vida útil es uno de los puntos más importantes, en donde la reutilización y valorización del material está en un mínimo del 95% del peso medio por vehículo. Los experimentos demuestran que algunos polímeros reforzados con fibras naturales pueden ser reusados hasta siete veces (ajewski & Błędzki, 2013).

Los fabricantes de autopartes deben ser competitivos en precio y funcionamiento, además de cumplir las nuevas normas con respecto al ambiente. Las piezas automotrices que más comúnmente se refuerzan con fibras vegetales son: sistemas de asientos, paneles de instrumentos y tableros, sistemas de puertas, interiores integrados, sistemas de techo, reposacabezas y tapicería; se ha utilizado para aplicaciones de alto requerimiento para

componentes de carrocería exteriores, como la sección central entre los faros sobre el guardabarros de un autobús de pasajeros, cubiertas de transmisión para el motor reforzadas con lino y se espera un aumento continuo de los componentes de autopartes reforzados por NFC, para estos componentes se emplean fibras naturales como madera, lino, yute, sisal, abacá, kenaf, ramio, malla de lana, madera o granos como refuerzo y también celulosa sintética (ajewski & Błędzki, 2013; Sperber & Faruk, 2002; Mohammed et al., 2015; Zah, Hischier, Leao & Braun, 2007; Fowler, Hughes & Elias, 2008). Estas se juntan con resina de acrilato, melanina, fenol, epoxi poliuretano, fenol poliéster, látex, termoplásticos como PP o Co-PES, acetato de celulosa, ácido poliláctico y resina natural (ajewski & Błędzki, 2013).

Tabla 2. *Autopartes de compuestos de fibra natural en la industria automotriz.*

(Mohammed et al., 2015)

<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Aplicación</i>
Rover	2000 y otros	Estante / panel de almacenamiento trasero, y aislamientos
Opel	Vectra, Astra, Zafira	Paneles de puerta, panel de cubierta de pilar, panel de forro del cabezal y panel instrumental
Volkswagen	Passat Variant, Golf, A4, Bora	Respaldo del asiento, panel de la puerta, panel de acabado de la tapa del maletero y forro del maletero
Audi	A2,A3, A4,A4Avant,A6, A8, Roadstar, Coupe	Forro de la bota, forro de llantas de repuesto, paneles de las puertas laterales y traseras, respaldo del asiento y perchero
Daimler Chrysler	Clase A, C, E y S, EvoBus (exterior)	Panel de la cubierta del pilar, paneles de las puertas, parabrisas / salpicadero del automóvil y mesa de negocios
BMW	Series 3,5,7 y otros piloto	Respaldo del asiento, panel del techo interior, forro del maletero, paneles de puertas, paneles

		de aislamiento de ruido y revestimientos moldeados para pozos
Peugeot	406	Paneles de las puertas delanteras y traseras, respaldos de los asientos y estantes para paquetes.
Fiat	Punto, Brava, Marea, Alfa Romeo 146, 156, 159	Panel de la puerta
General Motors	Cadillac De Ville, Chevrolet Trail Blazer	Asientos de respaldo, tapete del piso de carga
Toyota	ES3	Guarnición de pilares y otras partes interiores.
Saturn Volvo Ford	L300	Paquete de bandejas y panel de puerta.
Volvo	V70, C70	Acolchado del asiento, espumas naturales y bandeja de carga.
Ford	Mondeo CD 162, Focus	Bandejas de piso, inserciones de puerta, paneles de puerta, pilar B y forro de maletero
Saab	9S	Paneles de puerta
Renault	Clio, Twingo	Estante de paquete trasero
Toyota	Raum, Brevis, Harrier, Celsior	Tapetes, cubiertas de llantas de repuesto, paneles de puertas y respaldos de asientos
Mitsubishi		Piso del área de carga, paneles de puertas y panel instrumental.
Mercedes Benz	Camiones Clase C, S, E y A	Paneles de las puertas (lino / sisal / fibras de madera con resina epoxi / matriz UP), guantera (fibras de algodón / madera moldeada, lino / sisal), soporte del panel de instrumentos, aislamiento (fibra de algodón), varilla / aberturas de moldura, panel del respaldo del asiento ( fibra de algodón), panel del tronco (algodón con fibras de PP / PET) y superficie / respaldo del asiento (fibra de coco / caucho natural) Cubierta interna del motor, aislamiento del motor, parasol, aislamiento interior, parachoques, caja de ruedas y cubierta del techo
Citroen	C5	Paneles de puertas interiores
Lotus	Eco Elise (July 2008)	Paneles de carrocería, spoiler, asientos y alfombras de interior.
Rover	2000 y otros	Aislamiento, estante de almacenamiento trasero / panel

Vauxhall

Corsa, Astra, Vectra, Zafira

Panel de techo interior, de puertas interiores, de  
cubierta de pilar y panel de instrumentos

*Figura 1.* Compuesto de fibra natural aplicado a panel de puerta interior en la industria automotriz.

La técnica de producción de las partes con un material compuesto con fibras naturales es similar a la producción de plásticos solos o con fibras de vidrio. Cada tecnología de manufactura tiene sus propias posibilidades y restricciones. Los procesos más populares de producción de autopartes con fibras naturales son moldeo por inyección, moldeo por presión para plásticos duros y moldeo por presión para termoplásticos siendo este último el más usado (ajewski & Błędzki, 2013).

**3.2.2.4. Aplicación en la industria de la construcción.** En la industria de la construcción ha empezado a utilizarse materiales compuestos de harina de madera con Polipropileno (PP), Polietileno (PE) o Cloruro de polivinilo (PVC) y resinas termoestables para la

construcción de partes prefabricadas (Salvador et al., 2017; Bledzki et al., 2002) Estos compuestos, conocidos como Wood-Plastic Composites (WPC), han experimentado en Estados Unidos importantes avances, tanto en sus propiedades y procesado como en aceptación por el consumidor (Salvador et al., 2017). Estos elementos se producen por moldeo directo o por extrusión, el uso de la fibra de madera permite bajar el precio, ahorrar el plástico y hacer más agradable el ambiente y cuando terminan su vida útil se pueden recolectar y usar para generar energía, produciendo solo dióxido y vapor que se disipan durante su combustión (ajewski & Błędzki, 2013). Un ejemplo de producto con este compuesto son los paneles de aislamiento acústico de la empresa Baux, que presenta diferentes opciones estéticas del producto.



*Figura 2.* Paneles acústicos de la empresa Baux elaborada con WPC.

los compuestos reforzados con fibras, presentan estas mismas ventajas y adicionalmente poseen también excelentes propiedades mecánicas, comparables a los WPC, e incluso

superiores (Salvador et al., 2017). Son aplicados actualmente para la fabricación de partes no estructurales por sus propiedades de aislamiento termo acústico. Los productos terminados como cubiertas, perfiles de puertas, revestimientos y marcos de ventanas son muy exitosos en el mercado, por ejemplo, en Japón, los compuestos de madera se aplican para escaleras, barandillas y baños, como lo demuestra Mizawa Homes, un fabricante de casas prefabricadas; se utilizan también en bancos, casas para perros, cobertizos, macetas, tabiques y cercas, junto con cubiertas, pavimentos y tableros de balcones, otro desarrollo japonés son los muros efectivos de protección contra el ruido a lo largo de las carreteras, un proyecto apoyado por el Ministerio de Transporte; los NFC han sido propuestos para la fabricación no estructural de cubierta para puentes, techos, construcción exterior, elementos estructurales de edificios, encofrados permanentes, tanques, fachadas, elementos de techos de gran envergadura y refuerzo de tuberías de estructuras existentes; por ejemplo la fibra de bambú ha sido empleada en elementos estructurales como refuerzo, mientras que la fibra de sisal y la fibra de coco se han utilizado en los componentes del techo para reemplazar el asbesto. (Bledzki et al., 2002; Mohammed et al., 2015; Fowler et al., 2008).

Por otro lado, los materiales naturales se están convirtiendo en una alternativa válida a los sintéticos tradicionales para tratamientos de absorción de sonido para la aplicación arquitectónica, en los últimos años las fibras naturales se han considerado materias primas válidas para producir paneles de absorción de sonido a un costo reducido y con buenas propiedades de aislamiento térmico, no tienen efectos nocivos para la salud y están disponibles en grandes cantidades a menudo como un producto de desecho de otros ciclos de producción (Berardi & Iannace , 2015).

Algunas compañías que están incorporando NFC a sus productos son: Environ Biocomposites LLC que utiliza paja de trigo en sus compuestos de biofibra y cascos de girasol en sus compuestos de Dakota Burl, Ambos están hechos con resinas de isocianato y están diseñados para aplicaciones de muebles. Otra empresa estadounidense, Flexform Technologies LLC, combina fibras de kenaf y cáñamo con fibras de polipropileno y politereftalato de etileno para producir materiales compuestos para diversas aplicaciones, incluidos paneles de puertas de automóviles, paneles de techo y paneles de pared acústicos (Fowler et al., 2008).

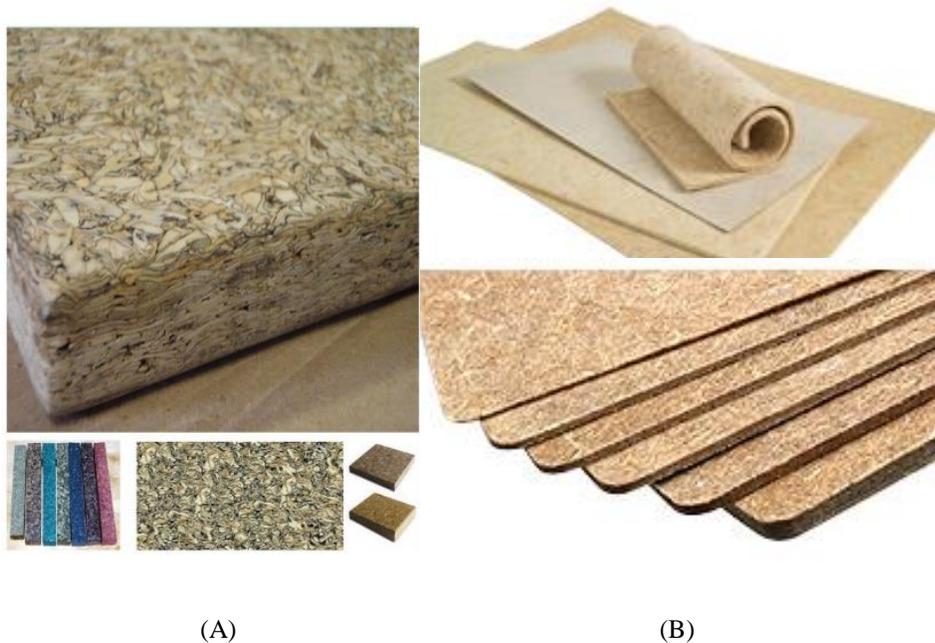


Figura 2. (A) Paneles de paja de trigo y resina de isocianato de metilo para interiores fabricado por Environ Biocomposites LLC. (B) Tableros duros de alta densidad y tablero de baja densidad respectivamente, con diferentes usos y con posibilidad de personalización según requerimiento de aplicación. fabricados por la empresa FlexForm.

#### 4. Metodología

## 4.1. Estrategia Metodológica

**4.1.1. Modelo de diseño del doble diamante.** Para la realización del presente proyecto, se tomó como base la metodología del doble diamante desarrollada por el Consejo de Diseño. Este modelo tiene en cuenta que los enfoques de cada diseñador son diferentes y tienen sus propias formas de trabajar, sin embargo, existen generalidades comunes que los enmarcan y sirven de guía para la organización y desarrollo de la tarea en cuestión, por lo que estas herramientas y métodos se pueden adaptar alterando el nivel de detalle dependiendo de los requerimientos. El Doble Diamante está dividido en cuatro fases distintas: descubrir, definir, desarrollar y brindar sus servicios, presenta mapas de cómo el proceso de diseño pasa de puntos donde las posibilidades son tan amplias como sea posible a situaciones en las que se estrecha y se centra en objetivos específicos y resultados (Design Council, 2015).

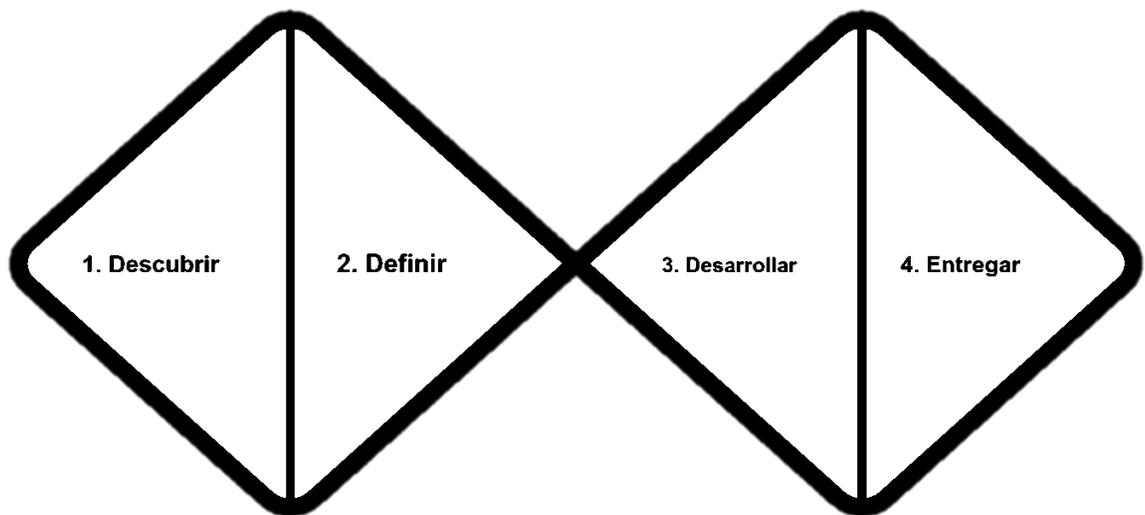


Figura 3. Modelo de diseño del Doble Diamante. (Design Council, 2015)

**4.1.2. Definición de las etapas.** En la etapa de *Descubrir* se enmarca el inicio del proyecto, este es un periodo de descubrimiento, recopilación de inspiración y de

conocimientos, la identificación de necesidades de los usuarios y el desarrollo de las ideas iniciales. Esta exploración utiliza ambos métodos de investigación cualitativa y cuantitativa. En la etapa de *Definir* los diseñadores dan sentido a todas las posibilidades identificadas en la fase de descubrir, es decir que la masa de ideas y resultados se analizan y se estructuran en un conjunto reducido de oportunidades de diseño. Los resultados de esta fase son la definición del reto o problema que se abordara a través de un producto o servicio de diseño. La etapa de *Desarrollar* marca el periodo donde se crean soluciones y prototipos de comprobación, este proceso de ensayo y error ayuda a los diseñadores para mejorar y refinar sus ideas, en este punto se depuran los conceptos del producto hasta que estén listos para su implementación. Por último, se encuentra la etapa de *Entregar*, en el que el producto o servicio resultante se terminó y lanzo. Los objetivos clave en este periodo son: la prueba final, la aprobación, la puesta en marcha, evaluación y retroalimentación. (Desing Council, 2015).

## **4.2 Métodos**

En la figura 4 se muestran las etapas seguidas en el presente proyecto de grado, adaptadas a la metodología del doble diamante según requerimientos y especificaciones planteadas en el semillero de investigación. Como punto inicial se estableció el tema de materiales compuestos y a partir de esto se definió la línea de investigación de mayor interés. En el primer diamante se presenta el proceso seguido en IPG (investigación de proyecto de grado), donde se desarrolló una investigación previa sobre NFC que dio apertura al desarrolló un producto en CPG (comprobación de proyecto de grado).

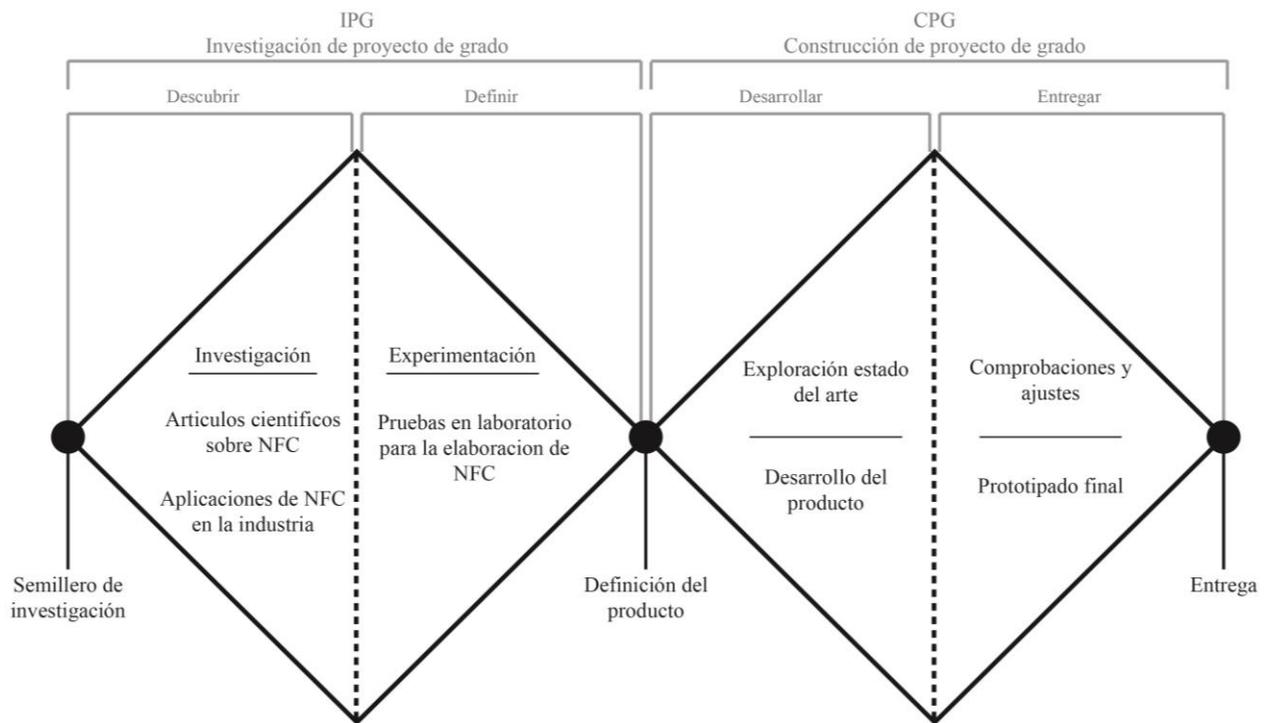


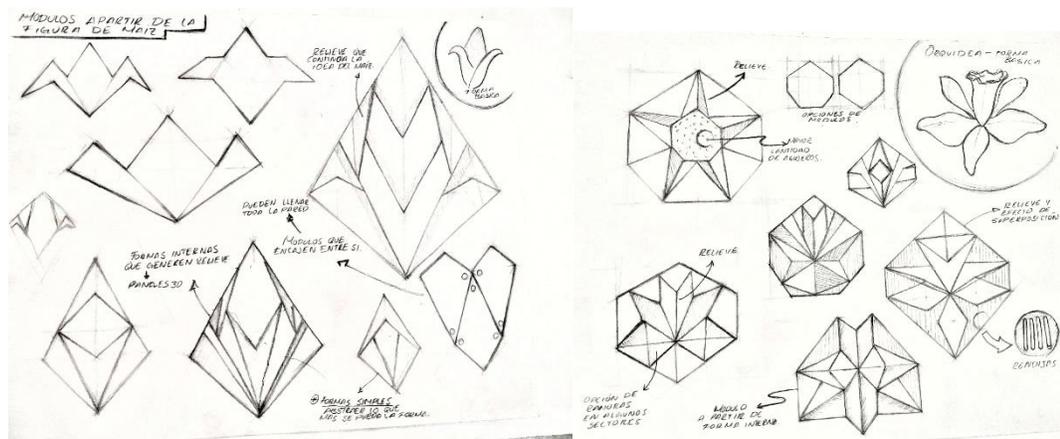
Figura 4. Modelo de diseño trabajado en el proyecto a partir del doble diamante. Elaborado por la autora.

**4.2.1. Descubrir.** En esta primera etapa se elaboró una investigación separada en dos partes: artículos científicos sobre NFC y aplicaciones de estos compuestos en la industria. Para la primera parte se estudiaron y resumieron diferentes artículos científicos que tratan sobre procesos químicos de elaboración y propiedades de los NFC. Posteriormente se realizó una recopilación de diferentes reseñas y artículos que mencionan posibles aplicaciones de estos compuestos, según características del material y los productos que actualmente existen en el mercado, junto con algunas empresas que las fabrican.

**4.2.2. Definir.** En esta etapa se desarrollaron pruebas de laboratorio para la elaboración de NFC, con el fin de identificar los porcentajes y las fibras que garantizan propiedades de peso y apariencias aceptables con la menor cantidad de resina poliéster posible, estas muestras se realizaron a partir de conclusiones sobre la investigación previa de artículos

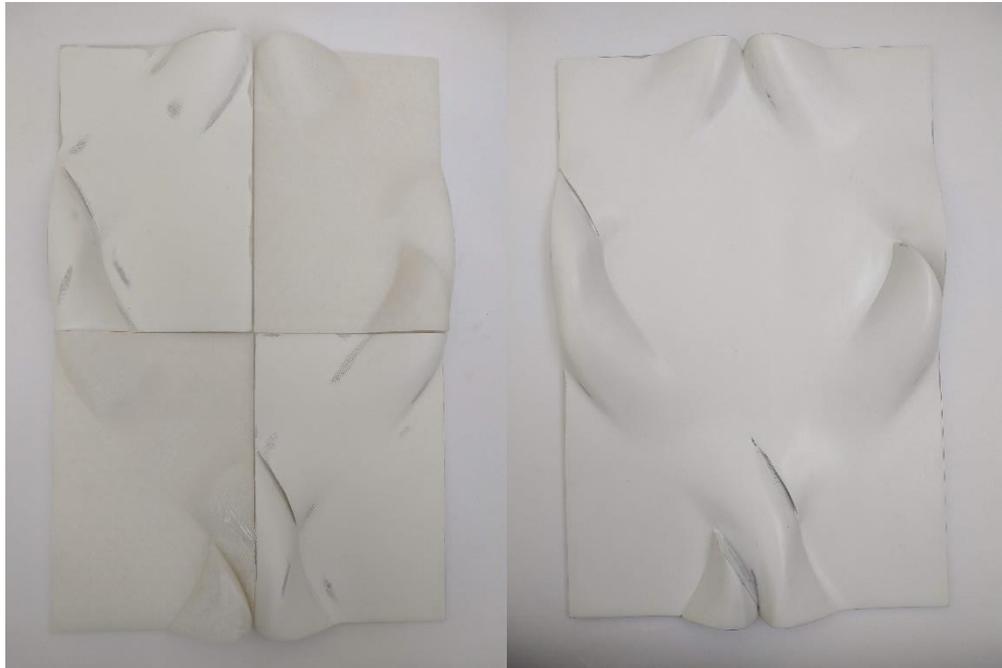
científicos. Los resultados se recopilaron y se compararon cuantitativamente para la selección de las proporciones y mezclas más viables. Posterior a esto se seleccionó la industria en la que se intervino a partir de la investigación previa sobre aplicaciones de NFC y a continuación se definió el tipo de producto que mejor se adaptó a los recursos y características del compuesto resultante, además de los intereses propios del autor.

**4.2.3. Desarrollar.** Luego de tener el producto definido como un producto para acabados arquitectónicos, se realizó una exploración sobre el mercado y artículos similares que están siendo actualmente comercializados, con el fin de tener bases para el siguiente proceso de generación de ideas. Se propusieron diferentes formas para la apariencia formal estética del producto por medio de bocetación, maquetación y comprobaciones para su desarrollo. Adicionalmente el material se propuso como revestimiento de otro producto elaborado dentro del grupo de investigación con el fin de evidenciar otros posibles usos de los NFC.





**4.2.4. Entregar.** Para esta etapa los detalles del producto ya estaban definidos, por lo que se realizaron pruebas para definir la técnica más eficiente en la elaboración del prototipo final, posterior a esto se fabricó el modelo y se realizaron los entregables finales que acompañan al producto como lo es la identidad gráfica, secuencia de uso, etc.



*Figura 7.* Fotografía de impresión 3D en cuatro partes y positivo del molde con acabados respectivamente.



*Figura 8.* Fotografía del molde en caucho de silicona

## 5. Resultados

### 5.1. Investigación

Con respecto a los artículos científicos se concluyó que el aumento de algunas propiedades generadas por el refuerzo de las fibras vegetales ha sido ampliamente estudiado y comprobado, sin embargo, es necesario realizar más estudios con respecto a las ventajas ambientales de estos ya que aún existen vacíos alrededor del tema. Adicionalmente se concluyó que realizar un pretratamiento de las fibras puede ser un factor importante para obtener buenos resultados de materiales compuestos, debido a la incompatibilidad de las fibras naturales que poseen alta sensibilidad a la humedad, combinada con matrices poliméricas con estructuras hidrofóbicas. Para superar esto se emplean diferentes métodos de acoplamiento superficial o químico en las fibras como un pretratamiento para la elaboración del compuesto. En la tabla 3 se muestran algunos tratamientos extraídos de los artículos revisados para el presente trabajo y los cuales sirven de base para realizar algunas pruebas de comprobación de acoplamiento.

Tabla 3. *Tratamientos estudiados en los artículos científicos sobre NFC. Elaborada por la autora.*

<b>Tratamiento Alcalino Con Hidróxido De Sodio (Naoh)</b>			
	Tiempo Sumergido / Temperatura	Tiempo Secado / Temperatura	Porcentaje De Solución
1	2 horas / 30 °C	28 horas / 80°C	10 % en peso
2	48 horas / 25 °C	24 Horas / 80°C	5% en peso
3	3 horas	2 Horas	1% NaOH-99% agua destilada
4	1 hora / 25 °C	24 horas / 60°C	2 % en peso
<b>Tratamiento Con Anhídrido Maleico Polipropileno Injertado (Mapp)</b>			

Mejora la unión entre la matriz de polímero y la fibra natural. Sin especificación de porcentajes y metodologías de tratamiento.

<b>Tratamientos Con Resina</b>		
	Tipo De Resina	Sustancia Química
6	Poliéster	octoato de cobalto
7	Epoxi flexible	acetona (1g resina / 200 ml acetona)
4	<b>Tratamiento Con Silano</b>	
	TIEMPO SUMERGIDO / TEMPERATURA	TIEMPO SECADO / TEMPERATURA
	1 hora / 25 °C	24 horas / 60°C
		PORCENTAJE DE SOLUCION
		90% metanol 10 % agua
	<i>NOTA:</i> El pH de la solución se ajustó a 3,5 con ácido acético con agitación continua durante 10 minutos y se añadió el peróxido de dicumilo	
8	<b>Tratamiento Con Peróxido</b>	
	6% en peso de solución de peróxido de dicumilo en acetona durante 30 minutos	

*Nota.* Cuadro elaborado por el autor con base en los siguientes artículos científicos: (1) Jaramillo, Hoyos & Santa, 2016; (2) Jayamani et al., 2014; (3) Chandramohan & Presin 2017; (4) Herrera & Valadez (2004); (5) Amir et al., 2017; (6) Paredes et al., 2017; (7) Nuthonga et al., 2013; (8) Jordan W & Chestera P (2017).

Debido a que estos tratamientos deben ser comprobados a nivel estructural del material, se elaboró una tabla con las normas ASTM usadas en los artículos investigados. La tabla 4 muestra la fuerza y el material que se está evaluando junto con la referencia de la norma.

Tabla 4. *Normas ASTM empleadas para comprobaciones mecánicas de NFC. Elaborada por la autora.*

<b>Normas ASTM</b>		
Fuerza	Norma	Materiales
Tracción	D3039-14	Materiales compuestos de matriz polimérica
	D638	Plásticos
Flexión	D7264M-07	materiales compuestos de matriz polimérica

	D790-10	plásticos no reforzados y reforzados y materiales aislantes eléctricos
Impacto	D5628-10	muestras planas de plástico rígido por medio de un dardo en caída
Tensión	D638	Plásticos
Cizalla	D5379	materiales compuestos por el método de viga con muesca en V
	D7078	materiales compuestos por el método de corte de riel con muesca en V
Charpy	D256	Plásticos

Con base en la investigación se concluye también que las fibras vegetales que han sido más estudiadas como refuerzo de matriz polimérica son: el kenaf, cañamo, yute, lino y sisal, adicionalmente existen otras también de gran interés en el área como las fibras provenientes del plátano, algodón reciclado, henequén, hoja de piña, bambú, fique, madera, abacá, ramio, malla de lana, paja o granos. Sin embargo, existe aún una cantidad considerable de fibras alrededor del mundo que no han sido estudiadas a fondo, por lo que se espera que este tipo de compuestos siga teniendo numerosos avances en el futuro. Por otro lado, se encuentran las resinas como principal polímero empleado y otros plásticos muy estudiados como el polipropileno, poliéster, poliuretano rígido, polietileno de alta y baja densidad, entre otros polímeros sintéticos y naturales.

Las áreas de aplicación de estos compuestos son numerosas y solo se ven restringidas por la baja resistencia a microorganismos y reducidas propiedades estructurales, sin embargo, son más las ventajas presentes en el material por lo que existe un amplio campo para su aplicación en diferentes industrias, lo cual, puede llegar a disminuir en gran medida el uso de materiales petroquímicos.

Por otro lado, el material desarrollado con base en la investigación sobre NFC y diferentes pruebas experimentales en donde se usó como matriz resina poliéster reforzada con fibra corta de fique, mota de fique, tuza triturada y algas rojas, se concluyó que la formula y el proceso más efectivo para la elaboración del material es el que se expone a continuación en la figura 5.



Figura 9. Formula y proceso de elaboración de NFC. Elaborado por la autora.

Los resultados de las pruebas sugieren que es necesario duplicar el volumen total del molde para conseguir la cantidad del compuesto necesario para la muestra, es decir el 100% para el volumen total, al cual se le debe hallar el 70% para la fibra y 30% para la resina,

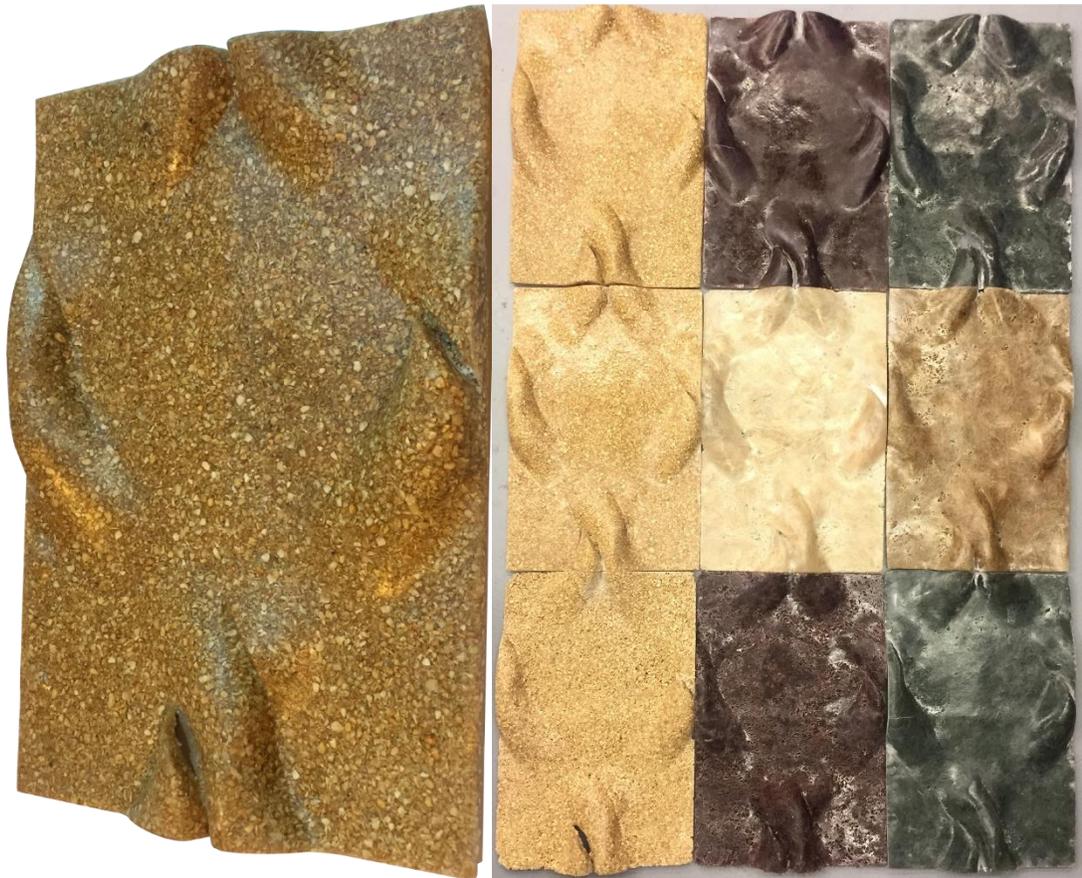
esta cantidad de resina se toma como el 100% y se usa un 10% máximo de monómero de estireno y 2% de catalizador peróxido de mec.

## **5.2. Desarrollo del Producto**

Teniendo como punto inicial el tema de investigación sobre polímeros reforzados con fibras naturales y su aplicación en la industria, se desarrolló un producto para revestimiento de paredes en interiores con propiedades de difusión acústica a partir de compuestos de fibra natural (NFC). Estas propiedades acústicas tienen como finalidad mitigar el ruido y mejorar el sonido por medio de la absorción y difusión generada por las propiedades del material y el desarrollo formal del panel. A su vez los paneles son una opción estética para dar acabado a paredes y muros. Está diseñado para interiores de vivienda, restaurantes o lugares con un ambiente poco ruidoso donde el sonido no sobrepasa los 80 decibeles para su correcto funcionamiento acústico. Cabe aclarar que existen diferentes parámetros para controlar cada tipo de frecuencias y se requiere de conocimientos técnicos para el diseño de un difusor apto para salas de grabaciones, por lo tanto, el panel propuesto no se calificara como profesional y no será útil desde su función acústica, por ejemplo, en establecimientos donde exista música a un elevado volumen como bares, discotecas, teatros, etc.

La forma propuesta del módulo es rectangular debido a la reducción de residuos de espacio, costos de transporte y ventajas espaciales para recubrir toda la pared, adicionalmente esta forma también se fundamenta en mejores propiedades acústicas. Por otra parte, la superficie del panel posee relieves semicilíndricos con diferentes alturas que proporcionan un incremento en la difusión del sonido. Además, estas formas logran generar patrones naturales por medio de las líneas curvas, permiten distintas composiciones y están

en sintonía con el mercado actual. La apariencia formal de la superficie de los paneles nace de la forma básica del maíz y los patrones dan la connotación de naturaleza gracias a las líneas orgánicas, pudiéndose interpretar los patrones resultantes de diferentes maneras, como, por ejemplo, un capullo, fuego, semilla, tejido, entre otros.



*Figura 10.* Fotografía del panel final en olote de maíz y paneles en conjunto formando el patrón respectivamente, reforzados estos últimos con mota de fique y olote de maíz.

Por otro lado, la instalación del panel fue vista como una oportunidad de diseño, debido a que este tipo de productos es comúnmente adherido a la pared con ayuda de pegamento, por lo que se exploraron diferentes opciones de sistemas flotantes que permitieran diversas composiciones generando el menor daño posible en la pared. Para lo cual se desarrolló un

sistema conformado por una base unida a la pared que por medio de uniones sostiene ocho paneles a su alrededor, sin embargo, se concluyó que este sistema podría aumentar los costos de fabricación y adicionalmente no solucionan aun todos los requerimientos necesarios para recubrir una pared. Por esta razón se adaptó para el sistema de instalación cintas adhesivas Command de la marca 3M, lo cual permite diferentes composiciones sin dejar daños en la pared y se pueden reemplazar en caso de ser necesario. El panel tiene la marca indicativa del lugar donde deben ir adheridas las cintas según indicaciones técnicas del producto Command 3M. En la figura 5 se muestra la secuencia de instalación ilustrada junto con la desinstalación del panel.



Figura 11. Secuencia adaptada de las cintas command 3M a la instalación del panel. Elaborado por el autor.

Adicionalmente el material fue aplicado como revestimiento en otro producto elaborado dentro del grupo de investigación, específicamente en la carcasa del dispositivo de transformación de materiales compuestos de biopolímeros, elaborado por Natalia Cárdenas como proyecto de grado para optar por el título de diseñadora industrial. (Cárdenas, 2019).



*Figura 12.* Tebico: Dispositivo para transformar biopolímeros. Desarrollada por Natalia Cardenas

## 6. Conclusiones

El desarrollo de un producto para revestimiento de interiores con propiedades acústicas y la carcasa para el dispositivo de transformación (Cárdenas, 2019) comprueba que los campos de aplicación en la industria de los NFC son amplios y tienen pocas limitantes

como lo es su baja resistencia a microorganismos y reducidas propiedades estructurales, para las cuales se están buscando soluciones actualmente. Sin embargo, ofrecen una serie de ventajas sobre otros materiales, tales como baja densidad, reducción relativa de la masa, mayor amortiguación acústica, propiedades mecánicas específicas competitivas, buen funcionamiento con gran estabilidad, ventajoso en cuestión de costo en comparación con las estructuras tradicionales, sano uso y manipulación en comparación con la fibra de vidrio; estos no emiten humos tóxicos en condiciones de calor, son un recurso continuamente renovable y tienen un proceso de reciclaje por incineración con recuperación de la energía. Estas propiedades han logrado posicionar a los NFC como una solución viable para el reemplazo de materiales petroquímicos y otros que son fuente de contaminación, principalmente en la industria de construcción, automotriz y geotextil en múltiples productos de estos campos y en otros.

Por otro lado, gracias al desarrollo del proyecto, los conocimientos sobre diseño se evaluaron y reforzaron, junto con habilidades de estrategias de búsqueda de información y escritura. Adicionalmente cabe resaltar el aprendizaje del trabajo interdisciplinario y como grupo de investigación, el cual recreo un campo laboral real que ayudo a fortalecer diferentes competencias y habilidades profesionales.

### **6.1. Direcciones futuras**

- Se espera que el material informativo realizado en el presente proyecto sirva como base en un futuro para nuevas aplicaciones en productos y nuevas exploraciones de los NFC con diferentes refuerzos de fibras y matrices poliméricas como por ejemplo el PLA reutilizado.

- Continuar con investigaciones y comprobaciones con respecto a los tratamientos compatibilizantes y de retardantes de llama para futuras aplicaciones, con base en el cuadro de tratamientos resultante del estado del arte
- Realizar pruebas mecánicas del material fabricado a partir de las normas ASTM, las cuales quedaron clasificadas y definidas a partir del estado del arte. Los documentos de las normas se encuentran en posesión del grupo de investigación.
- Buscar soluciones para mejorar los acabados del material, específicamente para después del corte, de lijar y en los ensambles de piezas diferentes. Junto con arreglos de la superficie del material de ser necesario.
- Experimentar con tintes preferiblemente naturales para los granos de tusa de maíz y otras fibras, lo cual daría más opciones de acabados y personalizados. Igualmente realizar más muestras en las que el material sea combinado junto con otras fibras, no necesariamente revueltas, es decir, formando figuras en las que se combinen las fibras dentro del producto.
- Continuar investigando y mejorando el proceso de fabricación y porcentajes empleados en la mezcla que mejoren tiempos y acabados del producto, esto visto desde el área industrial, que garantice la viabilidad del material.

## 7. Glosario

1. **Análisis termogravimétrico.** Ha sido definido como un grupo de técnicas en la cual una propiedad de una muestra es monitoreada con relación al tiempo o temperatura. (White, James y Legendre, 2011)
2. **Bambú.** Planta gramínea originaria de la India, con hojas de color verde claro con forma de lanza, que se usa en la construcción de casas, muebles y otros objetos por su resistencia y flexibilidad. (Universidad de Sassari, 2017)
3. **Cabuya:** Fibra generalmente de fique o sisal con la que se hacen cuerdas y tejidos. (Larousse,2017-2018)
4. **Cáñamo.** Planta herbácea, con tallo erguido, ramoso, áspero, hueco y veloso, hojas lanceoladas y opuestas, y flores verdosas. Fibra textil que se obtiene de esta planta. (Larousse,2017-2018)
5. **Constante dieléctrica.** La constante dieléctrica, o permitividad relativa, de un medio continuo hace referencia a una propiedad macroscópica de un medio dieléctrico relacionándolo con la permitividad eléctrica del medio. (educaplus, s.f.)
6. **Eucalipto.** Árbol de gran tamaño y hojas muy olorosas y balsámicas, originario de Australia, que crece en las regiones cálidas. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 1981)
7. **Fibra De Vidrio.** Es un material fibroso conformado por un tejido de vidrio fino, es empleado comúnmente como refuerzo. (García,2011)
8. **Fique.** Es uno de los nombres que recibe la planta perteneciente a la familia botánica Agave. (Educalingo, 2019)
9. **Kenaf.** Es una planta de la cual se extrae fibra natural y es empleada en la industria de textiles, pulpa, papel, cuerdas y combustible, entre otras. (Echo community, 2017)
10. **Lino.** Planta herbácea de hojas lanceoladas y alternas, de tallo grueso y recto, flores grandes de color azul con cinco pétalos, y fruto en cápsula. Materia textil que se obtiene de los tallos de esta planta. (Larousse,2017-2018)
11. **MAPP:** Su propósito como agente de acoplamiento es mejorar la unión entre la fibra natural que es hidrófilo para ser fusionados o incrustado en la matriz de PP que es de naturaleza hidrófoba. (Amira et al., 2017)

12. **Materiales Compuestos.** son el producto de la combinación de materiales simples con diferentes características, cuyas propiedades son mejores que las de los constituyentes de manera individual. (Guerrero, et al., 2013)

13. **Módulo de Young.** Se denomina módulo de elasticidad a la razón entre el incremento de esfuerzo y el cambio correspondiente a la deformación unitaria. Si el esfuerzo es una tensión o una compresión, el módulo se denomina módulo de Young. (Martínez y Azuaga, 1997)

14. **MPa:** Se define como la presión que ejerce una fuerza de 1 newton sobre una superficie de 1 metro cuadrado normal a la misma. (Diccionario alemán educalingo [Educalingo], 2017-2018)

15. **Olote.** Residuo producido luego de desgranar la mazorca de maíz. (Educalingo,2019)

16. **Poliéster.** Es un elastómero formado a partir de un "polímero" de macromoléculas lineales cuya cadena contiene éster y ácido terftálico. Usado ampliamente en la industria textil. (Ivester y Neefus, 1989)

17. **Polietileno alta densidad (HDPE).** Es el polímero termoplástico más comercializado de todos, debido a su fácil fabricación, bajo costo, resistencia térmica y química, entre otras propiedades. (Casiopea, 2015)

18. **Peletización.** Es un proceso que consiste en la elaboración de material reciclado, en forma de gránulos. Se emplean máquinas y equipos complementarios que contribuyen al proceso. (Becerra y Choperena, 2007)

19. **Polipropileno.** Es un polímero termoplástico formado de enlaces simples carbono-carbono y carbono-hidrógeno, perteneciente a la familia de las poliolefinas. (Polipropileno del Caribe S.A [Esenttia], s.f.)

20. **Poliuretano Rígido.** Es un polímero con múltiples aplicaciones industriales y es el producto más utilizado en el aislamiento de los edificios industriales y residenciales por su eficiencia energética. (Asociación de la Industria del Poliuretano Rígido [IPUR), 2018)

21. **Pruebas de impacto charpy.** Es un ensayo por el cual se puede conocer el comportamiento que tienen los materiales al impacto, y consiste en golpear mediante una masa una probeta con un péndulo. (Ortega, 2006)

22. **Resinas epoxi.** O poliepóxidos, son polímeros termoestables, que se endurecen cuando se mezclan con un agente catalizador o endurecedor. (Superintendencia de Riesgos del Trabajo [SRT], 2017)

23. **Sisal.** Fibra textil flexible y resistente obtenida de esta planta, que se utiliza para hacer cuerdas, sacos y cordeles. (Larousse,2017-2018)

24. **SIP:** Son elementos modulares conformados por dos placas firmemente adheridas a un núcleo de Poliestireno Expandido de Alta Densidad, que a través de un proceso industrial se transforman en un elemento estructural de alta resistencia mecánica y gran capacidad de aislación térmica. (Multipod, s.f.).

25. **Yute.** Es el nombre común dado a la fibra extraída de los tallos de las plantas que pertenecen al género corchorus, familia Tiliaceae. (Alves, et al., 2014)

## 8. Referencias

- Abilash N & Sivapragash (2013). Environmental benefits of eco-friendly natural fiber reinforced polymeric composite materials. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM)*, 53-59.
- Alves C, Ferrao P, Silva A, Reis L, Freitas M, Rodrigues L & Alves D.(2010) Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. *Journal of Cleaner Production*, 313–327.
- Amir N, Zainal K & Binti F (2017) Effects of Fibre Configuration on Mechanical Properties of Banana Fibre/PP/MAPP Natural Fibre Reinforced Polymer Composite. *Procedia Engineering*, 573 – 580.
- Asim M, Abdan K, Jawaid M, Nasir M, Dashtizadeh Z, Ishak M & Hoque M (2015). A Review on Pineapple Leaves Fibre and Its Composites. *International Journal of Polymer Science*. 1-17.
- Basso M, Cerrella E & Cukierman A. (2002). Empleo De Algas Marinas Para La Biosorción De Metales Pesados De Aguas Contaminadas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 69 – 74.
- Batouli S, Zhu Y, Nar M & D’Souza N (2014) Environmental performance of kenaf-fiber reinforced polyurethane: A life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*, 164-173.

- Bavan D & Kumar M (2010). Potential use of natural fiber composite materials in India. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 3600-3613.
- Bavan S & Kumar M (2010). Potential use of natural fiber composite materials in India. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 3600-3613.
- Berardi U & Iannace G (2015), Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications. *Building and Environment*, 840-852.
- Bledzki A, Sperber V & Faruk O (2002). Natural and Wood Fibre Reinforcement in Polymers. *Rapra Review Reports*, 3-144.
- Camposo A, Neves S, Salgado F, Muylaert F, Santos da Luz F & de Oliveira F. (2017). Charpy impact tenacity of epoxy matrix composites reinforced with aligned jute fibers. *Journal of Materials Research and Technology*, 312-316.
- Carvalho H, Raposo A, Ribeiro I, Kaufmann J, Götzec U, Peças P & Henriques E. (2016) Application of Life Cycle Engineering approach to assess the pertinence of using natural fibers in composites – the rocker case study. *ScienceDirect*, 364-369.
- Chandramohan D & Presin A (2017). Experimental data on the properties of natural fiber particle reinforced polymer composite material. *Data in Brief*, 460-468.
- Cordoba L, Córdoba J, Salcedo E, Zamora J, Manríquez R, Contreras H, Robledo J & Delgado E. (2013). Caracterización Y Valoración Química Del Olote: Degradación Hidrotérmica Bajo Condiciones Subcríticas. *Revista latinoamericana de química*. 171-184.
- De Oliveira C, Margem F, Monteiro S & Duarte F (2017). Comparison between tensile behavior of epoxy and polyester matrix composites reinforced with eucalyptus fibers. *Journal of Materials Research and Technology*, 406-410.
- Desing Council (2015) Design methods for developing services. 2-23.
- Echavarría B, Franco A & Martínez A. (2009). Evaluación De La Actividad Antioxidante Y Determinación Del Contenido De Compuestos Fenólicos En Extractos De Macroalgas Del Caribe Colombiano. *Revista De La Facultad De Química Farmacéutica*. 121-131.
- España J & Peña V (2013). Estrategia para el mejoramiento ambiental de las prácticas productivas y aumento de la productividad del fique en mercados verdes. Tesis de Grado, Maestría en Gestión Ambiental. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. 136 pp.
- Fowler P, Hughes J & Elias R (2008), Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1921-1926.

- Groover M (1997). Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas. Pearson Education.
- Guerrero V, Pontón P, Tamayo A, Villacís H, Delgado F & Galeas S. (2013) Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas. Departamento de Materiales Escuela Politécnica Nacional, 70-74.
- Hermida, D. C. (2008). Cadena agroindustrial del Fique. Bogotá: CADEFIQUE.
- Herrera P & Valadez A (2004). Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 339–345.
- Hormaza A, Figueroa D & Moreno A. (2012). Evaluation of the Removal of an Azo Dye on. Revista de la Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia, 61-71.
- Jaramillo N, Hoyos D & Santa J (2016) Compuestos de fibra de hoja de piña fabricados mediante moldeo por compresión por capas. Ingeniería y Competitividad, 151 – 162.
- Jayamani E, Hamdan S, Rahman M & Bin M (2014) Comparative Study of Dielectric Properties of Hybrid Natural Fiber Composites. Procedia Engineering, 536 – 544.
- Jordan W & Chester P (2017) Improving the Properties of Banana Fiber Reinforced Polymeric Composites by Treating the Fibers. Procedia Engineering, 283–289.
- Joshia S, Drzal L, Mohanty A & Arora S (2004). Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? composites part A: Applied Science and Manufacturing. Sciencedirect, 371-376.
- Linares E. (1994). Inventario preliminar de las plantas utilizadas para elaborar artesanías en Colombia. Universitas Scientiarium, 7- 43.
- Linares E, Galeano G, García N & Figueroa Y. (2008). Fibras Vegetales Utilizadas en Artesanías en Colombia. Artesanías de Colombia S.A., Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 328 pp.
- Majewski T & Błędzki A (2013). Desarrollo y aplicaciones actuales de los plásticos reforzados por fibras naturales. sociedad mexicana de ingeniería mecánica SOMIM, 676-682.
- Mohammed L, Ansari M, Pua G, Jawaid M, & Islam M (2015). A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composite and Its Applications. International Journal of Polymer Science, 1-15.

- Mohanty A, Wibowo A, Misra M & Drzal L (2004). Effect of process engineering on the performance of natural fiber reinforced cellulose acetate biocomposites. *ScienceDirect*, 363-370.
- Nuthonga W, Uawongsuwan P, Pivsa-Art W & Hamadab H (2013) Impact Property of Flexible Epoxy Treated Natural Fiber Reinforced PLA Composites. *Energy Procedia*, 839 – 847.
- Paredes J, Pérez C & Castro C (2017) Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz. *Enfoque UTE*, 1 – 15.
- Peñaranda L, Montenegro S & Giraldo P (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Revista de investigación agraria y ambiental*, 1-15.
- Rajasha M, Pitchaimania J & Rajinib N (2016). Free Vibration Characteristics of Banana/Sisal Natural Fibers Reinforced Hybrid Polymer Composite Beam. *Procedia Engineering*, 1055 – 1059.
- Salvador M, Amigó A, Nuez A, Sahuquillo O, Llorens R & Martí F (2008) Caracterización de fibras vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticos. *Journal of Cleaner Production*, 573-580.
- Sánchez I (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Reduca (Biología)*. Serie Botánica, 151-171.
- Taj S, Munawar M & Khan S. (2007). Natural fiber-reinforced polymer composites. *Proc. Pakistan Acad. Sci*, 129-144.
- Villalobos A, Calderón L, Figueroa C, Fierro J, Otálora G, Álvarez R, Quevedo B, Mercado M, Huertas M & Trespacios A. (2007). Evaluation For Ecométric Method Of Agarobtained Of Colombian Red Algae. *Universitas Scientiarum*. 57-65.
- Zah R, Hischier R, Leao A & Braun I (2007), Curauá fibers in the automobile industry - a sustainability assessment. *Journal of Cleaner Production*, 1032-1040.

## **Glosario**

- Amira N, Ariff K y Binti F (2017). Effects of Fibre Configuration on Mechanical Properties of Banana. *Procedia Engineering*, 573 – 580.
- Becerra J y Choperena S. (2007). Estudio de prefactibilidad para producir y comercializar plástico reciclado. Tesis de grado, Título de Ingeniero mecánico. Universidad EAFIT. Medellín. 38 pp.
- Cabuya: definiciones, palabras relacionadas, homófonos, ejemplos de uso de diccionarios Larousse. Diccionario online Larousse.

- <https://www.larousse.mx/resultados/?diccionario=esp&palabra=cabuya>. Accedido el 17 de abril de 2019.
- Cañaño: definiciones, palabras relacionadas, homófonos, ejemplos de uso de diccionarios Larousse. Diccionario online Larousse.  
<https://www.larousse.mx/resultados/?diccionario=esp&palabra=canamo>. Accedido el 17 de abril de 2019.
- Constante dieléctrica. Educaplus. <http://www.educaplus.org/elementos-quimicos/propiedades/constante-dielectrica.html>. Accedido el 17 de abril de 2019.
- El eucalipto en la repoblación forestal. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. <http://www.fao.org/3/a-ac459s.pdf>. Publicado en 1981. Accedido el 17 de abril de 2019.
- García S. (2011). Fibras y materiales de refuerzo: los poliésteres reforzados aplicados a la realización de piezas en 3d. Revista Iberoamericana de Polímeros, 268 – 282.
- HDPE, Polietileno de Alta Densidad. Casiopea.  
[https://wiki.ead.pucv.cl/images/d/d4/Clase\\_3\\_construcci%C3%B3n\\_1\\_n%C3%A1utica\\_2015\\_HDPE.pdf](https://wiki.ead.pucv.cl/images/d/d4/Clase_3_construcci%C3%B3n_1_n%C3%A1utica_2015_HDPE.pdf). Publicado en el 2015. Accedido el 17 de abril de 2019.
- Ivester A y Neefus J. Poliester. Industria de productos textiles. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo (insht).  
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/89.pdf>. Publicado en 1989. Accedido el 17 de abril de 2019.
- Kenaf. Ficha de información sobre plantas. ECHOcommunity.  
<https://www.echocommunity.org/es/resources/0c7d3f59-ca83-4037-a511-0b875e4ff1b6>. Publicado en el 2017. Accedido el 17 de abril de 2019.
- Lino: definiciones, palabras relacionadas, homófonos, ejemplos de uso de diccionarios Larousse. Diccionario online Larousse.  
<https://www.larousse.mx/resultados/?diccionario=esp&palabra=lino>. Accedido el 17 de abril de 2019.
- Martínez P y Azuaga M (1997). Medición del módulo de elasticidad de Young. Universidad de Buenos Aires, Dpto. de Física, 1-11.
- MPA. Definición y sinónimos de olote en el diccionario español. Educalingo.  
<https://educalingo.com/es/dic-de/mpa>. Accedido el 17 de abril de 2019.
- Olote. Definición y sinónimos de olote en el diccionario español. Educalingo.  
<https://educalingo.com/es/dic-es/olote>. Accedido el 17 de abril de 2019.
- Ortega Y. (2006). Prueba de impacto: ensayo Charpy. Revista mexicana de física, 51-57.
- Polipropileno. Información sobre polipropileno y generalidades. Polipropileno del Caribe S.A (Esentia).  
[https://www.esentia.co/downloadableFiles/technologyServices/informacionPolipropileno/Polipropileno\\_y\\_generalidades.pdf](https://www.esentia.co/downloadableFiles/technologyServices/informacionPolipropileno/Polipropileno_y_generalidades.pdf). Accedido el 17 de abril de 2019.

- Poliuretano rígido. El poliuretano rígido, poliuretano proyectado, aislamiento térmico. Asociación de la industria del poliuretano rígido (IPUR). <https://aislaconpoliuretano.com/sobre-ipur/el-poliuretano-rigido>. Accedido el 17 de abril de 2019.
- Resina epoxi. Superintendencia de Riesgos del Trabajo SRT. [https://www.srt.gob.ar/wp-content/uploads/2017/03/Ficha\\_tecnica\\_Resinas.pdf](https://www.srt.gob.ar/wp-content/uploads/2017/03/Ficha_tecnica_Resinas.pdf) Publicado en el 2017. Accedido el 17 de abril de 2019.
- SIP. Paneles estructurales isotérmicos. Multipod. <http://multipod.com.ar/Multipod-paneles.pdf>. Accedido el 17 de abril de 2019.
- Sisal: definiciones, palabras relacionadas, homofonos, ejemplos de uso de diccionarios Larousse. Diccionario online Larousse. <https://www.larousse.mx/resultados/?diccionario=esp&palabra=sisal>. Accedido el 17 de abril de 2019.
- Universidad de Sassari. (2017) Manual tecnico del bambú para productores. Servicio nacional forestal y de fauna silvestre [Serfor]. 5 pp.
- White J. James W y Legendre B (2011). Biomass pyrolysis kinetics: A comparative critical review with relevant agricultural residue case studies. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 1-33.