

**DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO A PARTIR DE COMPUESTO  
BIODEGRDABLES**

AUTORES:

JORGE ANDRÉS ESCOBAR MEJÍA

SARA RODRIGUEZ URREA

ALEJANDRA URIBE NOREÑA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL

MEDELLÍN-ANTIOQUIA

2018

**EJE DE FORMACIÓN EN INVESTIGACIÓN**

**MONOGRAFÍA:**

**DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO A PARTIR DE COMPONENTES  
BIODEGRADABLES**

**AUTORES:**

JORGE ANDRÉS ESCOBAR MEJÍA

SARA RODRIGUEZ URREA

ALEJANDRA URIBE NOREÑA

**ASESORES:**

ALEJANDRO A. ZULETA GIL

DAVID ANDRES TORREBLANCA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

FACULTAD DE DISEÑO INDUSTRIAL

MEDELLÍN-ANTIOQUIA

2018

## **DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD**

“Declaro que esta monografía no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o en variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art. 82 Régimen Disente de Formación Avanzada, Universidad Pontificia Bolivariana.

Autores:

Jorge andrés escobar mejía

Sara rodriguez urrea

Alejandra uribe noreña

## **AGRADECIMIENTOS**

Asesor en pruebas de tracción y normas, personal de laboratorio.

- Daniel Pelaez Cuellar

Profesores y asesores del proyecto

- Alejandro Alberto Zuleta Gil
- Diana Alejandra Urdinola Serna
- David Andres Torreblanca Diaz

## Tabla de contenido

Introducción .....	8
Planteamiento del problema.....	9
Tema general del proyecto .....	9
Características generales del proyecto de investigación.....	9
Problema de investigación identificado.....	9
Pregunta de investigación.....	11
Elementos del problema de investigación.....	11
Limitaciones de la investigación: alcance del proyecto .....	11
Justificación .....	12
Relevancia dentro de la problemática identificada.....	12
Pertinencia dentro del ámbito del Diseño Industrial.....	12
Marco de referencia .....	13
Antecedentes.....	13
Materiales Compuestos con fibras.....	13
Direccionamiento de las fibras.....	14
Estado del arte.....	15
Conceptualización de los elementos del problema .....	17
Objetivos .....	20
Objetivo general .....	20
Objetivos específicos .....	20
Metodología .....	21
Revisión de la literatura.....	21
Obtención de muestras de materiales compuestos con fibra de coco y patrones de orientación. .....	21
Pruebas de tracción.....	22

Resultados y discusión.....	24
Fabricación de probetas de material compuesto.....	25
Pruebas de tracción de las probetas.....	26
Ensayos adicionales.....	29
Conclusiones.....	33
Referencias.....	34
Anexos.....	36
Anexo 1.....	36
Anexo 2.....	36
Anexo 3. Artículo.....	39

## **Listado de figuras**

*Figura 1.* Cambios de la gelatina-alúmina según variación de sus fibras.

*Figura 2.* Representación gráfica de la estructura de un material compuesto.

*Figura 3.* Tiempo de degradación de diferentes materiales.

*Figura 4.* Tipos de esfuerzos mecánicos.

*Figura 5.* Fabricación del molde para la fabricación de las probetas proceso anterior al realizar los ensayos mecánicos.

*Figura 6.* Fotografías del ensayo preliminar para la obtención de la matriz polimérica con diferentes espesores.

*Figura 7.* Acercamiento al material, Aproximación a la forma de la experimentación.

*Figura 8.* Variables.

*Figura 9.* Diferentes tipos de fallas que se presentaron en las pruebas de tracción.

*Figura 10.* Ensayos adicionales.

## **Listado de tablas**

*Tabla 1.* Formulación para la fabricación del material.

*Tabla 2.* Cambio dimensional de las probetas.

*Tabla 3.* Datos obtenidos por la prueba de tracción.

*Tabla 4.* Formulación para los ensayos adicionales.

*Tabla 5.* Cambios dimensionales en el proceso de secado de los ensayos adicionales.

## **Introducción**

El desarrollo de materiales compuestos sostenibles se ha venido implementando con el paso de los años utilizándose como alternativa para sustituir los polímeros derivados del petróleo y así disminuir, de manera parcial, el impacto medio ambiental. Las características principales de estos nuevos materiales son su capacidad de biodegradarse, la reutilización de residuos agroindustriales y reciclabilidad. Entre los recursos renovables se destacan los residuos de la fibra de coco y la gelatina provenientes de la agroindustria, los cuales pueden ser moldeados de manera tradicional como la extrusión, inyección y vaciado. El presente proyecto de investigación se basó en el desarrollo de un material compuesto biodegradable a partir de la gelatina como matriz para la generación de películas y la fibra de coco como material de refuerzo que al ser trabajados en conjunto mejoran sus propiedades específicamente las de tenacidad, pero posteriormente podría usarse como sustituto de algunos materiales poliméricos. Para este proyecto se fabricaron muestras de igual forma y tamaño a las cuales se les estableció una concentración (11.8%) y varió la orientación de las fibras de coco empleadas como refuerzo (45° y 90° con respecto a la horizontal), con la intención de determinar el efecto de estas condiciones sobre su comportamiento mecánico de tracción. Finalmente, el proyecto aporta al conocimiento de una nueva propuesta de material sostenible y contribuye con la potenciación del uso de materiales amigables con el nuevo ambiente con potencial de aplicación en el diseño industrial.



## **Planteamiento del problema**

### **Tema general del proyecto**

Desarrollo de un material compuesto biodegradable a partir de componentes naturales.

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

En este proyecto se llevó a cabo una investigación experimental en la cual se establecieron los parámetros para la fabricación de un material compuesto a partir de gelatina y fibra de coco, con el fin de estudiar el efecto de la cantidad y orientación de las fibras sobre las propiedades mecánicas del material compuesto obtenido. El proceso inició con el planteamiento de una metodología para fabricación de las probetas, seguido por su caracterización visual y mecánica, esta última realizada mediante ensayos de tracción. Todo lo anterior con el fin de plantear este material como alternativa a los materiales poliméricos convencionales.

### **Problema de investigación identificado**

Los materiales poliméricos hacen parte del 40% de los residuos generados a nivel mundial, los cuales en la mayoría de los casos son tratados inadecuadamente poniendo en riesgo la salud de los seres vivos y el ecosistema (Mundo, 2017). Sin embargo, sus características mecánicas, su fácil obtención y desarrollo han conllevado a que sigan siendo de los principales materiales utilizados en la industria para satisfacer las necesidades de la población mundial.

Durante las operaciones de explotación, extracción y transporte, los materiales pueden contaminar el medio ambiente circundante a través de filtraciones accidentales o deliberadas. De esta manera, durante las últimas décadas los hidrocarburos han dado lugar a una amplia

liberación de contaminantes en el medio ambiente. Además, se reporta que la afectación que los hidrocarburos generan a la fertilidad a través de mecanismos como la toxicidad directa en los organismos en el suelo, reducción en la retención de humedad y/o nutrientes, compactación, cambios en pH y salinidad. La toxicidad de los hidrocarburos de petróleo, tanto alifático como aromático, es variable, pero en general, aquellos de menor peso molecular son más tóxicos” (Arias, 2017). Se calcula que el plástico tarda entre 100 y 1.000 años en descomponerse, por lo que está considerado un material de descomposición muy lenta y a largo plazo. Por ejemplo, una botella de plástico tarda más o menos 500 años en desintegrarse, aunque si está enterrada este tiempo se prolonga aún más. (Portal Vida Sana, 2018)

Por otra parte, los adelantos en investigaciones sobre el medio ambiente y nuevos materiales destacan la necesidad de desarrollar nuevos materiales que por sus características sustituyan materiales contaminantes y que generen residuos sólidos, en los últimos años se han hecho muchas investigaciones y desarrollos de nuevos materiales que reemplacen a los polímeros convencionales, entre estos se encuentra el PLA (ácido poliláctico) el cual es de uso muy común como insumo para la impresión 3D y también ha tenido mucho éxito en el campo médico.

También se han desarrollado polímeros derivados del almidón, pero las propiedades mecánicas de estos polímeros son generalmente inferiores a los polímeros derivados de la petroquímica. Son fáciles de procesar, pero vulnerables a la degradación (David Aradilla Zapata, 2012). Por lo anterior, se hace entonces necesario plantear nuevas alternativas materiales que sean más amigables con el medio ambiente y que presenten comportamientos mecánicos mejorados. Con la ejecución de este proyecto de investigación se busca desarrollar un material que sea amigable con el medio ambiente a partir de un polímero biodegradable y un refuerzo natural.

### **Pregunta de investigación**

Para un material compuesto biodegradable, ¿cuál es la combinación entre la composición y la orientación de las fibras que arrojan mejores propiedades mecánicas?

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

Los elementos más importantes que conforman el problema planteado son: materiales poliméricos, contaminación ambiental, material compuesto, materiales biodegradables, gelatina, fibra de coco, propiedades mecánicas.

### **Limitaciones de la investigación: alcance del proyecto**

Se busca desarrollar un material compuesto con una matriz polimérica conformada con gelatina y glicerina y con un refuerzo de fibra de coco, al cual se le varía la cantidad y orientación del reforzante con el fin de analizar el comportamiento de éstas al ser sometidas a ensayos de tracción, en comparación con la muestra de material sin reforzante. Este trabajo de investigación comprende desde la fabricación de la muestra hasta la caracterización mecánica y análisis de los resultados. En este trabajo de investigación no se realizará el diseño de productos empleado el material desarrollado.

## **Justificación**

### **Relevancia dentro de la problemática identificada**

El uso industrial de materiales poliméricos y la generación de residuos agroindustriales han creado una alerta por la alta contaminación que éstos ocasionan en el medio ambiente, ya que no cuentan con las condiciones de reciclaje ni la vida útil necesarias, por lo tanto, el desarrollo de nuevas propuestas de materiales se ha convertido en una prioridad para las generaciones futuras.

A pesar de esto, aun no es muy común el uso y aplicación de materiales biodegradables y naturales, ya que en comparación con los materiales generales como lo son el metal, polímeros y otros compuestos pueden estar en desventaja en cuanto a las características más destacadas de éstos. Para esto es importante entender como varía la resistencia mecánica de tracción del material compuesto, con sus variables, a base de gelatina y glicerina con un refuerzo a base de un residuo agroindustrial de fácil acceso, con los bajos costos asociados con el bajo impacto ambiental son a la larga compensados con la inversión inicial y fácil manipulación como lo es la fibra de coco en Colombia.

### **Pertinencia dentro del ámbito del Diseño Industrial**

En el ámbito del Diseño Industrial, el desarrollo de materiales y la fabricación de objetos en la industrial es uno de sus objetivos principales. Actualmente, los objetos son materializados a partir de los materiales comunes como lo son el metal, los cerámicos, los compuestos y los polímeros, dentro de los cuales los polímeros ha sido uno de los materiales más empleados gracias a su bajo costo, fácil acceso, procesabilidad, entre otros, pero con alto impacto ambiental. Por lo tanto, se busca que, con el desarrollo de un nuevo material, a futuro, se puedan sustituir de una manera

adecuada los materiales anteriormente mencionados específicamente los polímeros y se contribuya con el desarrollo de objetos que además de resaltar sus características sostenibles potencien sus cualidades formales, estéticas y mecánicas. Resistencia a la tracción.

## **Marco de referencia**

### **Antecedentes.**

#### **Materiales Compuestos con fibras**

Los compuestos se producen cuando se unen dos o más materiales o fases para dar una combinación de propiedades que no pueden obtenerse de otra manera. Los materiales compuestos pueden seleccionarse para que den combinaciones inusuales de rigidez, resistencia, peso, desempeño a altas temperaturas, resistencia a la corrosión, dureza o conectividad.

La mayoría de los materiales reforzados con fibras mejoran su resistencia, resistencia a la fatiga, el módulo de Young y la razón resistencia a peso incorporando fibras resistentes y rígidas pero frágiles en una matriz blanda y dúctil. El material de la matriz transmite la fuerza de las fibras, la cual soporta la mayoría de la fuerza aplicada. La matriz también provee protección para la superficie de las fibras.

Actualmente se emplean muchos tipos de materiales de refuerzos. Durante siglos la paja se ha utilizado para reforzar los ladrillos de barro. Barras de acero se introducen en las estructuras de concreto. Las fibras hechas de boro, carbono, polímeros y cerámicas proveen un refuerzo excepcional en los compuestos avanzados basados en matrices de polímeros, metales, cerámicos y compuestos intermetálicos. (Donald R. Askeland, 2010)

Las fibras pueden ser cortas, o incluso continuas. Sus dimensiones con frecuencia están caracterizadas por la relación de forma. La resistencia de los compuestos mejora cuando la relación de forma es más grande.

### **Direccionamiento de las fibras**

Durante muchos años se han desarrollado múltiples investigaciones, donde se utilizan fibras de algún material, en el documento de “Soft Matter” (Robertson et. al) se describe el proceso desde la investigación donde como primer paso fue observar los compuestos ya existentes con memoria de forma y buscar en la naturaleza referente de memoria de forma como la *Passiflora Edulis*. Luego de tener referentes y analizar sus comportamientos se pasó a la extracción de las fibras por el método de electrospinning, y se hicieron ensayos térmicos y mecánicos con compuestos de una capa anisotrópica y compuestos de doble capa anisotrópica, cada uno de ellos tenía orientación diferente de las fibras.

“La lámina de fibra se fabricó para ser anisotrópica, siendo las propiedades mecánicas dependientes de la dirección de las fibras. Específicamente, el Módulo de Young, una medida de la rigidez del material, dependía fuertemente de la dirección de la fibra. Esta anisotropía traducida al compuesto, y se demostró que la capacidad de fijar una la forma temporal dependía de la orientación de la fibra PVAc en el A-SMEC”. Fue una de las conclusiones a las que se llegó con esta investigación.

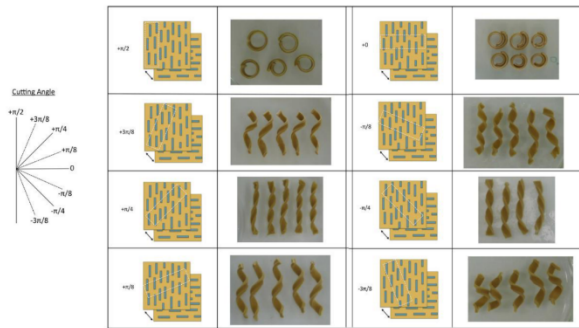


Figura 1. Cambios de la gelatina-alúmina según la variación de sus fibras°. Fuente: Tomado de M. Erc, Sander, Grisch y Studart, 2015

Se hicieron diferentes ensayos, con alúmina y gelatina, jugando con la orientación de las fibras de la alúmina para ver como reacciona. Analizando el comportamiento de material compuesto. (M. Erc, Sander, Grisch y Studart, 2015)

Las escamas de la piña natural varían su escala (se abren o se cierran) teniendo en cuenta la humedad a la que se encuentran. Cuando el ambiente está seco, las piñas suelen abrir sus escamas para liberar semillas y así reproducirse, y por el contrario cuando el ambiente presenta un alto nivel de humedad las escamas se cierran para hidratarse. Lo anterior puede evidenciarse en el siguiente

video: <https://images.nature.com/original/natureassets/ncomms/journal/v4/n4/extref/ncomms2666-s5.mov> (Dawson, F.V Vincent y Rocca, 1997)

## Estado del arte

Se debe tener en cuenta que para la preparación de un material compuesto de una sola lámina ya hay una investigación previa la cual nos ayuda a entender su fabricación. Se prepara un compuesto, se vierte sobre una lámina de fibras, con una espátula y un rodillo para distribuir uniformemente el compuesto, se voltea la lámina y se hace el mismo procedimiento. Luego esta lámina se introdujo en un horno de vacío, (aproximadamente 760 mm Hg) a TA durante 1 h para

ayudar la infiltración de fibra y para eliminar las burbujas de aire. Después de la eliminación del vacío horno, el material compuesto se curó a 30 °C durante 48 h.(Robertson et al, 2015)

En los últimos años se han realizado una gran cantidad de investigaciones y de desarrollos de materiales biodegradables, se encontraron varios estudios sobre desarrollos de materiales con materiales naturales, pero no se encontró ninguno que usara los mismos materiales o usar un proceso similar al planteado en esta investigación.

El primero de ellos es la investigación de María Alejandra García (García, 2017) donde se utilizó base de almidón de mandioca con refuerzo de fibras naturales provenientes del bagazo y la cáscara de la raíz, para este proyecto se utilizaron diferentes plastificantes y aditivos para funcionalizar la matriz.

Otro estudio encontrado es el de un grupo de argentinos (Franco Poggio, 2016), propusieron el desarrollo de recipientes biodegradables para cultivos que puedan ser trasplantados directamente y actuar como fertilizantes. Se eligió gelatina bovina como material base, que se procesó en una mini mezcladora-inyectora junto con una solución concentrada de urea que actuó como plastificante. Se realizaron estudios geológicos y de tracción para evaluar la inyección de las mezclas y las prestaciones mecánicas relacionadas con la aplicación propuesta, en este estudio concluyeron que es factible emplear una matriz de gelatina enriquecida con una solución de urea y recubierta con cera de abeja para el desarrollo de contenedores biodegradables procesados por inyección, y que el recubrimiento con cera de abeja actuó como refuerzo para la matriz, mejorando la estabilidad e integridad de las muestras.

Un tercer estudio hecho por unos investigadores caleños (Lizeth Borrero, 2016), los materiales biocompuestos son una solución a la problemática generada por los plásticos derivados del petróleo, estos se pueden obtener mezclando quitosano con fibras naturales de bagazo de caña las cuales deben de ser sometidas a un proceso de funcionalización con anhídrido



maléico, este proceso se realizó bajo irradiación de microondas y en condiciones libres de disolvente, lo cual es un aspecto positivo tanto económico como ecológico ya que se disminuye la cantidad de reactivos a utilizar y los residuos generados.

### **Conceptualización de los elementos del problema**

A continuación, se definen conceptualmente cada uno de los elementos relevantes de la problemática tratada:

**Materiales poliméricos:** se forman por la unión de un gran número de moléculas de bajo peso molecular, denominadas monómeros. Los plásticos son ejemplo de polímeros. (Juan Carlos Cedrón, 2013)

**Contaminación ambiental:** La contaminación es la presencia en el ambiente de sustancias o elementos dañinos para los seres humanos y los ecosistemas (seres vivos). Existen diferentes tipos de contaminación, pero básicamente se pueden dividir en: contaminación del aire, contaminación de suelos (tierra) y contaminación del agua. (Alcaldía de Bogotá, 2018)

**Material compuesto:** Como se ve en la *figura 2* es una combinación de dos o más materiales a partir de una unión química o no química. Estos materiales que forman el compuesto poseen propiedades mejores que las que presentan los materiales componentes por si solos. (Naval Composites, 2016)

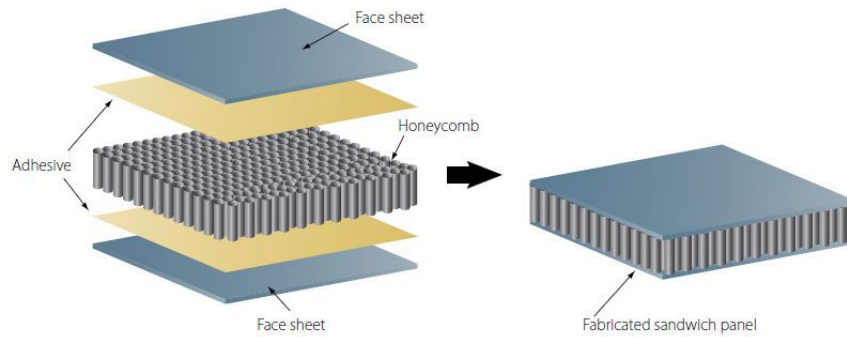


Figura 2. representación gráfica de la estructura de un material compuesto.  
 Fuente: [http://www.admatis.com/eng/competencies\\_material\\_science\\_sandwich.html](http://www.admatis.com/eng/competencies_material_science_sandwich.html)

Materiales biodegradables: Como se ve en la *figura 3*, son aquellos que en su mayor parte tienen un origen natural, suelen ser ‘orgánicos’ o fabricados a base de productos orgánicos, y por lo tanto se degradan/ o reciclan sin necesidad de procesos humanos. El calor del sol, la lluvia, los hongos, el viento, la humedad y las bacterias pueden con ellos y los descomponen de forma natural. (Elena Bellver, 2016)

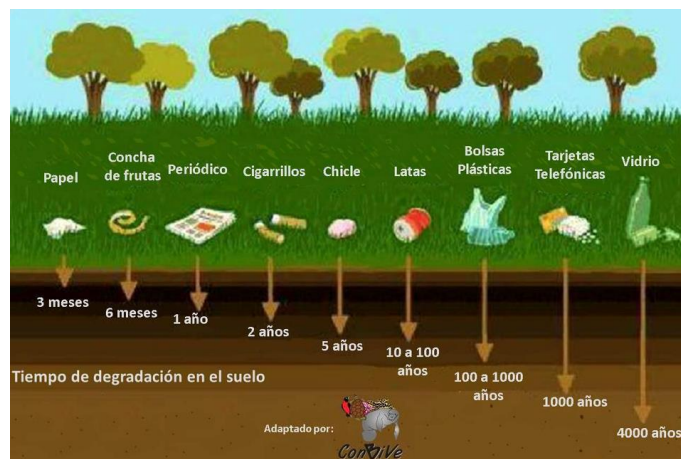
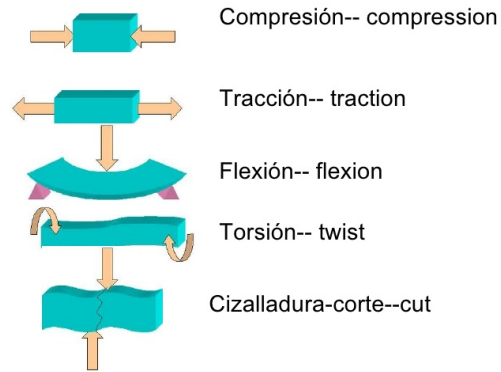


Figura 3. tiempo de degradación de diferentes materiales.  
<http://caelaguila.blogspot.com/2015/07/biodegradable.html>

Propiedades mecánicas: que describen el comportamiento de un material sólido al aplicarle fuerzas de tracción, compresión y torsión. Existen distintas propiedades mecánicas, ellas son: tenacidad, dureza, plasticidad, ductilidad, maleabilidad, elasticidad, entre otras, como se ve en la *figura 4*. (Pedreira, 2017)



*Figura 4.* tipos de esfuerzos mecánicos.

Fuente: <http://tecnologiamartacruanas.blogspot.com/2016/12/4-lesforc.html>

Resistencia a la tracción: Es la cantidad de estrés que el material es capaz de soportar. Cuando un material se estira de manera que la longitud aumenta y disminuye la sección transversal.

(Manufacturing Terms, 2014)

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Desarrollar un material compuesto con una matriz de origen natural reforzada con fibra de coco para su posible aplicación en el campo del diseño industrial como una alternativa amigable con el medio ambiente.

### **Objetivos específicos**

- Definir una matriz de origen natural que permita el uso de la fibra de coco como refuerzo para la obtención de un material compuesto.
- Obtener muestras del material compuesto a partir de la matriz definida variando la cantidad y orientación de las fibras de coco.
- Caracterizar el comportamiento mecánico de cada uno de las muestras obtenidas.
- Establecer la composición y dirección del refuerzo que ofrecen un mejor comportamiento mecánico.

## Metodología

### Revisión de la literatura.

Para esto se llevó a cabo una constante revisión bibliográfica consultando libros, bases de datos y patentes en relación con la fabricación de materiales empleando materias primas naturales. También se determinó el tipo de proceso productivo, formulación y variables que se utilizaría para la fabricación de las probetas y la realización de las pruebas mecánicas.

### Obtención de muestras de materiales compuestos con fibra de coco y patrones de orientación.

Para obtener las muestras de material compuesto se utilizó como matriz un material polimérico biodegradable, preparado con base a un trabajo previo realizado en la Facultad de Diseño Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana, el cual fue trabajado en las composiciones que se indican en la *Tabla 1*.

*Tabla 1.*

Formulación para la fabricación del material

Componente	Concentración	
	Sin fibra	Con fibra
Gelatina (g/L)	240	240
Glicerina (mL/L)	80	80
Fibra de coco (% v/v)	0	11,8

Adicionalmente, se realizaron variaciones con respecto a la orientación de las fibras, las cuales se ubicaron a 90° y 45 ° con respecto a la horizontal en el sentido de la fuerza aplicada en la prueba. Lo anterior, con el fin de determinar cuál será la formulación más adecuada para

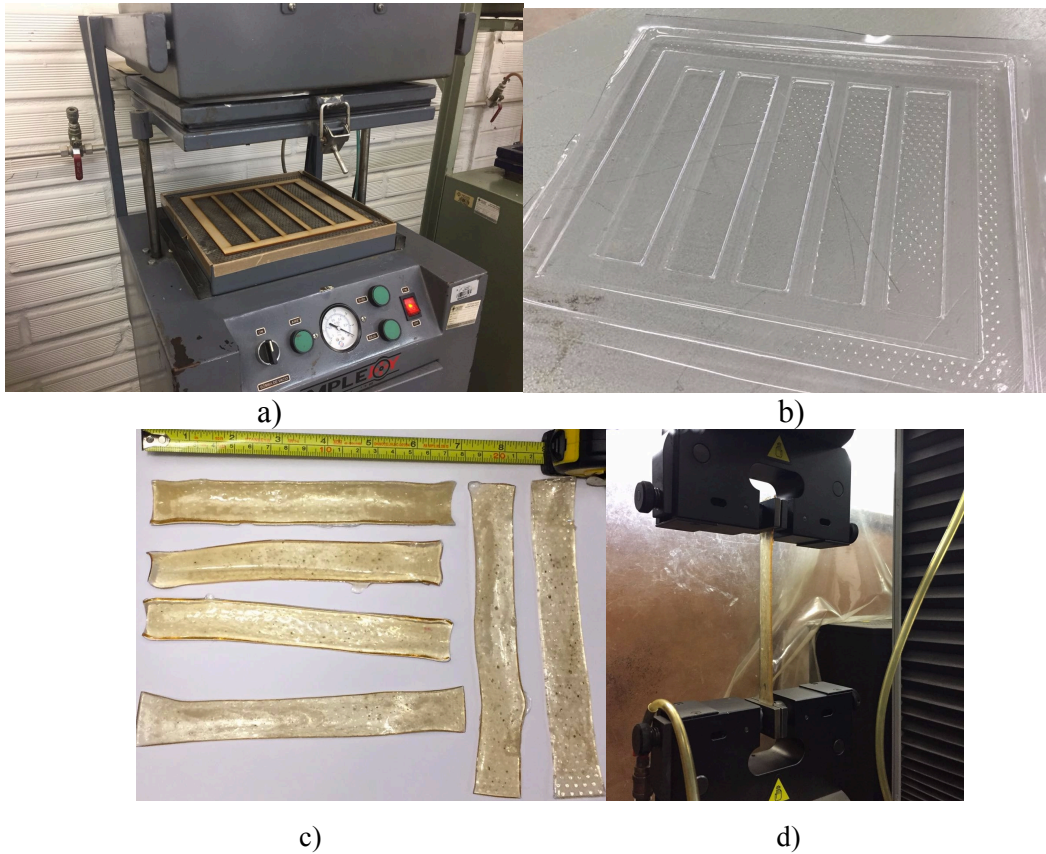
mejorar las características mecánicas del material, específicamente en relación a su resistencia a la tracción. Además, teniendo en cuenta el proceso de elaboración de las probetas (proceso completamente manual) y buscando que la orientación fuera lo más homogénea posible.

Para la obtención de las muestras se empleó un procedimiento utilizando instrumentos de fácil accesibilidad tales como: espátula, recipiente de aluminio, una superficie plana de aluminio, un molde de polivinil termoformado, una cuchara metálica y un recipiente cerámico. El proceso comienza con el calentamiento de 250 mL de H<sub>2</sub>O hasta 80 °C para luego adicionar, de manera dosificada, 60 g de gelatina sin sabor, la cual fue homogenizada con el agua empleando una espátula polimérica. Continuamente, fueron adicionados 20 mL de glicerina. Luego de obtener una mezcla homogénea se vertió el material en una superficie plana de aluminio. Las probetas de tracción fueron obtenidas de la misma manera, pero vaciadas en moldes de acetato con las medidas especificadas en la norma ASTM D638 (*Figura 4*). Es importante mencionar que, para las muestras reforzadas con la fibra de coco, los moldes contenían las fibras antes del vertimiento del material en ellos.

### **Pruebas de tracción**

Las muestras fueron caracterizadas mecánicamente mediante ensayos de tracción siguiendo la norma ASTM D638 a partir de la cual se establecieron las medidas de las probetas (30 x 200 x 2 mm) las cuales fueron obtenidas empleando moldes de acetato calibre 16. (*Figura 5*).

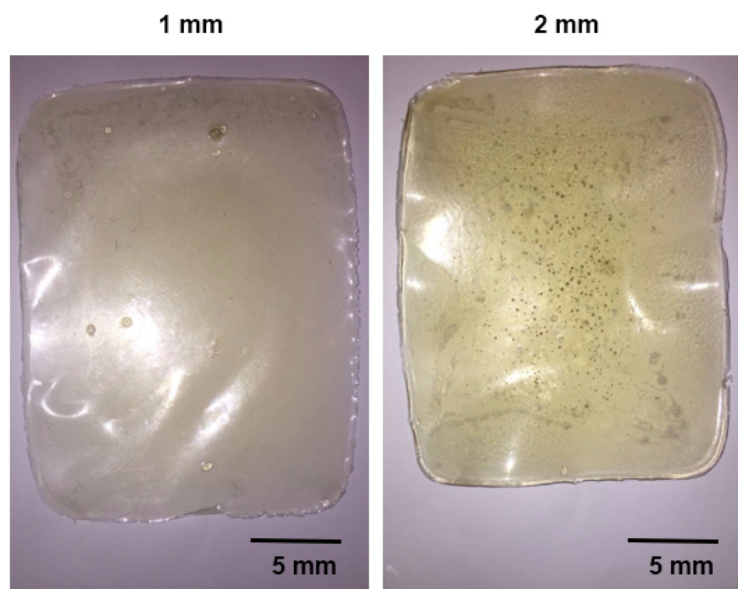
Los ensayos de tracción se realizaron empleando un maquina universal INSTRON 5582 con celda de carga de 5 KN calibrada, utilizando mordazas para fijar los dos extremos. Al final del ensayo se obtuvieron curvas de la fuerza aplicada y el desplazamiento.



*Figura 5.* Fabricación del molde para la fabricación de las probetas proceso anterior al realizar los ensayos mecánicos. a) fabricación del molde por medio de la termoformadora b) molde de acetato c) medición de las probetas. b) maquina universal Instron 5582. Fuente: Propia autoria

## Resultados y discusión.

En una primera fase se exploró con la matriz en una superficie plana de 250 mm x 200 mm variando el espesor de 1 mm a 2 mm con el fin de conocer cómo se comportaba el material polimérico, desde la forma, al solidificarse. Se evidenció que el material se contraía y curvaba tras el proceso de secado, esto se puede observar en la *figura 6*. En esta misma figura se observa que, aunque haya una mayor concentración de burbujas en la muestra que tiene un espesor de 2 mm, la de 1 mm nos presenta una mayor curvatura y mayor fragilidad, lo que sugiere, bajo esta prueba preliminar, que un espesor superior a este ofrece mejores resultados en términos de estas características.



*Figura 6.* Fotografías del ensayo preliminar para la obtención de la matriz polimérica con diferentes espesores. Fuente: Propia autoría

Adicionalmente, se pudo observar que el espesor también tiene un efecto considerable sobre la rigidez y la fragilidad de la muestra, ya que mientras el material es más delgado su secado es más rápido lo que repercute en una fragilidad mayor, mientras que con un mayor espesor el secado es más controlado teniendo un mejor comportamiento mecánico; es por esto que el



espesor más idóneo para la exploración fue el de 2 mm por sus mismas características mecánicas y su estabilidad dimensional.

Luego, al vaciar el material en los moldes con las medidas para los ensayos de tracción (200 x 30 mm), nos arrojó que el material inicialmente cambia sus dimensiones iniciales de manera aleatoria, esto dependiendo del tiempo de secada de la pieza. Como se observa en la *figura 7*, las probetas tuvieron diferentes cambios con respecto a su forma inicial.



*Figura 7.* acercamiento al material, aproximación a la forma de la experimentación. Fuente: Propia autoria

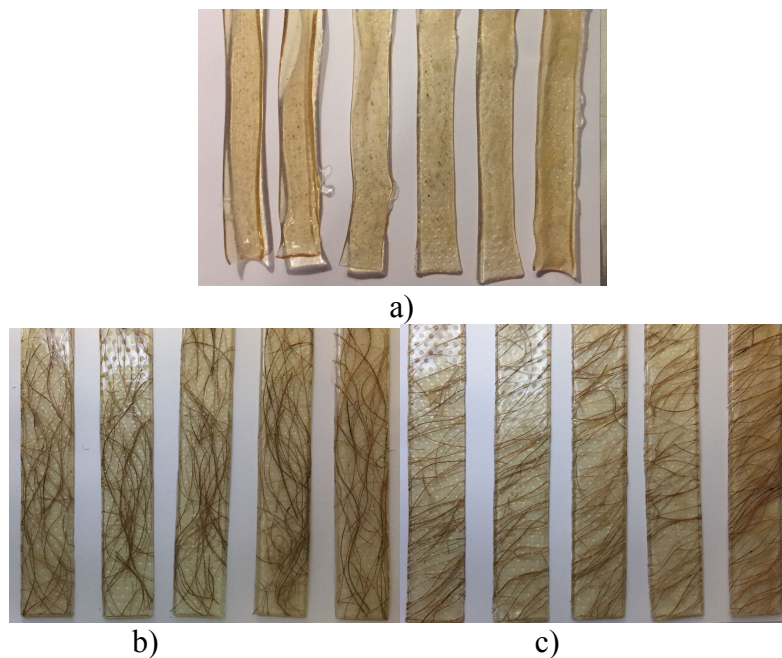
Por otra parte, en la exploración del material de refuerzo (fibra de coco) se evidenció, que la probeta no cambiaba sus dimensiones y hubo una menor deformación de la misma, la probeta se mantuvo más estable que las probetas que no cuentan con fibra fibra en un 9% aproximadamente.

### **Fabricación de probetas de material compuesto**

En el proceso de fabricación de las muestras se realizaron variaciones en cuanto al volumen y la orientación de las fibras. Cada procedimiento consiste en la ubicación de las fibras en el molde y posteriormente en el vaciado de la mezcla polimérica. Si bien se determinó que las probetas deben tener unas dimensiones aproximadas de 30 mm x 120 mm x 2 mm y que se deben establecer unas variaciones en el material de refuerzo con el fin comparativo entre las muestras,

se desarrollaron 2 diferentes concentraciones (*Tabla 1*), esto con la intención de mejorar las propiedades mecánicas del polímero biodegradable, introduciendo en la matriz, fibra de coco para mejorar su desempeño, generando mayores posibilidades de uso y así poder suplir algunos usos de otros materiales contaminantes.

Como se muestra en la *Figura 8*, se observan diferencias en las concentraciones de las probetas y cambios de apariencia que se logran identificar a simple vista; para posteriormente realizar un análisis en medidas, determinando si la presencia de la fibra de coco ayuda a que la matriz tenga una estabilidad dimensional, y no se reduzca su tamaño.



*Figura 8.* En la que se muestran las variables. a) Sin fibra, b) Con fibra orientación a 90° con respecto a la horizontal, c) Con fibra a 45°. Fuente: Propia autoría

### **Pruebas de tracción de las probetas**

Antes de realizar las pruebas mecánicas se llevó a cabo una medición de las probetas posteriormente al secado para determinar la estabilidad dimensional, ya que las muestras iniciales

de las probetas sin refuerzo arrojaron un cambio dimensional considerable, como se evidencia en la *Tabla 2*. Los cambios respectivos de cada muestra.

*Tabla 2.*

Cambio dimensional de las probetas.

Cambio de medidas en el proceso de secado									
Probeta	Medida inicial (mm)		Sin fibra		Con Fibra				
			-		45°		90°		
	Ancho	Largo	Final (mm)		Final (mm)		Final (mm)		
1	30	200	25	170	27	190	29	197	
2	30	200	25	165	28	195	27	196	
3	30	200	23	175	27	190	28	197	
4	30	200	26	178	29	195	29	200	
5	30	200	25	181	27	197	29	198	
Media	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>17.3%</b>	<b>13.1%</b>	<b>8%</b>	<b>3.3%</b>	<b>5.3%</b>	<b>1.2%</b>	

Gracias a esto se obtuvo que las muestras donde se presenta el refuerzo de fibra de coco tienen un menor cambio dimensional, esto debido a que la fibra no permite que el material genere una curvatura o se contraiga en el proceso de secado, ya que al estar seca no reduce más su dimensión inicial.

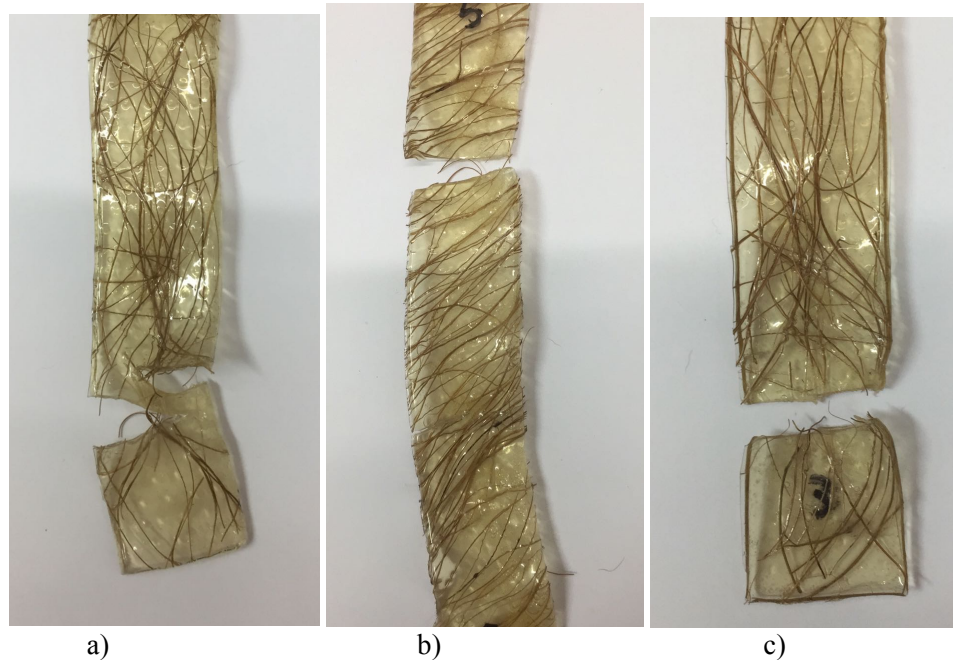
Los resultados de la prueba de tracción se resumen en la *Tabla 3*. Se observó que la presencia de fibra de coco tuvo un efecto considerable sobre sus propiedades, siendo la más evidente la ductilidad, en donde se evidencia que las muestras con las fibras del material de refuerzo dispuestas a 90° presentan una elongación 3 veces menor con respecto a la muestra sin fibra y 3.3 veces menos en relación con las muestras que contiene fibras orientadas a 45°; además, se evidenció que para estas últimas muestras la rigidez y la ductilidad aumentan 2.5 y 1.1 veces, respectivamente con respecto a las muestras sin fibras.

Tabla 3.

Datos obtenidos por la prueba de tracción.

Resistencia a la tracción				
Muestras		Carga máxima (N)	Módulo de Young (MPa)	Elongación (mm)
Sin fibra	0	86.39 ±5.0	2.4±0.8	16.14±1.4
Con Fibra	45°	118.09±4.7	2.2±0.5	17.76±1.5
	90°	106.95±6.1	14.25±1.9	5.38±1.007

En general se observó que la falla se daba a partir de una burbuja o un poro cuya presencia es inherente al método de preparación, por lo cual su fabricación no pudo ser controlada en su totalidad. En las probetas en las que varió la orientación se observa que la falla se debe a que dependiendo de la dirección en la que se disponga la fibra, esta tiende a incrementar su fragilidad, ya que como lo indican los resultados, este pierde ductilidad y su fractura se genera donde la fibra genera un espacio libre en la mezcla, de esta manera se nota que la falla empieza en un punto y se traslada cuando encuentra una oposición frente a las fibras del refuerzo, como se muestra en la *figura 8*. Se logró identificar algunas de las fallas generadas en las probetas, que se dan por el tipo de orientación del material del refuerzo, y por la cantidad de fibra concentrada en ese lugar donde se produjo la falla, causando así un falla inconsistente en las muestras debido a el material no es totalmente homogéneo en las muestras, y como se puede observar en la *figura 9*, las fibras aunque se dispusieron a 45° y 90° con respecto a la horizontal, en el proceso de vaciado de la matriz las fibras en algunos casos se desplazaron, generando variaciones de 5 a 10°±, por este motivo se presentaron fallas en las muestras.



*Figura 9.* Diferentes tipos de fallas que se presentaron en la prueba de tracción. a) Presenta traslado de la falla, pero el material no fractura. b) La falla se traslada, y ocurre la fractura en otro lugar. c) La fractura se da en el mismo lugar donde aparece la falla. Fuente: Propia autoría

En resumen, se identificó una mejora del desempeño de las características mecánicas del material con fibra frente al material sin fibra dado que pudo superar sus resultados iniciales frente a la matriz sin refuerzo resistiendo mayor carga y ofreciendo mayor elongación. Además, se evidenció que las muestras con orientación de la fibra a  $90^\circ$  con respecto a la horizontal se vuelve más frágil, haciendo que las muestras sean menos dúctiles y menos rígidas. Lo anterior se debe a que la fibra de coco es más rígida que la matriz y como su orientación es en la dirección de la prueba opone una mayor resistencia, y por ende tiende a tener una mayor elongación.

### **Ensayos adicionales**

Dado que tras la presencia de fibra de coco en la matriz se evidencia una mejora en las propiedades mecánicas la cual está condicionada por la orientación de las fibras, y por la direccionalidad de las anteriores se consideró realizar dos estudios adicionales, en el primero se

aumentó el contenido de las fibras y también se incrementó la direccionalidad haciéndola aleatoria (roving), de manera tal que las muestras finalmente obtenidas fueron como lo muestra la *Tabla 4*, de composición 23.6 y 47.2 v/v de fibra de coco y además, con orientación aleatoria. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este último experimento no se realizó con fines comparativos con la primera muestra, y sólo se pretende con esto verificar el efecto que tiene sobre la matriz la presencia de las fibras sobre la matriz para lo cual serán necesario trabajos futuros adicionales a fin de brindar un análisis más profundo en esta dirección, en el segundo estudio, en la *Tabla 4*, y con la direccionalidad aleatoria. El estudio comparativo se realizó entre las muestras de sin fibra y con fibra, y estas fibras orientadas a 45 y 90°, adicionalmente se hizo un estudio para verificar el comportamiento de la multidireccionalidad de la fibra en está matriz.

*Tabla 4.*

Formulación para los ensayos adicionales

Componente	Concentración	
	Media	Alta
Gelatina (gr/L)	240	240
Glicerina (ml/L)	80	80
fibra de coco (v/v)	23,6	47,2

Como se muestra en la *figura 10*, los ensayos adicionales de las muestras en estas dos composiciones, en su proceso de secado muestran generación de hongos, dado que mientras más cantidad de fibra de coco contenga, más lento va a este proceso gracias a que la fibra de coco en su estado natural es porosa retiene humedad, por lo que en este proceso al quedar sumergida en la matriz y empezar el secado, la fibra no logra expulsar completamente la humedad retenida, y por ende empiezan a producir hongos.

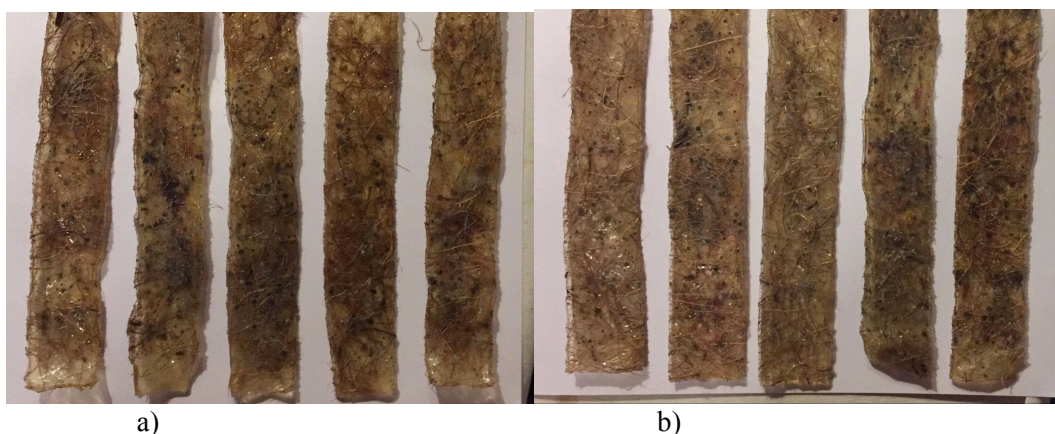


Figura 10. Ensayos adicionales. a) 47.2 v/v de fibra de coco, b) 23.6 v/v de fibra de coco. Fuente: Propia autoría

Visualmente las muestras dieron cuenta de tener una mayor estructura dimensional pero más fragilidad, ya que no se vuelven tan flexibles como los ensayos anteriores, pero dimensionalmente las muestras quedan casi con las mismas medidas iniciales, estos datos arrojados se ven en la *Tabla 5*, donde se evidencia la constancia en las dimensiones de las muestras.

Tabla 5.

Cambios dimensionales en el proceso de secado de los ensayos adicionales.

Cambio de medidas en el proceso de secado									
Probeta	Medida inicial (mm)		Sin fibra		Con fibra				
			Final (mm)		23.6 v/v		47.2 v/v		
	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	
1	30	200	25	170	27	195	30	194	
2	30	200	25	165	30	190	30	200	
3	30	200	23	175	30	196	30	200	
4	30	200	26	178	30	197	28	195	
5	30	200	25	181	28	193	30	197	
Media	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>17.3%</b>	<b>13.1%</b>	<b>3.3%</b>	<b>2.9%</b>	<b>1.3%</b>	<b>1.4%</b>	

Tras las pruebas se evidenció una reducción mínima de medida con respecto a la inicial debido, posiblemente, a que la fibra de coco con su orientación aleatoria genera que la matriz cubra más espacios, pero cuando empieza a reducir la humedad de la fibra no se altera generando esa estabilidad dimensional. Adicionalmente, se tabularon los resultados como se evidencia en la *Tabla 6* para poder tener un acercamiento como base a análisis posteriores que se le deben realizar a estas muestras.

*Tabla 6.*

Cambios dimensionales en el proceso de secado de los ensayos adicionales.

Concentración	Resistencia a la tracción		
	Carga máxima (N)	Módulo de Young (MPa)	Elongación (mm)
Sin fibra	86.39 ±5.0	2.4±0.8	16.14±1.4
23.6 (v/v)	76.15±8.3	11.51±1.9	5.94±0.8
47.2 (v/v)	58.57±5.3	20.4 ±4.8	4.50±0.8

De acuerdo con los datos obtenidos, en las probetas con las diferentes concentraciones, se observó una estabilidad dimensional, y al contrario que las pruebas con diferentes orientaciones y menor concentración de fibra, se tuvo una reducción de sus características mecánicas y su capacidad de elongación, ya que la de 23.6 v/v tuvo 0.6 veces menos resistencia con respecto a la muestra sin fibra y la de 47.2 tuvo 0.8 veces menos su capacidad de carga máxima de igual forma con respecto a la muestra sin fibra y elongación estuvo entre un 3 y 5% con respecto al punto cero. Esto evidenció que mientras más concentración de fibra de coco hay, más frágil se va a volver, y menos capacidad de elongación va a tener, pues la fibra restringe la capacidad de elongación del material polimérico y por ende su carga máxima será menor, esto se debe al proceso de secado ya que mientras mas fibra de coco esté presente en las proporciones más humedad va a retener por más tiempo, de igual forma como la fibra es muy frágil se impide la elongación.



## Conclusiones

1. El proceso de elaboración de las probetas al ser manual puede generar pequeños cambios como la generación de burbujas, fibras que no logran quedar en el ángulo deseado con una variación de  $10^{\circ}\pm$  con respecto a la disposición inicial deseada, pero esto no genera un factor diferenciador lo suficientemente alto para que fallen las pruebas de tracción. Además, el factor climático es fundamental en el desarrollo del nuevo material planteado, a mayor temperatura mayor rapidez de secado, a menor temperatura mayor tiempo de secado.

2. La orientación de las fibras de coco a  $45^{\circ}$  muestran mejores resultados, permitiendo mejorar las características iniciales del material polimérico, generándole una mayor resistencia mecánica y una mayor elasticidad, ya que éste mejora su ductilidad 2.5 veces más con respecto a las muestras sin fibra, y 3.3 veces mayor que la que presenta el refuerzo de fibras a  $90^{\circ}$  con respecto a la horizontal en relación a la fuerza aplicada.

3. La alta concentración de fibra de coco en la matriz polimérica causa que el material tenga mayor estabilidad dimensional. Además, al disponer tanta cantidad de fibra se logra que el material sea estable aumentando su rigidez sin embargo incrementa su fragilidad llegando a una fractura mucho más rápido.

4. La fibra de coco es un residuo agroindustrial que no solo es adecuado para la aplicación en el Diseño Industrial, gracias a sus características cualitativas y cuantitativas, sino que también ayuda a reducir el impacto medio ambiental.

## Referencias

- Arias, J. A. (2017). *Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación*. Yopal: UNAD.
- Portal Vida Sana. (6 de 08 de 2018). *Portal Vida Sana*. From Portal Vida Sana:  
<https://www.portalvidasana.com/cuanto-tarda-el-plastico-en-descomponerse.html>
- David Aradilla Zapata, R. O. (2012). *Polímeros biodegradables: una alternativa de futuro a la sostenibilidad del medio ambiente*. España: COGITI.
- García, M. A. (20 de 12 de 2017). *SEDICI*. From SEDICI:  
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/66038>
- Franco Poggio, E. C. (09 de 03 de 2016). *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*. From Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal: <http://www.redalyc.org/html/3236/323646310003/>
- Lizeth Borrero, S. G. (2016). *ProQuest*. From ProQuest:  
<https://search.proquest.com/openview/518b729dc07484e2fed504fc1138cb17/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2043241>
- Juan Carlos Cedrón, V. L. (13 de 05 de 2013). *PUCP*. From PUCP:  
<http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/82-polimeros.html>
- Alcaldía de Bogotá. (2018). *Alcaldía Mayor de Bogotá*. From Alcaldía Mayor de Bogotá:  
<https://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/es/bogotanitos/biodiverciudad/la-contaminacion-ambiental>
- Naval Composites. (2016). *Naval Composites*. From Naval Composites:  
<https://www.navalcomposites.com/materiales-compuestos/>

Elena Bellver. (2016). *Tendenzias*. From Tendenzias: <https://tendenzias.com/eco/materiales-biodegradables/>

Pedreira, A. G. (06 de 2017). *Estudiando las propiedades mecánicas*. From Estudiando las propiedades mecánicas:

<http://aulas.uruguayeduca.edu.uy/mod/book/tool/print/index.php?id=21792>

Manufacturing Terms. (2014). *Manufacturing Terms*. From Manufacturing Terms: [https://www.manufacturingterms.com/Spanish/Tensile-strength-\(TS\).html](https://www.manufacturingterms.com/Spanish/Tensile-strength-(TS).html)

Mundo, B. (20 de 07 de 2017). *BBC Mundo*. From <https://www.bbc.com/mundo/noticias-40664725>

Donald R. Askeland, P. P. (2010). *Fundamentos de ingeniería y ciencia de materiales*. Missouri: CENGAGE Learning.

## Anexos

### Anexo 1.

Imágenes ensayos en la maquina universal Instron 5582

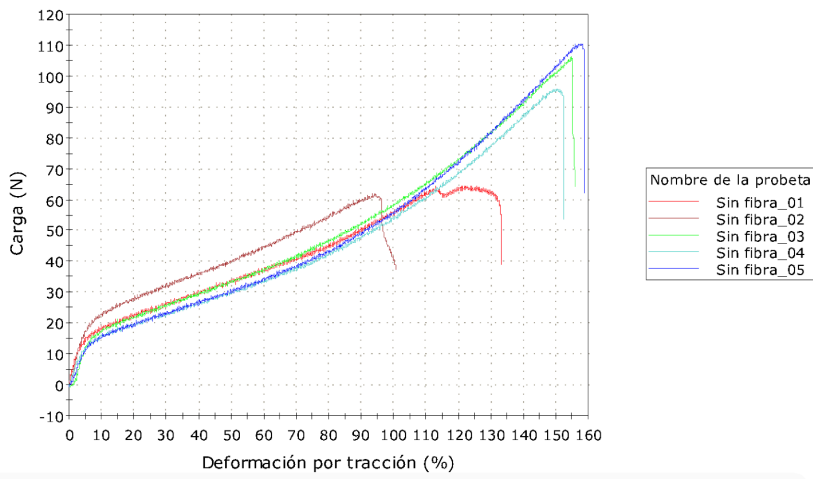


### Anexo 2.

Gráficas con las curvas de resistencia a la tracción de cada una de las probetas.

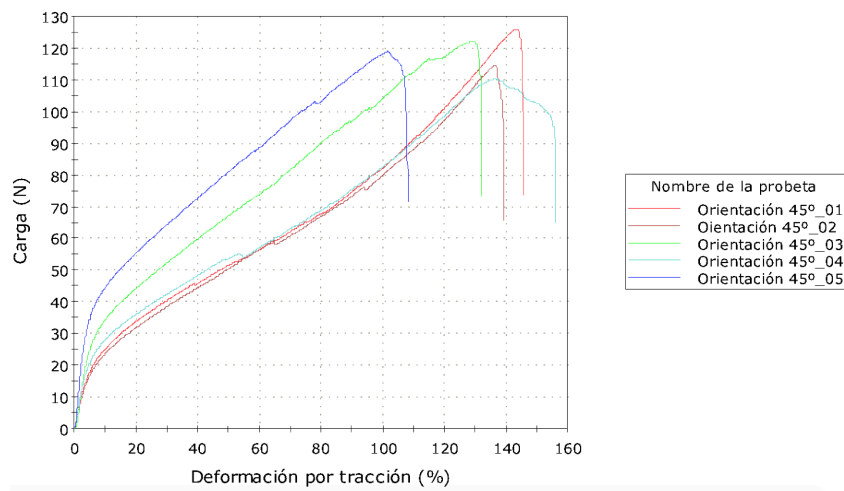
Probetas sin fibras.

### Ensayo de Traccion



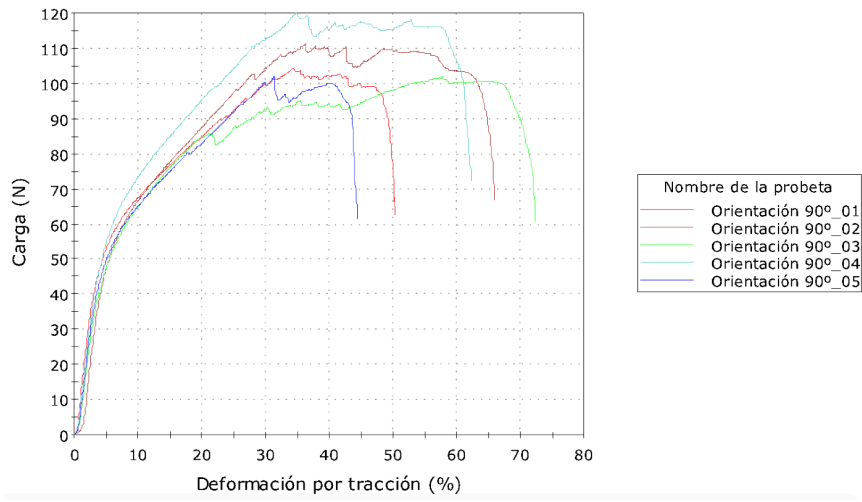
### Probetas con fibras en orientación a 45°

#### Ensayo de Traccion



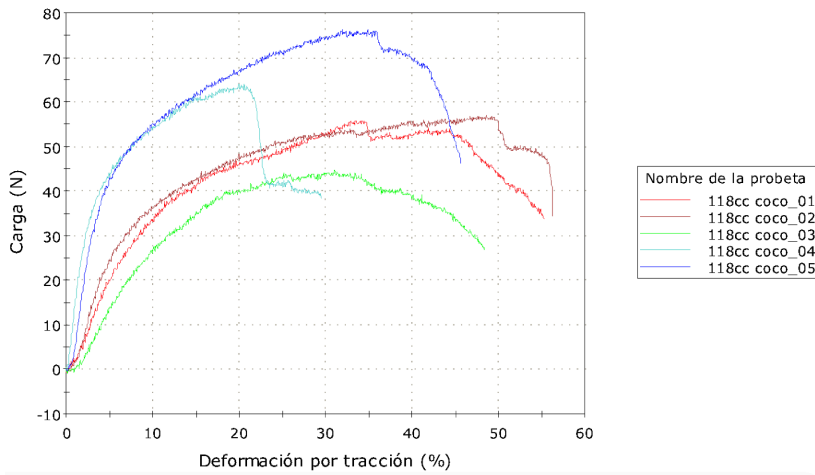
### Probetas con fibras en orientación a 90°

### Ensayo de Tracción



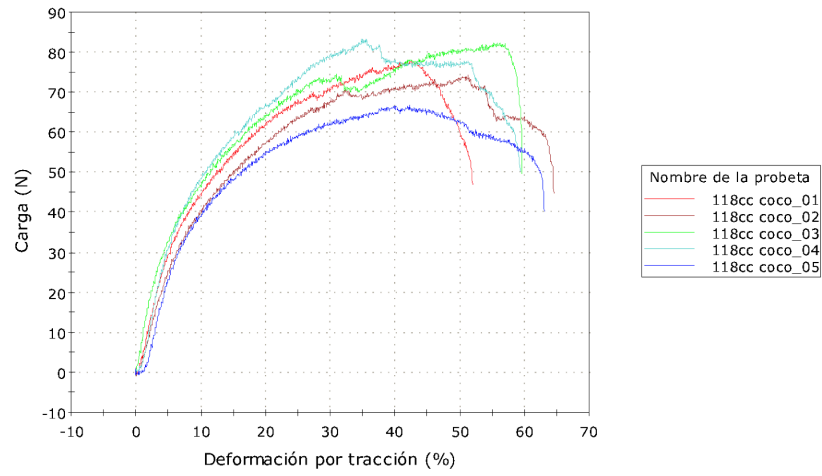
### Probetas con fibras aleatorias en concentración 23,6 v/v

#### Ensayo de Tracción



### Probetas con fibras aleatorias en concentración 47,2 v/v

### Ensayo de Traccion



### Anexo 3. Artículo

Siguiente página

# DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO A PARTIR DE COMPONENTES BIODEGRADABLES

*Alejandra Uribe Noreña<sup>1</sup>, Sara Rodríguez Urrea<sup>2</sup>, Jorge Andrés Escobar<sup>3</sup>*

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

<sup>1</sup>alejandra.uriben@upb.edu.co, <sup>2</sup>sara.rodriguez@upb.edu.co, <sup>3</sup>jorgeandres.escobar@upb.edu.co

---

## Resumen

El presente proyecto de investigación tiene como objeto la obtención de un material compuesto a partir de materia prima natural, con la intención de conocer cuál es la concentración más apropiada del refuerzo (fibra de coco), sobre la matriz (polímero biodegradable) para mejorar sus características mecánicas, estableciendo posteriormente variables de la fibra de refuerzo las cuales se ubican a 90° y 45° con respecto a la horizontal en el sentido de la fuerza aplicada en la prueba. El proceso de la investigación se centró principalmente en la obtención de las muestras del material compuesto y posteriormente en el estudio mecánico, estableciendo una relación entre las características del material sin refuerzo y con el refuerzo, en las pruebas mecánicas de tracción. Se identificó que las muestras más adecuadas, las cuales mejoran notoriamente las características mecánicas de la matriz polimérica, son probetas con refuerzo de fibra de coco con orientación a 45°, ya que estas muestras mejoran su ductibilidad y elasticidad en las pruebas de tracción, mientras que las muestras con orientación a 90° solo mejoran la ductibilidad del material y pierde elasticidad.

**Palabras clave:** *Materiales poliméricos, Contaminación ambiental, Material compuesto, Materiales biodegradables, Gelatina, fibra de coco, Propiedades mecánicas.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el uso de los materiales poliméricos derivados del petróleo son muy comunes gracias a su variedad y propiedades mecánicas que estos presentan, pero este material es altamente contaminante, su tiempo de degradación es muy largo, su vida útil muy corta y su reciclaje es muy costoso, por lo tanto se planteó esta investigación, la cual propone soluciones de materiales alternativos a estos derivados de la petroquímica, teniendo en cuenta el tiempo de degradación y las resistencia mecánica a la tracción.

En esta investigación se llevó a cabo una serie de experimentos, en los cuales se establece un material compuesto con matriz de gelatina y refuerzo de fibra de coco, su proceso de fabricación



y las variaciones en la direccionalidad de las fibras, con el objetivo de identificar como se afecta la resistencia mecánica a la tracción.

El objetivo de esta investigación es estudiar el efecto de la variación de la direccionalidad de las fibras de coco en la matriz de gelatina en su comportamiento a la resistencia mecánica y determinar cuál es la combinación entre la composición y la orientación de las fibras que arrojan mejores propiedades mecánicas.

## 2. METODOLOGÍA

Para la obtención de las muestras del material compuesto se utilizó como matriz un material polimérico biodegradable preparado con base a un trabajo previo realizado en la facultad de la Universidad Pontificia Bolivariana; y utilizando como refuerzo fibras de coco. Los cuales fueron mezclados de acuerdo a la composición que se indica en la *Tabla 1*.

**Tabla 1.** Formulación para la fabricación del material

Componente	Concentración	
	Sin fibra	Con fibra
Gelatina (g/L)	240	240
Glicerina (mL/L)	80	80
Fibra de coco (% v/v)	0	11,8

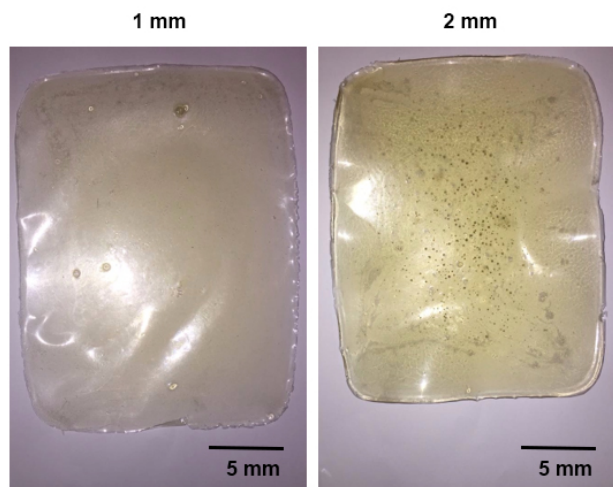
Adicionalmente, se realizaron variaciones con respecto a la orientación de las fibras, las cuales se ubicaron a 90° y 45 ° con respecto a la horizontal en el sentido de la fuerza aplicada en la prueba. Lo anterior, con el fin de determinar cuál es la formulación más adecuada para mejorar las características mecánicas del material, específicamente en relación a su resistencia a la tracción. Además, teniendo en cuenta el proceso de elaboración de las probetas (proceso completamente manual) y buscando que la orientación fuera lo más homogénea posible.

Para la obtención de las muestras se empleó un procedimiento utilizando instrumentos de fácil accesibilidad tales como: espátula, recipiente de aluminio, una superficie plana de aluminio, un molde de polivinil termoformado, una cuchara metálica y un recipiente cerámico. El proceso comienza con el calentamiento de 250 mL de H<sub>2</sub>O hasta 80 °C para luego adicionar, de manera dosificada, 60 g de gelatina sin sabor, la cual fue homogenizada con el agua empleando una espátula polimérica. Continuamente, fueron adicionados 20 mL de glicerina. Luego de obtener una mezcla homogénea se vertió el material en una superficie plana de aluminio. Las probetas de tracción fueron obtenidas de la misma manera, pero vaciadas en moldes de acetato con las medidas especificadas en la norma ASTM D638. Es importante mencionar que, para las muestras reforzadas con la fibra de coco, los moldes contenían las fibras antes del vertimiento del material en ellos.

En cuanto a las pruebas de tracción, se realizó en primera instancia una medición de las dimensiones de las probetas posterior al secado para proceder con el ensayo en una Máquina Universal marca Instron 5582, mediante el cual se obtuvieron valores de la resistencia y la ductilidad de las muestras.

### 3. RESULTADOS

Se evidenció que el material se contraía y curvaba tras el proceso de secado, esto se puede observar en la figura 1. En esta misma figura se observa que, aunque haya una mayor concentración de burbujas en la muestra que tiene un espesor de 2 mm, la de 1 mm nos presenta una mayor curvatura y mayor fragilidad, lo que sugiere, bajo esta prueba preliminar, que un espesor superior a este ofrece mejores resultados en términos de estas características.



**Figura 1.** Fotografías del ensayo preliminar para la obtención de la matriz polimérica con diferentes espesores.

Adicionalmente, se observó que el espesor también tiene un efecto considerable sobre la rigidez y la fragilidad de la muestra, ya que mientras el material es más delgado su secado es más rápido lo que repercute en una fragilidad mayor, mientras que con un mayor espesor el secado es más controlado teniendo un mejor comportamiento mecánico; es por esto que el espesor más idóneo para la exploración es el de 2 mm por sus mismas características mecánicas y su estabilidad dimensional.

Luego, al vaciar el material en los moldes con las medidas para los ensayos de tracción (200 x 30 mm), se encontró que el material en primera instancia cambia sus dimensiones iniciales de manera aleatoria, esto dependiendo del tiempo de secado de la pieza. Como se observa en la figura 2, las probetas tuvieron diferentes cambios con respecto a su forma inicial.



**Figura 2.** acercamiento al material, acercamiento a la forma de la experimentación.

Por otra parte, en la exploración del material de refuerzo (fibra de coco) se evidenció, que la probeta no cambiaba sus dimensiones y hay una menor deformación de la misma, la probeta se mantuvo más estable, reduciendo hasta en un 10% aproximadamente la contracción del material, pero no hubo cambios significativos a simple vista cuando la matriz está en contacto con la fibra de refuerzo.

### **3.1 Fabricación de probetas de material compuesto**

Cada procedimiento consiste en la ubicación de las fibras en el molde y posteriormente en el vaciado de la mezcla polimérica. Si bien se determinó que las probetas deben tener unas dimensiones aproximadas de 30 mm x 120 mm x 2 mm y que se deben establecer unas variaciones en el material de refuerzo con el fin comparativo entre las muestras, se desarrollaron 2 diferentes concentraciones, (Tabla 1), esto con la intención de mejorar las propiedades mecánicas del polímero biodegradable, introduciendo en la matriz la fibra de coco para mejorar su desempeño, generando mayores posibilidades de uso y así poder suplir algunos usos de otros materiales contaminantes.

Como se muestra en la *Figura 3*, se observan diferencias en las concentraciones de las probetas y cambios de apariencia que se logran identificar a simple vista; para posteriormente obtener un análisis en medidas, determinando si la presencia de la fibra de coco ayuda a que la matriz tenga una estabilidad dimensional, y no se reduzca su tamaño.



a)



b)

c)

**Figura 3.** En la que se muestran las variables. a) Sin fibra, b) Con fibra orientación a 90° con respecto a la horizontal, c) Con fibra a 45°.

### 3.2 Pruebas de tracción de las probetas

Antes de realizar las pruebas mecánicas se llevó a cabo una medición de las probetas posteriormente al secado para determinar la estabilidad dimensional, pues las muestras iniciales de las probetas sin refuerzo arrojaron un cambio dimensional considerable, como se evidencia en la Tabla 2. Los cambios respectivos de cada muestra.

**Tabla 2.** Cambio dimensional de las probetas.

		Cambio de medidas en el proceso de secado.							
		Sin fibra				Con Fibra			
Probeta	Medida inicial (mm)	-		45°		90°			
		Final (mm)		Final (mm)		Final (mm)		Final (mm)	
		Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo
1	30      200	25	170	27	190	29	197		
2	30      200	25	165	28	195	27	196		
3	30      200	23	175	27	190	28	197		
4	30      200	26	178	29	195	29	200		
5	30      200	25	181	27	197	29	198		
Media	<b>100%</b> <b>100%</b>	<b>17.3%</b>	<b>13.1%</b>	<b>8%</b>	<b>3.3%</b>	<b>5.3%</b>	<b>1.2%</b>		

Gracias a esto se obtuvo que las muestras donde se presenta el refuerzo de fibra de coco tienen un menor cambio dimensional debido a que la fibra no permite que el material genere una curvatura

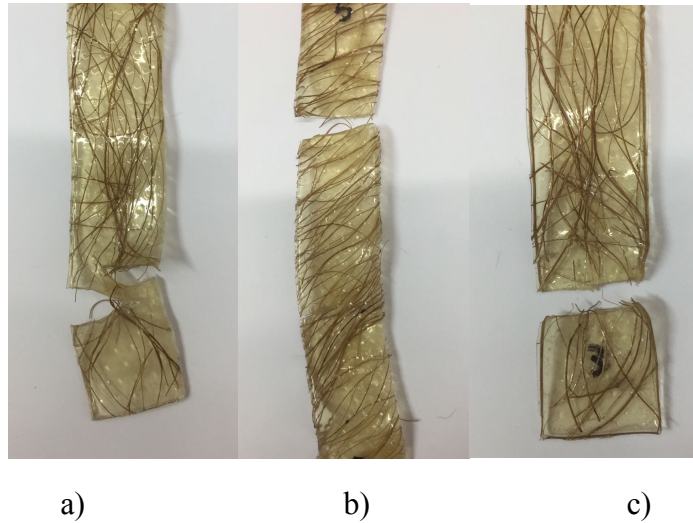
o se contraiga en el proceso de secado, ya que al estar en introducida en la matriz y no tener tanta flexibilidad no permite un cambio significativo.

Los resultados de la prueba de tracción se resumen en la *Tabla 3*. Se observó que la presencia de fibra de coco tiene un efecto considerable sobre sus propiedades, siendo la más evidente la ductilidad, en donde se observa que las muestras con las fibras del material de refuerzo dispuestas a 90° presentan una elongación 3 veces menor con respecto a la muestra sin fibra y 3.3 veces menos en relación con las muestras que contiene fibras orientadas a 45°; además se identificó que para estas últimas la rigidez y la ductilidad aumentan 2.5 y 1.1 veces, respectivamente con respecto a las muestras sin fibras.

**Tabla 3.** Datos obtenidos por la prueba de tracción.

Resistencia a la tracción				
Muestras		Carga máxima (N)	Módulo de Young (MPa)	Elongación (mm)
Sin fibra	0	86.39 ±5.0	2.4±0.8	16.14±1.4
Con Fibra	45°	118.09±4.7	2.2±0.5	17.76±1.5
	90°	106.95±6.1	14.25±1.9	5.38±1.007

En general se observó que la falla se da a partir de una burbuja o un poro cuya presencia es inherente al método de preparación, por lo cual su fabricación no pudo ser controlada en su totalidad. En las probetas en las que varió la orientación se observa que la falla se debe a la dirección en la que se disponga la fibra, esto genera mayor fragilidad, dado que como lo indican los resultados, este pierde ductilidad y su fractura se genera donde la fibra genera un espacio libre en la mezcla, de esta manera se nota que la falla empieza en un punto y se traslada cuando encuentra una oposición frente a las fibras del refuerzo, como se muestra en la figura 8. Se logró identificar algunas de las fallas generadas en las probetas, que se dan por el tipo de orientación del material de refuerzo, y por la cantidad de fibra concentrada en el lugar donde se produjo la falla, causando así un falla inconsistente en las muestras debido a el material no es totalmente homogéneo en las muestras, y como se puede observar en la figura 4, las fibras aunque se dispusieron a 45 y 90° con respecto a la horizontal, se presentan cambios de algunos grados en la dirección de las fibras generando así otro posible motivo de falla.



**Figura 4.** Diferentes tipos de fallas que se presentaron en las pruebas de tracción. a) Presenta traslado de la falla, pero el material no fractura. b) La falla se traslada, y ocurre la fractura en otro lugar. c) La fractura se da en el mismo lugar donde aparece la falla.

En resumen, se identificó una mejora del desempeño de las características mecánicas del material con fibra frente al material sin fibra, dado que pudo superar sus resultados iniciales frente a la matriz sin refuerzo resistiendo mayor carga y ofreciendo mayor elongación. Además, se evidenció que las muestras con orientación de la fibra a  $90^\circ$  con respecto a la horizontal son más frágiles, haciendo que las muestras sean menos dúctiles y menos rígidas. Lo anterior se debe a que la fibra de coco es más rígida que la matriz y como su orientación es en la dirección de la prueba opone una mayor resistencia, y por ende tiende a tener una mejor elongación.

#### 4. CONCLUSIONES

a) El proceso de elaboración de las probetas al ser manual puede generar pequeños cambios como la generación de burbujas, fibras que no logran quedar en el ángulo deseado con una variación de  $\pm 10^\circ$  con respecto a la disposición inicial deseada, pero esto no genera un factor diferenciador lo suficientemente alto para que fallen las pruebas de tracción. Además, el factor climático es fundamental en el desarrollo del nuevo material planteado, a mayor temperatura mayor rapidez de secado, a menor temperatura más tiempo de secado.

b) La orientación de las fibras de coco a  $45^\circ$  muestran mejores resultados, permitiendo mejorar las características iniciales del material polimérico, generándole una mayor resistencia mecánica y una mayor elasticidad, ya que éste mejora su ductilidad 2.5 veces más con respecto a las muestras sin fibra, y 3.3 veces mayor que la que presenta el refuerzo de fibras a  $90^\circ$  con respecto a la horizontal en relación a la fuerza aplicada.

c) La alta concentración de fibra de coco en la matriz polimérica causa que el material tenga mayor estabilidad dimensional. Además, al disponer tanta cantidad de fibra se logra que el material sea estable aumentando su rigidez sin embargo incrementa su fragilidad llegando a una fractura mucho más rápido.

d) La fibra de coco es un residuo agroindustrial que no solo es adecuado para la aplicación en el Diseño Industrial, gracias a sus características cualitativas y cuantitativas, sino que también ayuda a reducir el impacto medio ambiental.

#### 4. REFERENCIAS

- [1] Arias, J. A. (2017). *Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación*. Yopal: UNAD.
- [2] Portal Vida Sana. (6 de 08 de 2018). *Portal Vida Sana*. From Portal Vida Sana: <https://www.portalvidasana.com/cuanto-tarda-el-plastico-en-descomponerse.html>
- [3] David Aradilla Zapata, R. O. (2012). *Polímeros biodegradables: una alternativa de futuro a la sostenibilidad del medio ambiente*. España: COGITI.
- [4] García, M. A. (20 de 12 de 2017). *SEDICI*. From SEDICI: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/66038>
- [5] Franco Poggio, E. C. (09 de 03 de 2016). *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*. From Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal: <http://www.redalyc.org/html/3236/323646310003/>
- [6] Lizeth Borrero, S. G. (2016). *ProQuest*. From ProQuest: <https://search.proquest.com/openview/518b729dc07484e2fed504fc1138cb17/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2043241>
- [7] Juan Carlos Cedrón, V. L. (13 de 05 de 2013). *PUCP*. From PUCP: <http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/82-polimeros.html>
- [8] Naval Composites. (2016). *Naval Composites*. From Naval Composites: <https://www.navalcomposites.com/materiales-compuestos/>
- [9] Elena Bellver. (2016). *Tendencias*. From Tendencias: <https://tendencias.com/eco/materiales-biodegradables/>
- [10] Pedreira, A. G. (06 de 2017). *Estudiando las propiedades mecánicas*. From Estudiando las propiedades mecánicas: <http://aulas.uruguayeduca.edu.uy/mod/book/tool/print/index.php?id=21792>
- Manufacturing Terms. (2014). *Manufacturing Terms*. From Manufacturing Terms: [https://www.manufacturingterms.com/Spanish/Tensile-strength-\(TS\).html](https://www.manufacturingterms.com/Spanish/Tensile-strength-(TS).html)
- [11] Mundo, B. (20 de 07 de 2017). *BBC Mundo*. From <https://www.bbc.com/mundo/noticias-40664725>