

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES
POLIMÉRICOS OBTENIDOS A PARTIR DE ACEITE DE CHONTADURO**

LINA ALEJANDRA RAMÍREZ DÍAZ

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICAS
PROGRAMA DE QUÍMICA FARMACÉUTICA
SANTIAGO DE CALI
2016**

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES
POLIMÉRICOS OBTENIDOS A PARTIR DE ACEITE DE CHONTADURO**

LINA ALEJANDRA RAMÍREZ DÍAZ

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
QUÍMICO FARMACÉUTICO**

**TUTORES
NORA ELENA VALDERRUTEN POSSO
JOSE HERMINSUL MINA**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICAS
PROGRAMA DE QUÍMICA FARMACÉUTICA
SANTIAGO DE CALI
2016**

Agradecimientos

A mis padres por haberme acompañado durante mi proceso de formación, por su apoyo, amor incondicional y consejos brindados.

A la Doctora Nora Elena Valderruten por su ayuda en el desarrollo del proyecto, por sus conocimientos brindados y por permitirme conocer una temática nueva en mi formación profesional y personal.

Al Doctor José Herminul Mina y a Karen Jessenia Lozano por contribuir a mi formación académica, por su direccionamiento y soporte en los momentos críticos del desarrollo del proyecto.

A la facultad de ciencias Naturales de la Universidad Icesi y la Facultad de Ingeniería de Materiales de la Universidad del Valle por permitirme hacer parte de este proyecto y brindarme conocimiento y disponibilidad en las aulas y equipos que se necesitaron.

A mis compañeros y demás personas que estuvieron envueltos en la escritura de este documento.

Lina Alejandra Ramírez Díaz

PROYECTO APROBADO POR:

Constain Hugo Salamanca Mejía
Evaluador

Héctor Fabio Zuluaga Corrales
Evaluador

Nora Elena Valderruten Posso
Directora del proyecto

José Herminsul Mina
Co-director del Proyecto

Santiago de Cali, Valle del Cauca

Viernes 11 de Marzo de 2016

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN DEL PROYECTO	9
2. INTRODUCCIÓN	11
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	13
2.1. Planteamiento del problema de investigación y justificación	13
2.2. Marco teórico y estado del arte.....	14
2.2.1. Aceites vegetales.....	14
2.2.1.1. Generalidades.....	14
2.2.1.2. Aplicaciones y usos comunes	15
2.2.1.3. El chontaduro	15
2.2.2. Polímeros	17
2.2.2.1. La industria de los polímeros: Contexto económico y materias primas para su obtención.....	17
2.2.2.2. Síntesis de resinas poliéster a partir de aceite vegetal	18
2.2.2.3. Antecedentes de la síntesis del material polimérico y comparación con el proyecto actual	19
2.2.3. Caracterización de polímeros	19
2.2.3.1. Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR).....	20
2.2.3.2. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).....	20
2.2.3.3. Microscopia Electrónica de Barrido	21
2.2.3.4. Propiedades mecánicas.....	21
2.2.3.5. Ensayo de tracción.....	22
2.2.3.6. Ensayo de resistencia al Impacto	22
2.2.3.7. Ensayo de flexión	23
2.2.4. Materiales de relleno	23
2.2.4.5. Fibras Naturales	23
2.2.4.6. El Fique.....	24
3. OBJETIVOS.....	26
3.2. Objetivo general.....	26
3.3. Objetivos específicos	26
4. METODOLOGÍA PROPUESTA	27

4.1.	Pre-tratamiento del fique.....	27
4.2.	Determinación del diámetro del fique y la resistencia a la tensión de las fibras de fique.....	28
4.3.	Síntesis del material polimérico	28
4.4.	Incorporación de las fibras naturales al polímero	29
4.5.	Caracterización por FTIR y análisis térmico del polímero obtenido	30
4.6.	Determinación de las propiedades mecánicas	30
4.7.	Tratamiento estadístico.....	31
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
5.1.	Caracterización por Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR).....	32
5.2.	Caracterización térmica: Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	34
5.3.	Resistencia a la tracción de las fibras de Fique	35
5.4.	Síntesis del polímero e incorporación de las fibras de fique.....	38
5.5.	Propiedades mecánicas de los materiales poliméricos y tratamiento estadístico	39
3.	CONCLUSIONES	47
6.	RECOMENDACIONES	48
7.	REFERENCIAS	49
8.	IMPACTO AMBIENTAL.....	54
9.	ANEXOS.....	55
9.1.	Método de prueba estándar para propiedades de tracción de plástico (ASTM D638)	55
9.2.	Métodos de prueba estándar para las propiedades de flexión de plásticos reforzados y no reforzados y materiales aislantes eléctricos (ASTM D790).....	56
9.3.	Métodos de prueba estándar para la determinación de la resistencia a impacto de Plásticos por medio del ensayo Izod (ASTM D256).....	56
9.4.	Métodos de prueba estándar para la absorción de agua de plásticos (ASTM D570).	57
9.5.	Reacción de polimerización	58
9.6.	Análisis de Varianzas (ANOVA) para el ensayo de tracción	58
9.7.	Prueba F para varianzas de dos muestras.....	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Estructura molecular general de una molecular de triglicéridos, en donde se muestran sus sitios reactivos: 1.Doble enlace, 2. Posición monoalílica, 3.posicion bisalílica y 4. Grupos éster (Miao et al, 2013).</i>	14
Figura 2. <i>Porcentaje de producción del cultivo de chontaduro por departamentos durante el año 2011 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012)</i>	17
Figura 3. <i>Síntesis de poliésteres por reacción de curado con anhídridos de ácidos dicarboxílicos (Miao et al, 2013).</i>	18
Figura 4. <i>Ensayo de tracción</i>	22
Figura 5. <i>Ensayo de resistencia al impacto</i>	23
Figura 6. <i>Ensayo de flexión</i>	23
Figura 7. <i>Sujeción de las fibras de Fique a la Máquina Universal de Ensayos</i>	28
Figura 8. <i>Molde en polipropileno para obtener probetas Tipo I</i>	29
Figura 9. <i>Metodología de síntesis para la obtención de la resina poliéster a partir de aceite de chontaduro.</i>	29
Figura 10. <i>Espectro infrarrojo del material polimérico derivado de aceite de chontaduro obtenido experimentalmente, donde se muestra en rojo la estructura química del monómero identificado</i>	32
Figura 11. <i>Espectro infrarrojo del material polimérico derivado de aceite de chontaduro obtenido por valencia (Valencia Flórez, 2014)</i>	32
Figura 12. <i>Termograma DSC para el material obtenido experimentalmente</i>	34
Figura 13. <i>Termograma DSC para el material obtenido experimentalmente</i>	35
Figura 14. <i>Termograma DSC para el material obtenido por Valencia en 2014</i>	35
Figura 15. <i>Ensayo de Tensión de la fibra, Longitud VS Resistencia</i>	37
Figura 16. <i>Comparación del volumen ocupado por la fibra versus el ocupado por la matriz polimérica, donde se muestra (a)10% v/v , (b)30% v/v, (c)50% v/v y (d)70% v/v de fibra</i>	38

Figura 17. <i>Incorporación de 10% v/v de fibra de fique a la matriz polimérica</i>	38
Figura 18. <i>Probetas tipo I del material polimérico con (a)0%v/v (b) 2,5%v/v (c) 5,0% v/v y (d) 7,5% de fibra de fique después de 72 horas de curado.</i>	39
Figura 19. <i>Curva esfuerzo-deformación ensayo de tensión</i>	41
Figura 20. <i>Influencia de la orientación de las fibras y la resistencia al esfuerzo (Askeland, 1998)</i>	42
Figura 21. <i>Micrográficas SEM transversales de la fractura a tensión del compuesto donde se muestra (a) y (b) unión del fique con la matriz polimérica, y (b) distribución del fique en la matriz polimérica.</i>	43
Figura 22. <i>Curva esfuerzo-deformación ensayo de flexión</i>	44
Figura 23. <i>Ensayo de absorción de agua para los materiales poliméricos</i>	46
Figura 24. <i>Medidas del espécimen Tipo I para el ensayo de tensión.</i>	55
Figura 25. <i>Reacción general de polimerización</i>	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. <i>Valor nutricional de 100g de pulpa de chontaduro (Escobar Acevedo C. et al., 1998)</i>	16
Tabla 2. <i>Comparación del contenido de ácidos grasos del chontaduro y otras especies vegetales (Restrepo O. et al., 2012)</i>	16
Tabla 3. <i>Cuotas de mercado de los siete sectores que más utilizan los plásticos (Biron , 2014).</i>	17
Tabla 4. <i>Comparación entre fibras naturales y de vidrio (Wambua et al, 2003)</i>	24
Tabla 5. <i>Materiales y equipos utilizados para la síntesis del material polimérico</i>	27
Tabla 6. <i>Reactivos utilizados para la síntesis del material polimérico</i>	27
Tabla 7. <i>Normas técnicas ASTM correspondiente para los ensayos realizados (sección 9 Anexos, Hidalgo et al, 2011)</i>	30
Tabla 8. <i>Bandas FTIR de los polímeros derivados de aceite de chontaduro</i>	33
Tabla 9. <i>Resultados determinación del área de las fibras de fique</i>	36
Tabla 10. <i>Resultados de resistencia a la tensión de la fibra de fique a diferentes longitudes</i>	36
Tabla 11. <i>Resistencia a la tensión de los materiales poliméricos</i>	39
Tabla 12. <i>Comparación en parejas de Fisher</i>	40
Tabla 13. <i>Resultados ensayos de flexión de los materiales poliméricos</i>	44
Tabla 14. <i>Resultados ensayos de impacto del material polimérico con 7,5% de fique</i>	45
Tabla 15. <i>Resultados obtenidos para la prueba F y t para varianzas de dos muestras</i>	60

1. RESUMEN DEL PROYECTO

Al ser los plásticos “un material importante para variedad de sectores industriales, la demanda mundial aumenta continuamente” (Tecnología del Plástico, 2013), razón por la cual se generan grandes cantidades de desechos, surgiendo la problemática del impacto ambiental negativo que estos generan, ya que perduran por muchos años y se derivan de un recurso no renovable, como lo es el petróleo (Meneses *et al*, 2007).

Con el fin de reducir el impacto ambiental y el uso de recursos fósiles, el presente proyecto utilizó una materia prima proveniente de una fuente renovable, el aceite del fruto de Chontaduro (*Bactris gasipaes*) para obtener un polímero. El material polimérico se obtuvo a partir de un epóxido derivado del aceite (Valencia Flórez, 2014); además, se emplearon los residuos del fique al 2,5%, 5,0% y 7,5% como un material de relleno de la matriz polimérica, ya que se ha demostrado que la incorporación de fibras celulósicas (sisal, henequén, pulpa de madera, etc.) mejora las propiedades mecánicas de estos materiales, además de proveerles una baja densidad (Hidalgo *et al*, 2011).

Terminada la síntesis del polímero se realizó la caracterización por Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR), empleándose la técnica de Reflectancia Total Atenuada (ATR). Las bandas del polímero obtenido experimentalmente en la región de grupos funcionales y dactiloscópica coinciden con las obtenidas por Valencia (Valencia Flórez, 2014). También se evaluaron las propiedades térmicas del material por medio de Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC), determinándose la temperatura de transición vítrea (T_g) y la temperatura de fusión cristalina (T_m) del material polímero, las cuales son -33,66°C y -8,49°C respectivamente.

Posteriormente se determinaron y se compararon las propiedades mecánicas de tensión, flexión e impacto de los materiales con y sin fibra de fique, y se hizo la prueba de absorción de agua para los materiales. Estableciéndose preliminarmente que la incorporación al material polimérico de porcentajes de fique superiores al 7,5 % v/v no resulta exitosa; siendo el compuesto reforzado con 7,5 % de fibra de fique el que mayor resistencia a la tensión y flexión presentó, con valores promedio de 0,3232 MPa y 0,5312 MPa respectivamente.

Palabras clave: Aceite de Chontaduro, Fique, Material de refuerzo, Matriz Polimérica, Propiedades Mecánicas.

ABSTRACT

Plastics, "an important material for a variety of industries, global demand is steadily increasing" (Plastic Technology, 2013). The reason why large amounts of waste are generated, emerging from the problem of negative environmental impact that they generate, is because for many years plastics are derived from a nonrenewable resource, as is petroleum (Meneses et al, 2007)

With the final purpose of reducing the environmental impact and the use of fossil resources, a raw material from a renewable source such as the oil extracted from the chontaduro fruit (*Bactris gasipaes*) was used in this project, to obtain a polymer. Polymeric material was obtained from a derivative oil epoxide (Valencia Flórez, 2014). Furthermore, fique residues in a 2.5%, 5.0 % and 7.5% were used as a filler of the polymer matrix because it has been shown that the incorporation of cellulose fibers (sisal, henequen, pulp wood, etc.) improves the mechanical properties of these materials in addition to providing a low density (Hidalgo et al , 2011).

Later, when the synthesis of the polymer was complete, a characterization by Infrared Spectroscopy Fourier Transform (FTIR), using the technique of Attenuated Total Reflectance (ATR) was carried out. Where bands of the polymer obtained experimentally in the region of functional groups and fingerprint match those obtained by Valencia (Valencia Flórez, 2014). The thermal properties of the material were also evaluated by Differential Scanning Calorimetry (DSC), determining the glass transition temperature (Tg) and crystalline melting temperature (Tm) of the polymer material which are -33.66 ° C and - 8.49 ° C respectively.

Next, the determination and comparison of the mechanical properties of tensile, flexural, and impact of materials with and without fique fibers were compared. A water absorption test was made to compare the materials. Preliminarily tests established that incorporation of the fique to the polymeric material in percentages higher than 7.5% v/v does not work, and the compound made with 7.5% fique fibers presented better resistance to tensile and flexion, with an average of 0.3232 MPa and 0,5312 MPa respectively.

Keywords: Chontaduro Oil, Fique, reinforcement material, Polymer Matrix, Mechanical Properties.

2. INTRODUCCIÓN

Los polímeros compuestos son materiales que están formados por una fase continua o matriz polimérica y una fase dispersa conformada por partículas o fibras (Hidalgo *et al*, 2012) que actúan como un refuerzo de la matriz polimérica, generando buenas propiedades específicas, como son la baja densidad, alta ductilidad, mayor resistencia, etc., y bajos costos. Propiedades que convierten a estos materiales en un foco de interés para industrias como la aeroespacial, la automotriz, la construcción, etc. (Hidalgo *et al*, 2012), ya que la incorporaciones de fibras genera cambios físicos que conllevan al aumento de las propiedades mecánicas del material, siendo la disposición de la fase dispersa en el polímero y la interacción interfacial factores que afectan estas propiedades.

En la actualidad los materiales poliméricos son muy demandados por la sociedad, motivo por el cual los estudios de investigación se han enfocado en la búsqueda de alternativas productivas que permitan disminuir el impacto ambiental y aprovechar los recursos renovables que pueden ser usados como materia prima para su obtención, disminuyendo así el uso de polímeros sintéticos tradicionales, como son los derivados del petróleo, un recurso fósil no renovable cuyas reservas mundiales se están reduciendo drásticamente.

La importancia de esta investigación radica en aprovechar un producto renovable con una amplia disponibilidad, los aceites vegetales, y en hacer uso de un material de desecho como son los residuos de fique, ya que al ser los aceites vegetales precursores de monómeros y emplearse en la síntesis de una gran variedad de polímeros, permiten obtener materiales hidrófobos que se complementan bien con recursos biológicos hidrófilos, como los carbohidratos y las proteínas, además de servir para la producción de monómeros de estructura análoga a los derivados del petróleo (Miao *et al*, 2013).

Específicamente se plantea utilizar el aceite de Chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K), producto muy particular de Colombia, Costa Rica, Brasil, la región ecuatorial, etc., (Restrepo & Estupiñan, 2007), el cual se produce en mayor proporción en el Valle del Cauca, teniendo el municipio de Buenaventura un aporte muy significativo (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012). A pesar de que este recurso no se genera de manera agroindustrializada, se sabe que sí se producen grandes cantidades del fruto, por ejemplo para el año 2007 se generaron 74.467 toneladas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012).

La extracción del aceite se realiza por medio de la cocción del fruto, obteniéndose un material compuesto en más de un 50% por ácidos grasos insaturados, lo que lo hace comparable con aceites que se utilizan en la síntesis de polímeros como lo son el de soya, oliva y ricino (Valencia Flórez, 2014). El material polimérico es fácil

de sintetizar, además de utilizarse un recurso que versus el petróleo causa menor impacto ambiental y que es una “fuente rica de precursores poliméricos que pueden ser modificados para exhibir varios tipos de funcionalidades” (Mirna A. Mosiewicki & Aranguren, 2013).

Por otro lado, para el diseño de polímeros compuestos no solo es importante hablar de la matriz polimérica, sino también de la fase dispersa la cual le brinda un refuerzo a la fase continua. Siendo los materiales más empleados las fibras naturales, por ejemplo en Colombia se encuentra la industria del fique, la cual es una gran generadora de productos de desecho dentro de los cuales se encuentran el bagazo, pudiendo ser este aprovechado como refuerzo del material polimérico.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1. Planteamiento del problema de investigación y justificación

Durante los últimos años ha cobrado importancia el uso de alternativas productivas y técnicas que ayuden a disminuir el impacto medioambiental que tienen las industrias sobre el espacio donde vivimos, ya que en gran medida, estas son las causantes de la generación de productos de desechos y de la disminución de los recursos naturales.

Específicamente, es importante hablar de la industria de los polímeros, ya que esta ha tenido un crecimiento importante durante los últimos años, las cifras mostradas por la asociación de fabricantes *Plastics Europe* reportan que la producción mundial de polímeros en 280 Millones de toneladas en el año 2011, fenómeno que se debe al crecimiento productivo de industrias como el de embalaje, construcción, automoción y transporte, electricidad y electrónica, deportes y ocio, médica y muchas otra (Biron, 2014).

Con el antecedente de la alta producción y utilización de los polímeros, es de esperarse que la tasa de desecho sea bastante alta, factor que contribuye a la problemática de la generación de residuos y que se complementa con el hecho de que la mayoría de estos productos se derivan de recursos fósiles, lo cual les provee pobre biodegradabilidad y a largo plazo por utilizarse un 5% del petróleo extraído mundialmente para fabricarlos, se podría dar el incremento de los costos de su producción, por ser este un recurso no renovable. (Meneses, Corrales, & Valencia, 2007)

Buscando hacer una contribución donde se mejoren los diseños de los productos, se optimice el uso de materiales de desecho por parte de los sectores productivos y se disminuya el consumo de recursos fósiles, se plantea hacer uso de materiales renovables y de productos de desechos vegetales. Por un lado, se plantea trabajar con los aceites vegetales, los cuales podrían generar una plataforma sostenible para reemplazar total o parcialmente al petróleo, ya que la producción de ácidos grasos equivale a un 52 % de los procesos oleoquímicos, volviéndose atractivos para la industria de los polímeros, ya que se puede contar con suficiente materia prima que supla sus necesidades (Lligadas *et al*, 2013)

Por otro lado, el aprovechamiento de las fibras celulósicas sobrantes, las cuales provienen de la producción de diferentes cultivos como son el banano, fique, sisal, jute, lino y henequén, proveen otra manera de disminuir la dependencia de los recursos fósiles y contribuyen a la disminución de la contaminación gracias a su aprovechamiento. Por ejemplo, la industria automotriz Europea, Estadounidense y Asiática, emplean este tipo de materiales como refuerzo de compuestos poliméricos para la fabricación de paneles de puertas, respaldos de asientos, y otros, gracias a las buenas propiedades mecánicas, baja densidad, fuerza

aceptable, reducción de los costos de fabricación y por su fácil y segura manipulación. (Ahmad, Choi, & Park, 2015).

Por lo anterior al ser Colombia un país megadiverso, el cual no aprovecha significativamente los recursos renovables de los que dispone (Valencia Flórez, 2014), el presente proyecto desarrolla una propuesta concentrada a evaluar la potencialidad de un nuevo material polimérico, al utilizar materiales renovables como el aceite de chontaduro y los residuos de la industria del fique para mejorar las propiedades mecánicas de una resina poliéster derivada del aceite.

2.2. Marco teórico y estado del arte

2.2.1. Aceites vegetales

2.2.1.1. Generalidades

Los aceites vegetales son triésteres de glicerina que poseen ácidos grasos de cadena larga (C12 - C20) y glicerol, los cuales poseen un alto porcentaje de ácidos grasos insaturados, característica que les brinda buena reactividad y fiabilidad (Ionescu *et al*, 2015). Las propiedades fisicoquímicas de los ácidos grasos están determinadas por la longitud de la cadena alquímica, el número y ubicación de los dobles enlaces (Miao *et al*, 2013).

Es importante hacer notar que los sitios más reactivos de los triglicéridos, que se pueden aprovechar para producir monómeros para su posterior polimerización son los dobles enlaces, las posiciones alílicas y los grupos éster (Figura 1), obteniéndose diferentes tipos de polímeros como son los poliuretanos, poliésteres, poliéteres y poliolefinas (Miao *et al*, 2013).

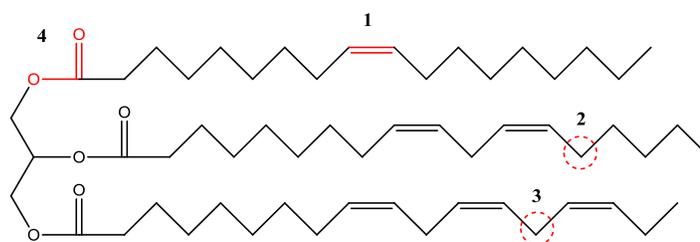


Figura 1. Estructura molecular general de una molecular de triglicéridos, en donde se muestran sus sitios reactivos: 1.Doble enlace, 2. Posición monoalílica, 3.posicion bisalílica y 4. Grupos éster (Miao *et al*, 2013).

2.2.1.2. Aplicaciones y usos comunes

Las propiedades estructurales de los aceites vegetales permiten emplearlos tanto en campos industriales como académicos, los cuales van desde el aporte de información para la producción de materiales industriales a base de recursos renovables que brindan sostenibilidad, disminución de los costos, reducción del consumo energético y mayor rendimiento, hasta la fabricación de materiales útiles para la biomedicina (Lligadas *et al*, 2013).

A partir de aceites vegetales se pueden obtener por medio de la transformación de monómeros lineales disfuncionales, por ejemplo: una poliamida como es el nilón 11 la cual se deriva de aceite de ricino y se emplea en la producción automotriz y de componentes de ingeniería (Lligadas *et al*, 2013). Además, es importante mencionar que los aceites se han emplean tradicionalmente en la industria alimenticia, de los lubricantes, barnices y disolventes de pintura, ya que algunos como el aceite de Toung provee un secado más rápido del material (Miao *et al*, 2013), mientras otros aumentan el rendimiento reduciéndose la utilización de disolventes orgánicos volátiles (Lligadas *et al*, 2013) en los barnices y recubrimientos.

(Lligadas *et al*, 2013) mencionan que hay diversidad de productos con aplicaciones biomédicas :sellantes, pegamentos quirúrgicos, parches farmacológicos, vehículos de fármacos, etc., debido a que al ser los aceites vegetales una materia prima de base biológica son potencialmente bio-compatibles, por lo cual se podría mejorar la biodegradación del material.

2.2.1.3. El chontaduro

La palma del chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K) es una planta nativa del Amazonas que también se encuentra distribuida en Ecuador, Venezuela, Brasil y Panamá, siendo considerada como uno de los alimentos más balanceados del trópico, gracias a su contenido de carbohidratos, proteínas, aceites, minerales y vitaminas (Restrepo & Estupiñan, 2007). La palma llega a tener una altura que va desde los 12 hasta los 20 metros cuando alcanza la madurez. La palma *Bactris gasipaes* es monocotiledónea por lo que en un mismo racimo posee flores masculinas y femeninas (Restrepo & Estupiñan, 2007), los racimos que da pueden contener de 80 a 250 frutos con un tamaño de 2,5 a 5,0 centímetros de color rojo, amarillo, anaranjado o jaspeado, con formas variadas (cónica, ovoide o elipsoidal) y con un peso de 10 a 12 kilogramos (Escobar A. *et al*, 1996).

Años atrás no se contaba con buena información nutricional y científica sobre esta planta, sin embargo hoy en día el aprovechamiento de los recursos naturales ha llevado a investigar un poco más sobre esta especie, volviéndose de gran interés para las organizaciones internacional debido al valor nutricional de su fruto (tabla

1). El chontaduro se caracteriza por poseer gran cantidad de ácidos grasos (linoleico y linolénico) y carotenos, además de un alto porcentaje de vitamina A y una porción de aminoácidos esenciales como son la leucina, fenilalanina, lisina, valina, isoleucina, treonina, metionina y triptófano. (Restrepo & Estupiñan, 2007)

Tabla 1. Valor nutricional de 100g de pulpa de chontaduro (Escobar Acevedo C. et al., 1998)

Calorías	180g	Ácido ascórbico	20,0mg
Grasas	4,6g	Fósforo	47,0mg
cenizas	0,9g	Calcio	23mg
Agua	52,5g	Vitamina A	7300mg
Carbohidratos	37,6g	Tiamina	0,04mg
proteínas	3,30%	Riboflavina	0,11mg
Fibras	1,4g	Niacina	0,9mg

En el fruto del chontaduro, se encuentra uno de los ácidos grasos más abundantes en la naturaleza, el ácido oleico con un porcentaje que va desde el 38,4% hasta el 51,9% dependiendo de la variedad del fruto, valores que al compararse (tabla 2) con aceites como el de oliva, girasol y palma, permiten concluir que el aceite de chontaduro presenta una baja oxidación y poca labilidad gracias a su bajo contenido de ácidos grasos poli-insaturados (Restrepo O. et al, 2012).

Tabla 2. Comparación del contenido de ácidos grasos del chontaduro y otras especies vegetales (Restrepo O. et al., 2012).

Ácido graso (%)	Aceite vegetal					
	Chontaduro	Palma	Oliva	Cacao	Soya	Girasol
Oleico	38,0-51,9	39,0	67,0-81,0	36,0	22,0	30,0
Linoleico	2,4-8,6	10,5	3,5-14,5	3,0	55,0	60,0
Linolénico	0,2-1,5	0-0,3	0,3-1,2	1,0	8,0	4,0
Saturados	36,1-41,7	50,2	12,0	60,0	14,0	10,0

Al centrarse en el mercado colombiano es importante mencionar que el fruto del chontaduro se produce en grandes cantidades, sin embargo su producción no se encuentra agroindustrializada lo que aparentemente limita su aprovechamiento. Colombia cuenta con una buena capacidad productiva, durante los años 2007 a 2011 se sembraron 9.507 hectáreas que produjeron en promedio 74.467 toneladas anuales, siendo el Valle del Cauca el mayor productor del fruto a nivel nacional (figura 2) con un 69,3%, donde el aporte más significativo lo da el municipio de Buenaventura con un 99,7% (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012).

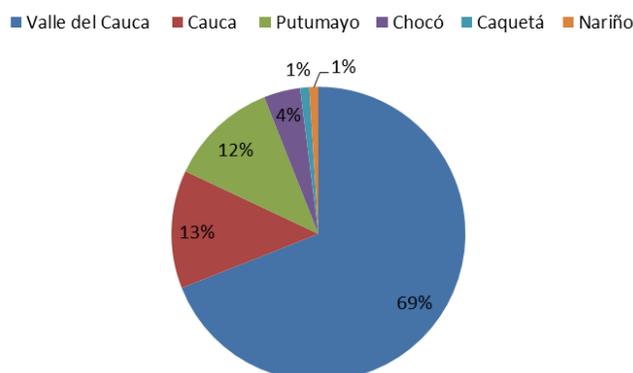


Figura 2. *Porcentaje de producción del cultivo de chontaduro por departamentos durante el año 2011* (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012).

2.2.2. Polímeros

2.2.2.1. La industria de los polímeros: Contexto económico y materias primas para su obtención

Los polímeros son macromoléculas constituidas por unidades estructurales pequeñas que se unen covalentemente, llamadas monómeros (Cowie & Arrighi, 2008), son estables estructuralmente, resistentes a las agresiones del medio, livianos si se comparan con otros materiales y económicos gracias a la producción a escala industrial. Estas características los han convertido a este tipo de productos en materiales muy demandados, por lo que se espera un aumento anual de un 5 y 5,5%, lo que conllevará a tener un consumo mundial en el año 2020 aproximado de 400 millones de toneladas (Biron, 2014). Dentro de los sectores que aprovechan estos recursos (tabla 3), se tiene un consumo del 76% de los polímeros totales por parte de sectores como el embalaje, construcción, ingeniería civil, automoción y transporte (Biron, 2014).

Tabla 3. *Cuotas de mercado de los siete sectores que más utilizan los plásticos* (Biron, 2014).

Mercado	Porcentaje (%)
Embalaje	39
Construcción e ingeniería civil	24
Automoción y transporte	13
Electricidad y electrónica	7
Deportes y ocio	5
Muebles y ropa de cama	4
Médico	1
Otros	7
Total	100

La mayoría de los polímeros utilizados actualmente “son derivados del petróleo y dependen en su totalidad de este recurso fósil no renovable, en efecto del petróleo extraído mundialmente, alrededor de un 5 % se destina a la industria de los polímeros, factor que hará que este recurso fósil se agote en menos de 50 años si el ritmo de consumo sigue como el actual” (Meneses *et al*, 2007), además “en los últimos, el incremento del precio del petróleo crudo ha aumentado la conciencia hacia los recursos fósiles limitados y el deseo de más prevención del cambio climático y sostenibilidad” (Tecnología del Plástico, 2013).

2.2.2.2. Síntesis de resinas poliéster a partir de aceite vegetal

Los poliésteres son macromoléculas compuestas de unidades monoméricas unidas a través de enlaces tipo éster (Valencia Flórez, 2014), las cuales se pueden obtener por dos vías, una es la reacción de curado o policondensación del aceite epoxidado con anhídros de ácido dicarboxílico con la ayuda de catalizadores (Miao *et al*, 2013), mientras la otra consiste en la polimerización por apertura del anillo lactona (Reiznautt *et al*, 2009).

Al ser las reacciones de curado (Figura 3) las más utilizadas, es importante tener en cuenta que la alta tensión del anillo oxirano favorece la reacción de polimerización, donde el carbono menos sustituido es atacado por un catalizador nucleofílico, formándose un intermediario cargado negativamente que ataca los anhídros cíclicos, desencadenándose la polimerización de los monómeros epoxidados y obteniéndose un poliéster. Este producto presenta propiedades que dependen del anhídrido dicarboxílico utilizado, donde anhídros con estructuras rígidas generaran mayores temperaturas de transición y densidades de reticulación (Miao *et al*, 2013), parámetros que determinaran en gran medida las propiedades del polímero obtenido.

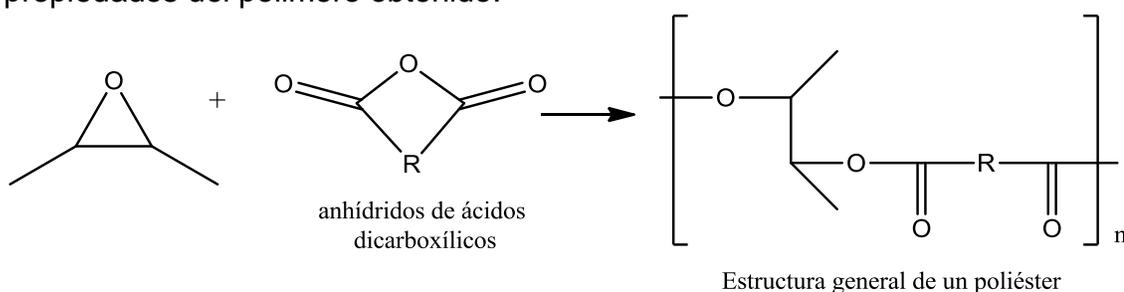


Figura 3. Síntesis de poliésteres por reacción de curado con anhídros de ácidos dicarboxílicos (Miao *et al*, 2013).

2.2.2.3. Antecedentes de la síntesis del material polimérico y comparación con el proyecto actual

La síntesis que se establece en este trabajo, tiene como antecedente el proyecto de grado denominado “OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS A PARTIR DE ACEITE DE CHONTADURO (*Bactris gasipaes*)” realizado en el año 2014 por Juan Sebastián Valencia Flórez. Proyecto que por medio de una reacción de curado llevo a cabo la síntesis de tres materiales poliméricos a partir del aceite del fruto del chontaduro epoxidado, donde se emplearon agentes entrecruzantes como son el anhídrido 1,2-ciclohexanodicarboxílico (en proporciones del 100% y 75%) y anhídrido maleico (100%), y un iniciador como es la 4-Dimetilaminopiridina.

A los materiales sintetizados, se les realizó una caracterización por espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) empleando la técnica de Reflectancia Total Atenuada (ATR) de alto rendimiento, se realizó la evaluación de las propiedades térmicas de los materiales por medio de calorimetría de barrido diferencial (DSC) y se realizaron estudios de hinchamiento con diferentes solventes (tolueno, cloroformo, acetona, ciclohexano, gasolina) mediante el seguimiento gravimétrico en función del tiempo.

A diferencia del proyecto de Valencia, el presente proyecto tiene como objetivo determinar las propiedades mecánicas del material sintetizado con un 100% de anhídrido 1,2-ciclohexanodicarboxílico con y sin adición de fibras celulósicas, lo anterior con el fin de aprovechar un residuo de desecho y brindar información que pueda ser empleada para buscar una aplicación del material polimérico sintetizado. Es importante aclarar que al ser el polímero sintetizado un termoestable, para poder realizar la incorporación de las fibras celulósicas es necesario que se haga antes de la reacción de curado, motivo por el cual se plantea la síntesis de igual manera que lo realiza (Valencia Flórez, 2014) y se hace necesario utilizar los métodos de caracterización por él empleados ya que hasta la fecha es la única síntesis y caracterización que se ha realizado.

2.2.3. Caracterización de polímeros

La caracterización de compuestos de bajo peso molecular se realiza mediante la medición de propiedades fisicoquímicas tales como: punto de ebullición, punto de fusión, índice de refracción, etc. Sin embargo, si se desea realizar la caracterización de macromoléculas el proceso es diferente, puesto que sus cadenas no presentan una estructura uniforme, pueden ser cristalinos o amorfos y las fuerzas intermoleculares modifican su comportamiento (Braun *et al*, 2013).

Los métodos de caracterización de materiales poliméricos son dependientes del estado en que se encuentre el polímero, ya sea sólido o en disolución, siendo los estudios más aplicables para los materiales poliméricos sólidos, la caracterización por: Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) y la Resonancia Magnética Nuclear (RMN), y las caracterizaciones térmicas: Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) y Análisis térmico diferencial (ATD), y los estudios reológicos del material (Valencia Flórez, 2014).

2.2.3.1. Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR)

Es una técnica espectroscópica por la cual se inducen movimientos de vibración de los enlaces de los átomos al aplicar radiación (Infrarroja) IR para determinar la fracción de radiación que es absorbida a una energía específica (Stuart, 2005). En donde el espectrofotómetro infrarrojo “consta de una fuente emisora que origina un haz de luz compuesto de todas las frecuencias de la radiación IR, cuya absorción se desea medir. Este haz se hace pasar a través de la muestra y luego a un monocromador (selecciona las frecuencias de una en una), y por último al detector (sistema capaz de emitir una señal electrónica proporcional a la intensidad de la luz recibida) y al registrador el cual representa gráficamente de forma continua la cantidad de luz transmitida o absorbida para cada frecuencia; la gráfica resultante se denomina espectro infrarrojo del compuesto” (Stermitz, 1988).

La FTIR logra determinar y cuantificar los grupos funcionales que componen el compuesto de estudio, mediante la disposición del polímero en discos de NaCl o KBr como película sólida fina o suspendida homogéneamente, o por medio de ATR (reflectancia total atenuada) donde la muestra se coloca como una película delgada sobre un cristal de ATR, registrándose el espectro en geometría de reflexión (Braun *et al*, 2013). Siendo el espectro obtenido una huella digital de la estructura molecular del polímero de estudio (Valencia Flórez, 2014), es entonces esta técnica de importancia en la caracterización de los materiales poliméricos, ya que los análisis se pueden hacer para compuestos solubles o materiales reticulados (Braun *et al*, 2013)

2.2.3.2. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Es una técnica que permite “analizar las transiciones térmicas que se producen en las muestras de polímero cuando se enfría o se calienta bajo una atmósfera inerte” (Braun *et al*, 2013). Donde el procedimiento consiste en calentar un par de plataformas conectadas a un horno con un flujo de calor común a una velocidad específica, donde una contiene la muestra y la otra está vacía (capsula de referencia) (Braun *et al*, 2013). “Se usan calefactores individuales para cada capsula y un sistema de control comprueba si se producen diferencias de

temperatura entre la muestra y la referencia. Si se detecta cualquier diferencia, los calefactores individuales se corregirán de tal manera que la temperatura se mantenga igual en ambas capsula. Es decir, cuando tiene lugar un proceso exotérmico o endotérmico, el instrumento compensa la energía necesaria para mantener la misma temperatura en ambas capsulas” (Suriñach *et al*, 1992), creándose un gráfico donde la diferencia en el flujo de calor entre la muestra y la referencia se representa en función de la temperatura. Permittedose medir todas las transformaciones o reacciones donde se produzcan cambios de energía, por lo que se pueden determinándose transiciones como la temperatura de fusión cristalina (T_m) y temperatura de transición vítrea (T_g)

2.2.3.3. Microscopia Electrónica de Barrido

La Microscopia Electrónica de Barrido (SEM, por sus siglas en inglés) es una técnica por medio de la cual se obtiene imágenes que permiten examinar la morfología de materiales sólidos (Vidal *et al*, 2015). El SEM, utiliza “un haz enfocado de electrones de alta energía para generar una variedad de señales en la superficie de la muestra sólida, siendo las señales derivadas de las interacciones electrón-muestra” (Montana State University, 2015), donde se genera información de la morfología externa (textura), composición química, estructura cristalina y la orientación de los materiales que componen la muestra”. La recolección de los datos se hace en un área seleccionada, siendo el SEM generado una imagen bidimensional donde las áreas varían de 1cm a $5\mu\text{m}$ de ancho.

2.2.3.4. Propiedades mecánicas

Al ser las propiedades mecánicas de los materiales la forma de analizar macroscópicamente las alteraciones que sufre un cuerpo al aplicar fuerzas mecánicas como son: tracción, cizalla y compresión uniforme (Cowie & Arrighi, 2008), es importante evaluar este tipo de respuestas en los materiales obtenidos, ya que tratan los principales fenómenos relacionados con la estabilidad del material a deformarse (cambio de forma) o fracturarse (desintegración) al aplicar una fuerza (Pelleg, 2013).

Para poder observar cambios en la forma o incluso separación en dos o más partes de un material, es necesario que las fuerzas aplicadas (externas) superen las fuerzas interatómicas, fenómeno que es evaluado experimentalmente y descrito por la tensión (fuerza que actúa por unidad de área) y deformación (desplazamiento por unidad de distancia) (Pelleg, 2013), pruebas que se pueden realizar para determinar las propiedades de un material gracias a su evaluación en conjunto o individualmente.

2.2.3.5. Ensayo de tracción

En general el ensayo consiste en la aplicación de una carga de tensión que se incrementa gradualmente a una velocidad determinada a una probeta de sección transversal uniforme (figura 4) hasta conseguir el fallo de la misma (Rodríguez, 2008). Lográndose determinar la capacidad de carga, la cual se relaciona con la tensión y deformación.

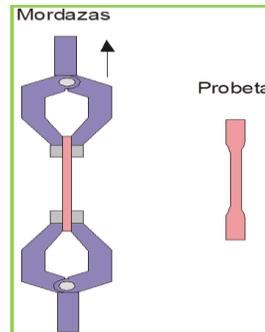


Figura 4. Ensayo de tracción

El ensayo logra determinar la transición elástica hasta llegar a la deformación plástica y finalmente a la fractura, debido a la aplicación de una carga por medio de gráficas de tensión vs deformación. Estas determinaciones también permiten evaluar parámetros como la **elongación**, el cual proporciona información sobre la ductilidad del material (medida de la deformación sin llegar la rotura), y **el módulo de elasticidad (E)** con el cual se puede determinar la resistencia de un material a la aplicación de una fuerza, es decir se evalúa la rigidez del mismo (Pelleg, 2013).

2.2.3.6. Ensayo de resistencia al Impacto

Es un método rápido por el cual se evalúa la tenacidad de un material a la fractura, siendo el objetivo de la prueba determinar la energía absorbida por el material para que se fracture (Pelleg, 2013). Dependiendo del tipo de muestra o espécimen y de la manera en cómo se realice el ensayo, hay dos tipos de pruebas, el ensayo *Charpy* y el ensayo *Izod*, donde el último se utiliza generalmente para materiales no metálicos.

El ensayo consiste en dejar caer un péndulo pesado desde una altura inicial determinada, el cual golpea y rompe la probeta de ensayo llegando a una altura final (Figura 5), en donde estas permiten obtener la diferencia en la energía potencial, siendo la energía de impacto absorbida durante la ruptura del material (Pelleg, 2013). Esta prueba es importante, ya que proporciona una medida crítica de la vida útil de un material, además de ser un modo fácil y rápido de hacer un

control de calidad a un material, comprobándose si tienes las propiedad específicas necesarias para cumplir un estándar de servicio (Pelleg, 2013).

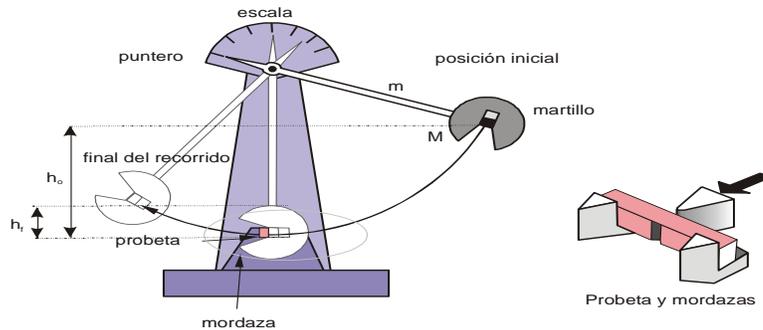


Figura 5. Ensayo de resistencia al impacto

2.2.3.7. Ensayo de flexión

Este ensayo consiste en ubicar una probeta en la máquina universal de ensayos, la cual se apoya cerca de los extremos y se le aplica una fuerza por medio de una cuña con un extremo redondeado la cual la recibe la sección transversal media como una carga centrada (figura 6) (Bernau, 1958). Al igual que el ensayo de impacto, este es un ensayo útil con propósitos de control de calidad y especificaciones (ICONTEC, 1999).

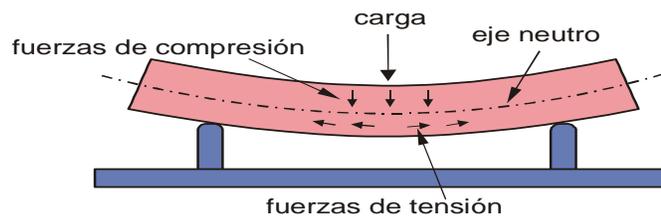


Figura 6. Ensayo de flexión

2.2.4. Materiales de relleno

2.2.4.5. Fibras Naturales

“Los compuestos de matriz polimérica están conformados por dos fases, una fase continua (matriz polimérica) y una fase dispersa (partículas o fibras)” (Hidalgo *et al*, 2011), donde la fase dispersa está compuesta por materiales de relleno como pueden ser las fibras celulósicas, las cuales actúan como refuerzo de la matriz polimérica, trayendo como ventajas su baja densidad, reducción de los costos,

buena resistencia y ductilidad, además de contribuir a la disminución de los residuos generados por diferentes industrias (Delvasto *et al*, 2011).

Por otro lado, es importante resaltar las ventajas de las fibras naturales sobre otros materiales como la fibra de vidrio (Tabla 4), ya que a pesar de ser económicos, muchas veces no pueden ser reutilizados o aprovechados a diferencia de las fibras naturales, característica que les brinda neutralidad en cuanto a la producción de dióxido de carbono (CO₂)(Wambua *et al*, 2003).

Tabla 4. Comparación entre fibras naturales y de vidrio (Wambua *et al*, 2003)

	Fibras naturales	Fibras de vidrio
Densidad	Baja	Dos veces de las fibras naturales
Costo	Bajo	Bajo, pero mayor a FN
Renovable	Si	No
Reciclable	Si	No
Consumo de energía	Bajo	Alto
Distribución	Amplio	Amplio
Neutralidad del CO₂	Si	No
Abrasión a las máquinas	No	Si
Riesgo a la salud por inhalación	No	Si
Disposición	Biodegradable	No biodegradable

A pesar de las buenas propiedades de las fibras celulósicas se generan problemas al momento de incorporarlas a las matrices poliméricas, debido a su carácter hidrófilo y al carácter hidrófobo de la matriz (Hidalgo *et al*, 2012). Esta diferencia de polaridad genera muchas veces mala humectación, incompatibilidad (que se traduce a poca adhesividad) con la matriz y alta absorción por parte de las fibras (Wambua *et al*, 2003), sin embargo (Desvalto *et al*, 2001; Muñoz Velez *et al* 2014 y (Mina, 2012) muestran investigaciones en las cuales se plantean tratamientos previos a la fibra, los cuales permiten la incorporación exitosa de estos materiales a la matriz polimérica.

2.2.4.6. El Fique

Con una distribución de más de 17,000 hectáreas y con una producción del 98% por parte de departamentos como Cauca, Nariño, Santander y Antioquia, el fique es la fibra más producida en Colombia, la cual genera alrededor de 11,200 empleos anuales, siendo la industria nacional la que consume el 52% de (Hidalgo *et al*, 2012) las aproximadamente 30,000 toneladas/año producidas. No obstante, la producción de esta fibra se extiende a regiones de América del sur, América central, México y países como Ecuador (Gañan & Mondragon, 2004). Se calcula que del sembrado del fique se generan 550 millones de kilos de residuos industriales como jugos y bagazo, y solo se aprovecha el 4% de la hoja en la

industria y por los artesanos para elaborar costales, sacos, sogas, bolsos y tapetes decorativos y utilitarios. A pesar de su bajo uso, esta hoja es aprovechable en su totalidad, ya que a partir de ella se pueden elaborar desengrasantes, alimentos para rumiantes, productos farmacéuticos y puede ser empleado como material de refuerzo para polímeros (Echavarría, 2008). El alto contenido de celulosa del fique le provee buenas propiedades mecánicas a las matrices poliméricas, siendo esta una probable forma de mejorar la resistencia a la tensión, entre otras propiedades, de productos industriales enfocados a la industria del plástico, automotriz, aeroespacial, entre otras (Echavarría, 2008) .

3. OBJETIVOS

3.2. Objetivo general

Determinar algunas propiedades mecánicas de matrices poliméricas derivadas de aceite de chontaduro con y sin materiales de relleno como los residuos del fique.

3.3. Objetivos específicos

1. Sintetizar y caracterizar por FTIR resinas poliéster a partir de aceite de chontaduro con y sin adición de residuos del fique en cantidades de 10%, 30%, 50% y 70%
2. Determinar las propiedades mecánicas de tensión, flexión e impacto de las resinas poliéster con y sin adición de residuos del fique, con porcentajes de relleno de 10%, 30%, 50% y 70% mediante la máquina universal de ensayos.
3. Determinar la variación en las propiedades mecánicas de las resinas poliéster por la incorporación de residuos del fique en cantidades de 10%, 30%, 50% y 70%.
4. Determinar la variación de la capacidad de absorber agua de la resina poliéster al adicionar residuos del fique, en cantidades de 10%, 30%, 50% y 70%, por medio de un ensayo de absorción de agua.

4. METODOLOGÍA PROPUESTA

Tabla 5. *Materiales y equipos utilizados para la síntesis del material polimérico*

ÍTEM	CANTIDAD
Plancha de calentamiento	1
Horno de secado	1
Balanza Analítica	1
Rotaevaporador	1
Equipo Condensador a reflujo de bolas	1
Agitador magnético	1
Balón para rotaevaporador 1L	1
Espátula	1
Embudo de separación 500mL	1
Balón aforado 1L	2
Vidrio reloj	2

Tabla 6. *Reactivos utilizados para la síntesis del material polimérico*

REACTIVOS Y SOLVENTES	PUREZA	MARCA
Aceite de chontaduro	60% de triglicérido de ácido oleico	WALIWA Amazonian Natural Products Ltda
Ácido Fórmico	98,00%	SIGMA-ALDRICH
Peróxido de hidrogeno	50,00%	Detalquímicos S.A
Anhídrido-1,2-ciclohexanodicarboxílico	95,00%	SIGMA-ALDRICH
4-Dimetilaminopiridina	99,00%	SIGMA-ALDRICH
Tolueno	99,80%	SIGMA-ALDRICH
Bicarbonato de sodio	99,50%	SIGMA-ALDRICH
Cloruro de sodio	99,00%	SIGMA-ALDRICH

4.1. Pre-tratamiento del fique

Debido a los problemas de compatibilidad entre las fibras celulósicas y la matriz polimérica, los residuos del fique fueron sometidos a un pre-tratamiento el cual consistió en realizar un secado previo del fique a 100°C durante 24 horas, seguidamente se alcalinizaron las fibras con una solución acuosa de hidróxido de sodio al 2% p/v durante una hora a temperatura ambiente (25°C) (Mina, 2012) y se efectuaron varios lavados con agua destilada y mediciones de pH con papel tornasol hasta conseguir un pH neutro. Finalmente se secó el material a 100°C durante 24 horas (Mina, 2012), se cortó a una longitud de 30mm y se incorporaron al material polimérico.

4.2. Determinación del diámetro del fique y la resistencia a la tensión de las fibras de fique

Con el fin de determinar el área de la sección transversal de las fibras de fique modificadas superficialmente con hidróxido de sodio, se observaron 15 fibras en un microscopio óptico Olympus GX41 con una rejilla calibrada que se usó como referencia para la determinación de su diámetro en micrómetros (μm).

Para la determinación de la resistencia a la tensión se cortaron fibras previamente tratadas alcalinamente a longitudes de $\frac{1}{2}$, 1, $1 \frac{1}{2}$, 2 y $2 \frac{1}{2}$ pulgadas, las cuales fueron soportadas en una plantilla de cartulina (Figura 7) para permitir su agarre por parte de las mordazas de la Máquina Universal de Ensayos Tinius Olsen H50KS (Gómez *et al*, 2009).



Figura 7. Sujeción de las fibras de Fique a la Máquina Universal de Ensayos.

4.3. Síntesis del material polimérico

La obtención del material polimérico se realizó de acuerdo a lo planteado por Valencia (Valencia Flórez, 2014), siendo este procedimiento resumido en cuatro pasos, los cuales se muestran en la figura 9. Para la síntesis se empleó aceite de chontaduro obtenido por los indígenas de la región del Amazonas y distribuido por la empresa *Walliwa Amazonian Natural Products*, el cual inicialmente se sometió a una reacción de epoxidación con ácido fórmico y peróxido de hidrógeno al 50% en presencia de tolueno y se mantuvo en agitación constante por 24 horas. A continuación se lavó la capa orgánica con soluciones de cloruro de sodio al 1% y bicarbonato de sodio al 1% con el fin extraer el peróxido de hidrogeno en exceso, y se quitó el exceso de agua de la fase orgánica con sulfato de sodio anhidro, posteriormente se realizó la concentración del epóxido por medio del uso de un rotaevaporador.

Para la obtención del poliéster se mezcló el epóxido del aceite de chontaduro con un catalizado nucleofílico como es 4-dimetilaminopiridina en un balón equipado con un condensador de reflujo con el fin de dar inicio a la reacción, posteriormente se adicionó el agente entrecruzante anhídrido 1,2-ciclohexanodicarboxílico al 100%, manteniéndose una temperatura de 120°C y una agitación constante hasta lograr obtener un líquido viscoso y homogéneo. El líquido obtenido se mezcló con las fibras de fique de 30mm de longitud y fue vertido en moldes precalentados a 100°C para obtener probetas tipo I (Figura 8), la temperatura se mantuvo durante 72 horas (Valencia Flórez, 2014).



Figura 8. Molde en polipropileno para obtener probetas Tipo I

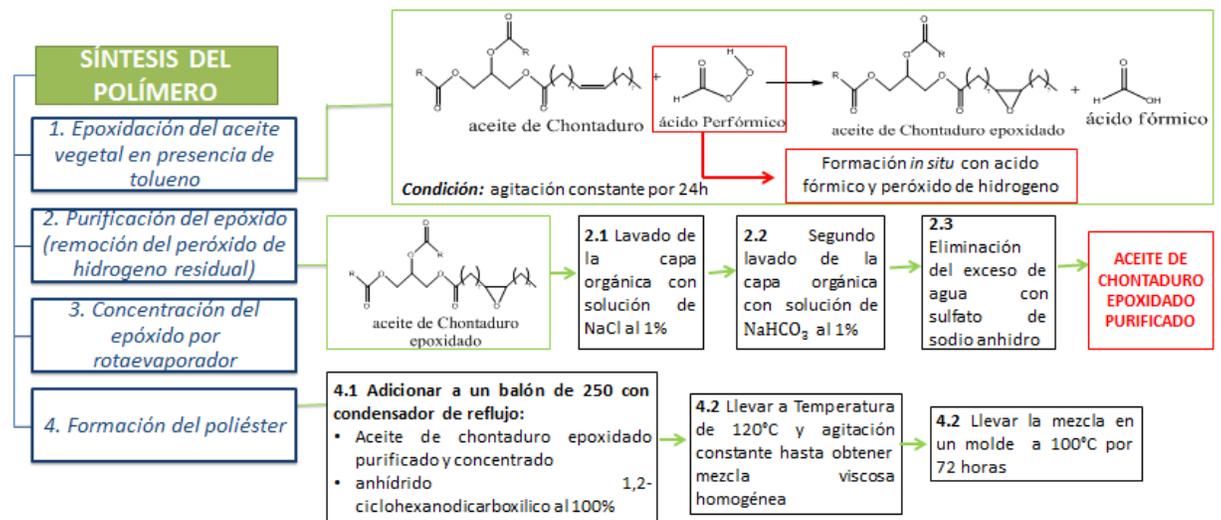


Figura 9. Metodología de síntesis para la obtención de la resina poliéster a partir de aceite de chontaduro.

4.4. Incorporación de las fibras naturales al polímero

La incorporación de las fibras de fique de 30mm de longitud se realizó de manera aleatoria cuando se obtuvo un líquido viscoso, homogéneo y traslucido en la etapa 4.3, por medio de la mezcla del material polimérico con estas. Las cantidades incorporadas de material de relleno fueron 2,5, 5,0% y 7,5 (% v/v), en donde se

tuvo en cuenta la densidad específica del fique $\rho = 1.740g/cm^3$ (Muñoz Velez, Salazar, & Hernandez, 2014)

4.5. Caracterización por FTIR y análisis térmico del polímero obtenido

Los análisis FTIR se realizaron para el material polimérico obtenido en un espectrofotómetro marca SHIMADZU-IR Affinity-1. Los espectros se obtuvieron en modo transmitancia, con una acumulación de 16 *scans* por medio de la técnica ATR.

El material se analizó por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) en un equipo TA Instruments modelo Q2000. Las muestras se analizaron bajo atmósfera de nitrógeno, realizándose tres barridos de -80 a 250°C a una velocidad de calentamiento de 10°C/min, de 250 a -80°C a una velocidad de enfriamiento de 5°C/min, y el tercero de -80 a 250°C una velocidad de calentamiento de 10°C/min (Valencia Flórez, 2014).

4.6. Determinación de las propiedades mecánicas

La determinación de las propiedades mecánicas a tensión y flexión de las diferentes matrices poliméricas preparadas con y sin fibras de fique, se realizó por medio del uso de la Máquina Universal de Ensayos Tinius Olsen H50KS y la máquina Tinius Olsen IT 504 respectivamente, donde se tuvo en cuenta el estándar ASTM (D638, D790 y D256) y las normas técnicas colombianas (NTC 595, 3201 y 943) para polímeros NTC, evaluándose 5 especímenes para cada uno de los materiales. En la tabla 6 se resumen cada uno de los ensayos realizados con su respectiva norma

Tabla 7. Normas técnicas ASTM correspondiente para los ensayos realizados (sección 9 Anexos, Hidalgo et al, 2011).

Ensayo	Norma	Acondicionamiento	Parámetro del ensayo	
Tensión	ASTM D638 y NTC 595	50% humedad 50°C durante 40h	Velocidad	50 mm/min
			Temperatura	25°C
Flexión	ASTM D790 y NTC 3201	50% humedad 50°C durante 40h	Velocidad	5 mm/min
			Temperatura	25°C
Impacto	ASTM D256 y NTC 943	50% humedad 50°C durante 40h	Velocidad	3,5 mm/min
			Temperatura	25°C
Absorción de agua	ASTM D570	50°C durante 24h	Tiempo	24h
			Temperatura	23°C

4.7. Tratamiento estadístico

La prueba seleccionada para analizar los resultados de resistencia a la tensión fue un Análisis de Varianza (ANOVA) unidireccional o de un solo factor, seguido de una comparación en parejas de Fisher o una diferencia mínima significativa (LSD, por sus siglas en inglés). El análisis de la varianza simple es una técnica estadística que se emplea para analizar la relación entre una variable dependiente (cuantitativa) y varias variables independientes (cualitativas) (Marqués, 2010), además tiene un modelo que permite “medir la significación estadística de las diferencias entre las medidas de los grupos determinados en la variable dependiente por los valores de las variables independientes no métricas” (Marqués, 2010).

Con los materiales que tenían una mayor resistencia a la tensión (5,0 y 7,5% de fique) se pasó a realizar el ensayo de flexión, en donde los resultados fueron evaluados por medio de una prueba F para varianzas de dos muestras y una prueba t de *student* para dos muestras con varianzas iguales.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Caracterización por Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR)

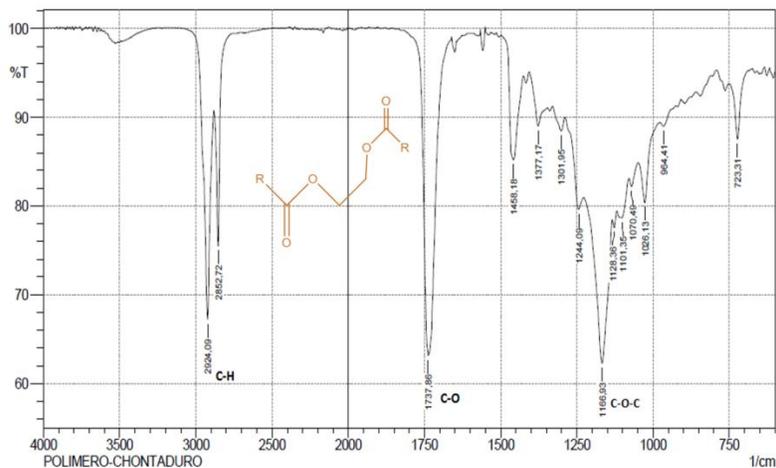


Figura 10. Espectro infrarrojo del material polimérico derivado de aceite de chontaduro obtenido experimentalmente, donde se muestra en rojo la estructura química del monómero identificado

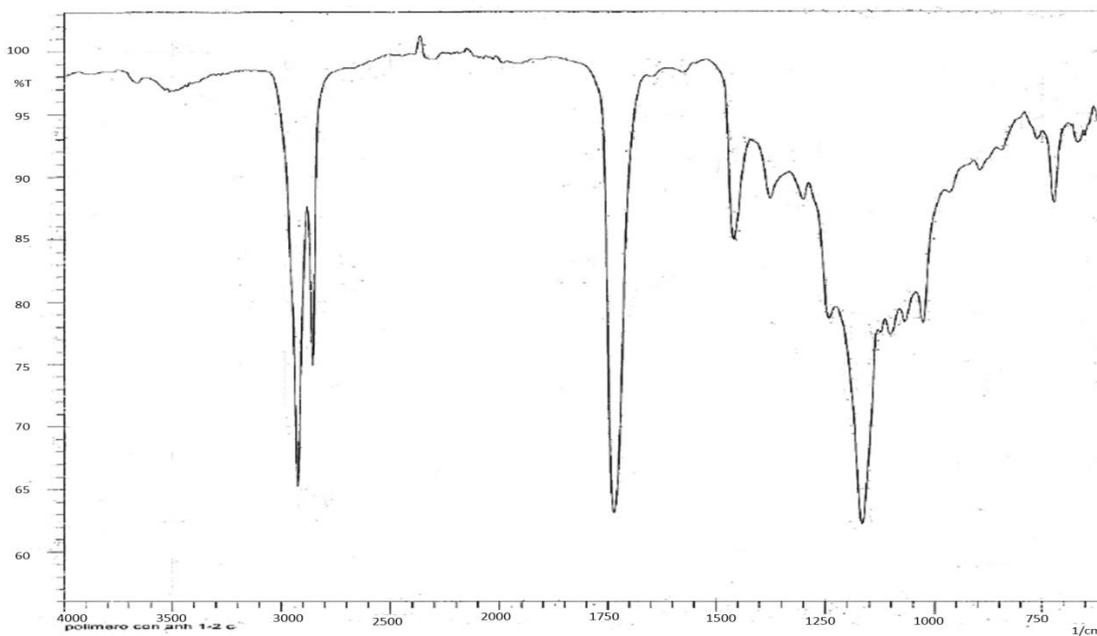


Figura 11. Espectro infrarrojo del material polimérico derivado de aceite de chontaduro obtenido por valencia (Valencia Flórez, 2014)

Se utilizó la técnica de Espectroscopia Infrarroja con Reflectancia Total Atenuada para obtener el espectro IR y determinar los grupos funcionales presentes en el material sintetizado. Al analizar el espectro infrarrojo del polímero derivado de aceite de chontaduro obtenido experimentalmente (Figura 10) y compararlo con el espectro reportado por Valencia Flórez (Figura 11), se observa que en ambos aparecen bandas a 2924 y 2852 cm^{-1} vibraciones de tensión simétrica y asimétrica de enlaces C-H con hibridación sp^3 , tal como reporta Valencia Flórez (Valencia Flórez, 2014).

Por otro lado, a 1737 cm^{-1} se observa la banda correspondiente al estiramiento de tensión del enlace carbonilo -C=O , asociado a uniones tipo éster presentes en las cadenas hidrocarbonadas del polímero (Mina, 2012), complementándose esta señal con las que aparecen en la región dactiloscópica a 1166 y 1244 cm^{-1} , las cuales corresponden a las vibraciones del enlace C-O-C del mismo (Nicolau *et al*, 2012).

Por último se tiene la región dactiloscópica, la cual es característica de cada compuesto (Bruice, 2008) y va desde los 1400 cm^{-1} a los 600 cm^{-1} , se observa para ambos espectros bandas cuyos valores del número de onda (Tabla 7) permiten afirmar que el polímero obtenido corresponde al mismo sintetizado por Valencia (Valencia Flórez, 2014).

Tabla 8. Bandas FTIR de los polímeros derivados de aceite de chontaduro

REGIÓN DE GRUPOS FUNCIONALES		
Bandas (cm^{-1}) del Polímero obtenido experimentalmente	Bandas (cm^{-1}) del Polímero obtenido por Valencia en 2014	Enlace correspondiente
2924	≈2912	Estiramiento del enlace C-H de la cadena hidrocarbonada, correspondiente a vibración de tensión simétrica
2852	≈2850	Estiramiento del enlace C-H de la cadena hidrocarbonada, correspondiente a vibración de tensión asimétrica
1737	≈1740	Estiramiento del enlace carbonilo -C=O de enlace tipo éster
REGIÓN DACTILOSCÓPICA		
Bandas (cm^{-1}) del Polímero obtenido experimentalmente	Bandas (cm^{-1}) del Polímero obtenido por Valencia en 2014	Enlace correspondiente
1166 y 1244	≈ 1167 y ≈1250	Vibraciones enlace C-O-C del grupo éster
1458	≈1450	Vibraciones de flexión $\text{-CH}_2\text{-}$ y -CH-
1377	≈1375	Vibraciones de flexión -CH_3
723	≈ 725	Deformación de balanceo de grupos metilo

5.2. Caracterización térmica: Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Por otro lado, se complementó la caracterización del material por medio de un análisis térmico por DSC. En este análisis se efectuaron tres barridos en donde el ciclo número tres (Figura 12) de -80 a 250°C y a una velocidad de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ permitió determinar que la temperatura de transición vítrea (T_g) del material. La T_g se representa en el termograma como el salto de la línea base a una temperatura de $-33,66^{\circ}\text{C}$, siendo esta el paso del material vítreo a líquido subenfriado, o viceversa (Suriñach *et al*, 1992), lo que indica que el material por debajo de esta temperatura presentará un comportamiento de sólido rígido y por encima ganará movimientos locales y por ende elasticidad (Braun *et al*, 2013). El termograma también permitió determinar la temperatura de fusión cristalina (T_m) la cual se observa como un pico endotérmico a $-8,49^{\circ}\text{C}$

Comparando los resultados del termograma con los de la Figura 14, se puede observar que los valores de T_g y T_m son similares, además en la Figura 12 el termograma muestra que el material obtenido desde la síntesis presenta una fracción cristalina la cual se “observa la señal correspondiente a la temperatura de fusión cristalina del material” (Valencia Flórez, 2014), fenómeno que se corrobora en el ciclo 2 donde hay una señal exotérmica “el cual hace referencia a la temperatura de cristalización de los cristalitos que en el primer ciclo se fundieron” (Valencia Flórez, 2014).

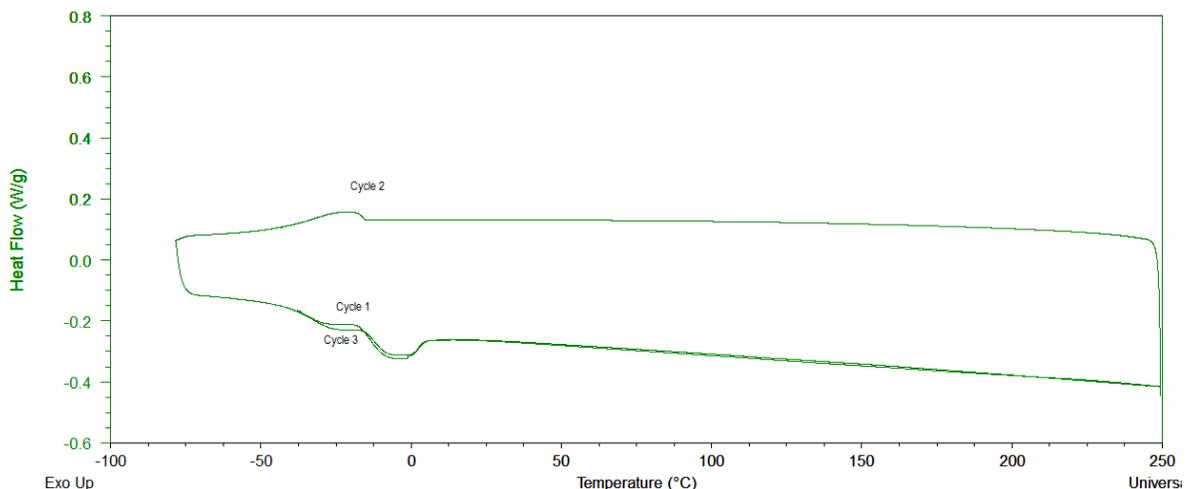


Figura 12. Termograma DSC para el material obtenido experimentalmente

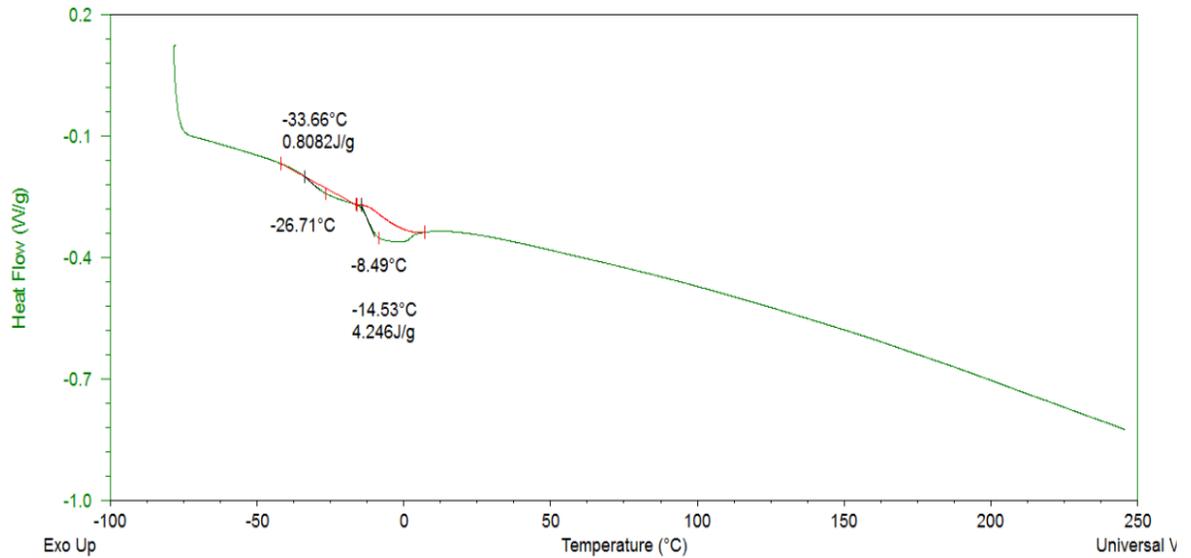


Figura 13. Termograma DSC para el material obtenido experimentalmente

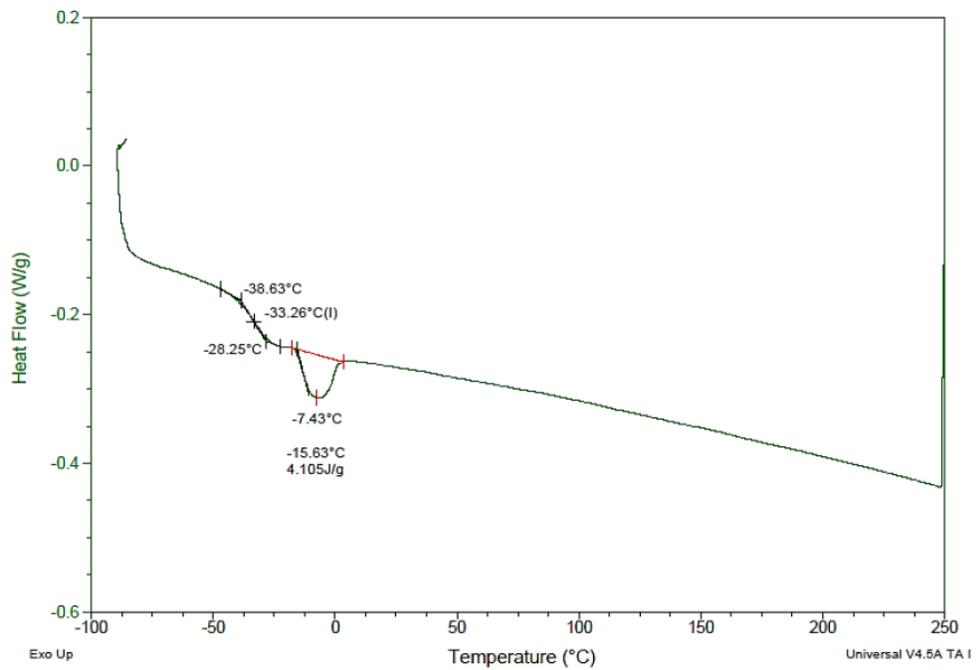


Figura 14. Termograma DSC para el material obtenido por Valencia en 2014

5.3. Resistencia a la tracción de las fibras de Fique

Al tenerse un material de relleno que se espera modifique las propiedades mecánicas del material polimérico, se debe de realizar inicialmente un ensayo de

tracción o tensión para las fibras, donde la determinación de la resistencia a la tensión es dependiente del área del fique. Por tal motivo se realizó la determinación del diámetro de la fibra (tabla 9), ya que como reporta Gañan y Mondragón (Gañan & Mondragon, 2004) se asume el área transversal del fique como circular, ya que esto facilita los cálculos de las propiedades mecánicas.

Tabla 9. Resultados determinación del área de las fibras de fique

Número de fibra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Diámetro (µm)	140	130	120	170	100	110	200	160	130	180	200	160	150	120	270
	150	120	130	102	110	120	150	160	150	160	210	120	130	140	140
	150	120	120	170	160	130	140	170	130	190	170	110	200	130	120
Diámetro promedio (µm)	147	123	123	153	123	120	163	163	137	177	193	130	160	130	177
n	15														
Promedio (\bar{x})	148														
Desviación estándar (σ)	23														

Al tener un diámetro promedio para las fibras de fique de 148µm o 0.148mm, se tiene que el área equivalente a la sección transversal del fique es:

$$A = \pi r^2 \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde r es el radio del fique y equivale a la mitad del diámetro.

Utilizando la Ecuación 1 se tiene que el área promedio del fique es:

$$A = \pi \left(\frac{0,148mm}{2} \right)^2 = 0,017mm^2$$

Al ser la longitud de la fibra uno de los factores que afecta los valores de este ensayo, se seleccionó una muestra de 10 fibras de cada una de las siguientes longitudes: ½, 1, 1 ½, 2 y 2 ½ pulgadas, de las cuales se obtuvo la máxima fuerza, valor que junto con el área promedio del Fique genera los siguientes resultados de resistencia a la tensión que se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Resultados de resistencia a la tensión de la fibra de fique a diferentes longitudes

Longitud de la fibra	Resistencia a la tensión (MPa)										Resistencia a la tensión promedio (Mpa)	Desviación estandar (σ)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1/2 pulgadas	658,82	625,29	308,82	337,06	386,47	578,82	301,76	532,94	675,88	500,00	490,59	139,12
1 pulgada	410,00	431,18	527,65	335,29	295,88	278,24	390,00	723,53	560,59	347,06	429,94	131,00
1 1/2 pulgadas	357,06	390,00	410,00	342,94	305,88	248,82	247,06	641,18	441,18	335,29	371,94	107,97
2 pulgadas	274,71	358,82	210,00	421,76	162,94	472,35	252,94	574,71	194,12	217,65	314,00	130,09
2 1/2 pulgadas	329,41	319,41	221,76	335,29	123,53	347,06	266,47	298,24	180,59	190,00	261,18	73,74

La figura 15 muestra cómo se relaciona la variable longitud de la fibra y la variable resistencia a la tracción, la cual permite determinar la ecuación de la recta $y = -114,95x + 545,96$ con un coeficiente de determinación de 0,9994. Al ser este muy cercano a 1 nos dice que se tiene una buena calidad del ajuste del modelo lineal donde las variaciones de Y vienen explicadas por las de X (Fernández, Sánchez, & Largo, 2002), es decir se puede confirmar que hay una relación entre el cambio en la resistencia de la fibra con la variación de su longitud.

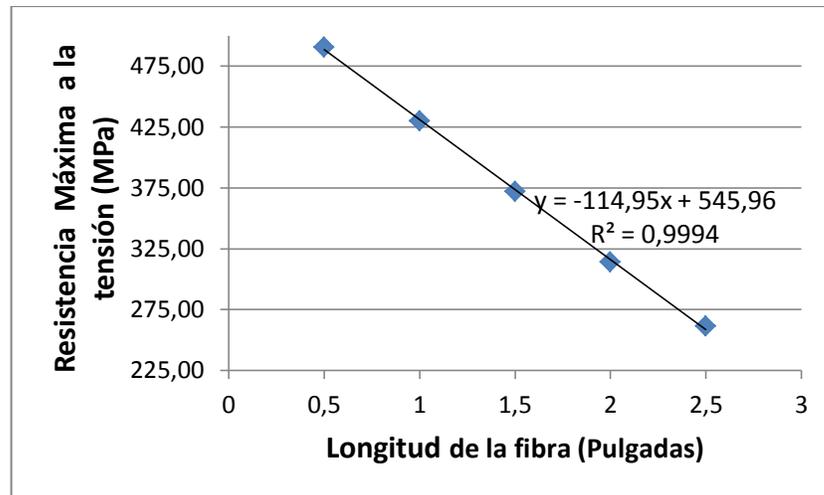


Figura 15. *Ensayo de Tensión de la fibra, Longitud VS Resistencia*

Al tener las fibras de fique una longitud de 30mm o 1,18 pulgadas, es importante realizar la determinación teórica de la resistencia aportada a la matriz. Utilizando la ecuación de la recta se tiene:

$$y = -114,95x + 545,96$$

Donde y es la resistencia máxima a la tensión en MPa y x es la longitud de la fibra en pulgadas. Al despejar y para la longitud de 1,18 pulgadas se tiene:

$$y = -114,95(1,18) + 545,96 = 410,32MPa$$

Siendo el valor teórico de resistencia a la tensión del fique de 410.32 MPa, resultado que posteriormente se utilizará para hallar un valor teórico de la resistencia a la tensión del material polimérico junto con los diferentes porcentajes de fibras celulósicas.

5.4. Síntesis del polímero e incorporación de las fibras de fique

De acuerdo con la metodología, se siguió la ruta de síntesis que implica la epoxidación del aceite de chontaduro, seguida de la polimerización del epóxido con 4-dimetilaminopiridina como iniciador y anhídrido-1,2-ciclohexanodicarboxílico como agente de entrecruzamiento, lográndose obtener un líquido viscoso translucido el cual se mezcló con las fibras de fique en cantidades de 10, 30, 50 y 70 (% v/v), proceso que no fue exitoso ya que se formaron agregados de fibras en donde estas predominaban sobre la cantidad de líquido incorporado (Figura 16)

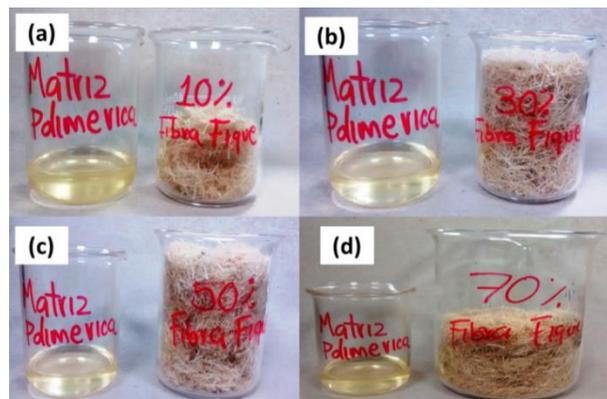


Figura 16. Comparación del volumen ocupado por la fibra versus el ocupado por la matriz polimérica, donde se muestra (a) 10% v/v , (b) 30% v/v, (c) 50% v/v y (d) 70% v/v de fibra

Como se observa en la figura 17 incluso el menor porcentaje de fibra celulósica planteado no resultó exitoso, por tal motivo se pasó a realizar la incorporación de este material en la matriz polimérica en proporciones menores: 2,5, 5,0, y 7,5% (v/v). Es importante mencionar que los porcentajes planteados inicialmente fueron tomados de valores propuestos en la literatura, en la cual se trabajó con polímeros termoplásticos como el polietileno de alta densidad, al cual se le puede realizar un proceso de mezclado por medio de moldeo con temperatura, lo que facilita la incorporación de altas cantidades de fibra (Desvalto *et al*, 2001).

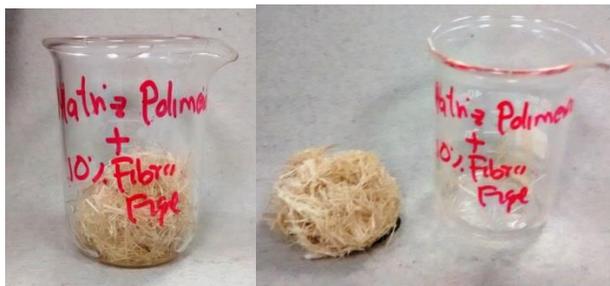


Figura 17. Incorporación de 10% v/v de fibra de fique a la matriz polimérica

Al realizar la incorporación de los nuevos porcentajes de fibra no se presentaron problemas, lográndose vaciar en los moldes la matriz con diferentes porcentajes de fique menores al 10%, obteniéndose exitosamente, por ejemplo, las probetas tipo I para el ensayo de tensión (Figura 18).



Figura 18. *Probetas tipo I del material polimérico con (a)0%v/v (b) 2,5%v/v (c) 5,0% v/v y (d) 7,5% de fibra de fique después de 72 horas de curado.*

5.5. Propiedades mecánicas de los materiales poliméricos y tratamiento estadístico

En la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos para la resistencia a la tensión máxima para cada uno de los materiales.

Tabla 11. *Resistencia a la tensión de los materiales poliméricos*

Porcentaje de fibra de fique (%)	Resistencia a la tensión (MPa)				
0	0,0995	0,1262	0,1063	0,1038	0,1045
2,5	0,1568	0,1349	0,1432	0,1475	0,1597
5	0,2077	0,2101	0,1959	0,1658	0,2382
7,5	0,3697	0,3888	0,2288	0,2701	0,3585

En el análisis estadístico (sección 9.6. anexos) se plantearon las siguientes hipótesis con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$

H_0 =Todas las medias son iguales

H_1 = Por lo menos una media es diferente

Obteniéndose un valor P de 0.000, por lo que se rechaza la hipótesis nula ya que el valor $p \leq \alpha$ y se puede decir que por lo menos hay uno los materiales poliméricos que presenta diferencia en los valores de resistencia a la tensión con un 95% de confianza.

Al saber esto, es necesario realizar una prueba que permita determinar cuál material es diferente del otro, para esto se realiza una prueba de comparaciones en parejas de Fisher (Tabla 12) con una confianza del 95%. Esta prueba al arrojar una agrupación de los diferentes materiales, permitiendo concluir que los porcentajes de 0 y 2,5% de fique no presentan diferencias entre sí, mientras que los porcentajes de 7,5 y 5,0% si son diferentes de los demás, al observar las medias se puede concluir que la matriz polimérica con 7,5% de fibras de fique tiene la mayor resistencia a la tensión con un valor de 0,3232 MPa

Tabla 12. Comparación en parejas de Fisher

Porcentaje de fique	N	Media (MPa)	Agrupación
7,50%	5	0,3232	A
5,00%	5	0,2035	B
2.5%	5	0,1484	C
0%	5	0,1081	C

En este punto es importante indicar que los valores de la resistencia a la tracción de las fibras de fique (numeral 5.3.), recordemos que el valor teórico obtenido para las fibras de 30mm fue de 410,32MPa. Este parámetro junto con el valor promedio de la tensión del material patrón (0% de fibra de fique), permite realizar la determinación de un valor teórico para los materiales con diferentes proporciones de fique.

Esta determinación consiste en hallar a resistencia máxima teórica (R_{max}) del material compuesto por medio de la siguiente regla de mezclas (Askeland, 1998):

$$R_{max} = R_{MP}f_{MP} + R_fF_f \text{ (Ecuación 2)}$$

Dónde:

R_{MP} = Resistencia promedio del Matriz

f_{MP} = Fracción volumen de la matriz en el material compuesto

R_f = Resistencia promedio de las fibras de fique

F_f = Fracción volumen de las fibras de fique en el material compuesto

Los valores de R_{max} obtenidos para los materiales compuestos con 2,5%, 5,0% y 7,5% de fibra fueron 10,36, 20,61 y 30,86 MPa, respectivamente. Dichos valores

resultan muy diferentes a los obtenidos experimentalmente (Tabla 11), dado que la resistencia a la tensión que brinda un material de refuerzo no solo está influenciada por la resistencia que el material ofrezca. Existen otros factores que disminuyen los valores experimentales de R_{max} como son la longitud, diámetro, orientación y cantidad de la fibra y la compatibilidad entre las dos fases (fibra y matriz).

En la figura 19 se resumen los resultados de las curvas de los ensayos de tensión de los materiales compuestos obtenidos, pudiéndose evidenciar que el aumento de la cantidad de fique repercute en un incremento en la propiedad de tensión, fenómeno que se justifica por el concepto relación de aspecto o “*aspect ratio*” de la fibra, el cual está dado por la razón “ L/D ”, siendo “ L ” la longitud de la fibra y “ D ” el diámetro (NAVIA *et al*, 2013). Al tener un “*aspect ratio*” de 202 para las fibras con longitud de 30mm o 30000 μm y diámetro promedio de 148 μm , se ratifica que la fibra actúa incrementando esta propiedad, mientras valores menores a 10 y entre 10 y 50, son indicativos de que las fibras no refuerzan el material o tienen un efecto moderado de resistencia a la tensión (Navia *et al*, 2013).

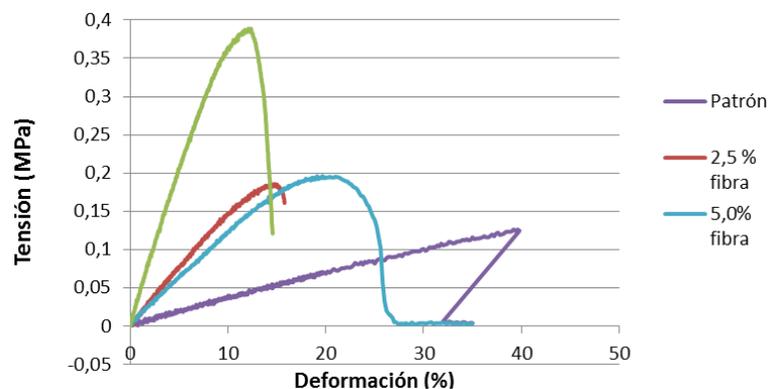


Figura 19. Curva esfuerzo-deformación ensayo de tensión

Al evaluar los factores longitud y orientación de la fibra se observa que estos afectan en gran medida la resistencia del material compuesto. El primer factor porque al incorporar en el material fibras cortas, los extremos de estas soportan una carga menor que el centro de la fibra, por lo que al tener fibras cortas de 30mm se generan más extremos dentro de la matriz, disminuyéndose la resistencia máxima (Askeland, 1998). El segundo factor porque la orientación de las fibras en la matriz genera materiales con propiedades mecánicas iguales en todas las direcciones o dependientes de la dirección del estudio (materiales isotrópicos y materiales anisotrópicos, respectivamente) (Kanie *et al*, 2000).

Al tenerse una distribución aleatoria de las fibras en la matriz polimérica, se tienen como ventaja la facilidad de mezcla de las fibras con la matriz polimérica y la generación de propiedades mecánicas iguales en todas las direcciones (Askeland,

1998). Por lo que es importante confrontar el uso de la orientación continua y aleatoria de las fibras, ya que, si se compara la última con el uso de fibras continuas alineadas al esfuerzo aplicado (fibras 0°), se estaría generando una disminución en la resistencia a la tensión, ya que como se muestra en la figura 20, disposiciones de 0° muestran mayores resistencia versus otros ángulos (Askeland, 1998).

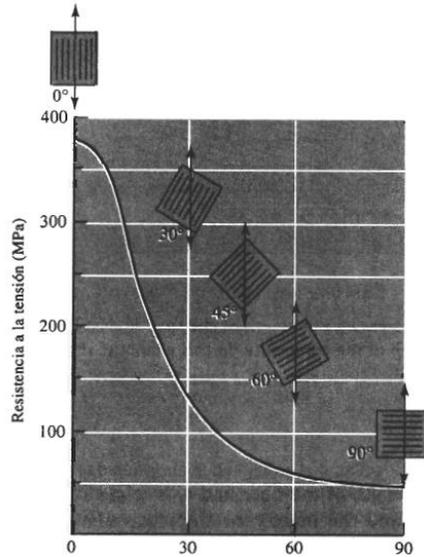


Figura 20. *Influencia de la orientación de las fibras y la resistencia al esfuerzo (Askeland, 1998).*

Finalmente, para evaluar los resultados obtenidos de tensión se debe hablar del factor compatibilidad entre las dos fases, ya que para este tipo de materiales es vital tener una buena unión entre los componentes. “Las fibras deben estar firmemente unidas al material de la matriz” (Askeland, 1998), para lograr tener una buena transferencia de carga, ya que uniones pobres conllevan a que las fibras se salgan de la matriz durante el ensayo mecánico, disminuyendo la resistencia del material (Askeland, 1998).

La figura 21 muestra las micrografías SEM del material compuesto en el punto de fractura del ensayo de tensión, donde las imágenes (a) y (b) permiten observar la buena unión de las fibras a la matriz, ya que no se observan espacios vacíos entre la fibra y el material polimérico (Gañán & Mondragon, 2004), lográndose obtener unas fibras que no se encuentran desprovista de matriz polimérica, por lo cual este factor no afecta la resistencia máxima del material. Además, esta buena unión permite concluir que el proceso de alcalinización de las fibras que se reporta en diferentes fuentes bibliográficas le confiere al fique una buena adherencia a la matriz, gracias a los cambios que se dan en la orientación de las cadenas moleculares de la celulosa, lo que se traduce en el paso de celulosa tipo I a tipo II, generando un empaquetamiento más compacto de las cadenas y un aumento del

grado de orientación molecular (Mina, 2012), incrementando su contenido en la fibra y disminuyendo componentes cristalinos y grasas, lo cual reduce su diámetro y hace que el refuerzo sea mayor, fenómenos que llevan a que la humectabilidad del fique mejore (Gañan & Mondragon, 2004).

Al mismo tiempo en la figura 21 (c) se puede observar la distribución y orientación de las fibras de acuerdo se realizó en el proceso de incorporación en la matriz polimérica, evidenciándose una distribución aleatoria y relativamente uniforme.

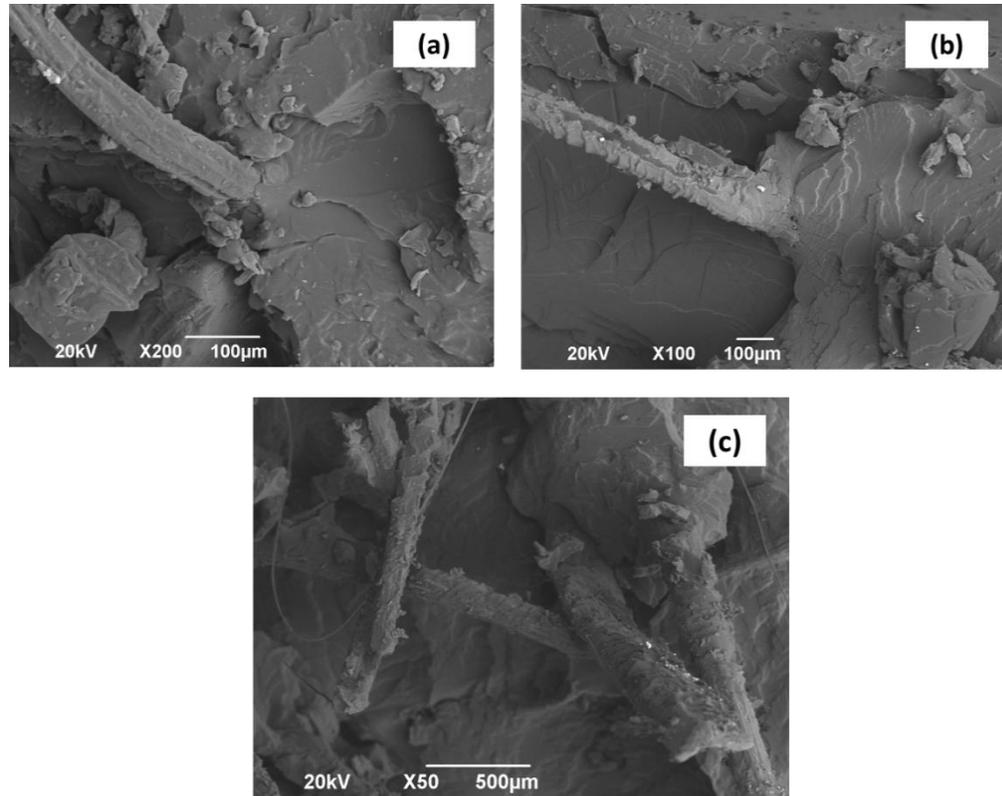


Figura 21. Micrografías SEM transversales de la fractura a tensión del compuesto donde se muestra (a) y (b) unión del fique con la matriz polimérica, y (c) distribución del fique en la matriz polimérica.

Los resultados para el ensayo de tensión permiten concluir que un posible campo de aplicación del material obtenido es la industria de los empaques, ya que en esta se emplean materiales con resistencias bajas y altas deformaciones. Dentro de este tipo de materiales se encuentran por ejemplo las bolsas de embalaje de películas termocomprimidas de almidón de maíz con nanopartículas de talco, las cuales presentan resistencias a la tensión entre 1,19 MPa y 5 MPa y deformación entre el 17% y 62% (López *et al*, 2015). A pesar de que los valores de deformación del material obtenido se encuentran en el rango del ejemplo mencionado, el valor de tensión dista significativamente del valor máximo obtenido

para el material con 7,5% de fique el cual presentó una resistencia de 0,3232 MPa.

Por lo que se vuelve importante mencionar que existen fuentes bibliográficas que muestran, por ejemplo, que un material como el PEBD/Al sin refuerzo presenta una resistencia a la tensión de 11 MPa la cual incrementa en un 755% al realizarse la incorporación del fique (Hidalgo *et al*, 2011), por lo cual sería posible hacer un incremento considerable de la resistencia al material obtenido si se tienen en cuenta los diferentes factores que afectan la resistencia del material compuesto, como son: el pretratamiento de las fibras celulósicas, la longitud y la forma en como se incorporan a la matriz.

Después de analizar las pruebas de tensión y determinar que los materiales con 0 y 2,5 (% v/v) de fibra de fique tenían una resistencia similar, se decidió descartarlos ya que presentaron deformaciones muy altas y bajas resistencias, características que no permiten realizar un ensayo de flexión. Por tal motivo, este ensayo se realizó a los materiales con 5,0 y 7,5% (v/v) de fique, donde el análisis se realizó por medio de una proba F para varianzas de dos muestras (sección 9.7. anexos), siendo el valor P menor que el alfa por lo que se puede decir que las medias son diferentes y el material con 7,5% de fique presentó valores mayores de flexión comparado con el material con 5,0% de fique (tabla 13).

Tabla 13. Resultados ensayos de flexión de los materiales poliméricos

Porcentaje de fibra de fique (%)	Esfuerzo de flexión (MPa)					Promedio de esfuerzo a la flexión (MPa)	Desviación estándar (σ)
5,0%	0,3521	0,2984	0,3925	0,3689	0,3184	0,3461	0,0339
7,5%	0,4601	0,5490	0,6050	0,6110	0,4310	0,5312	0,0738

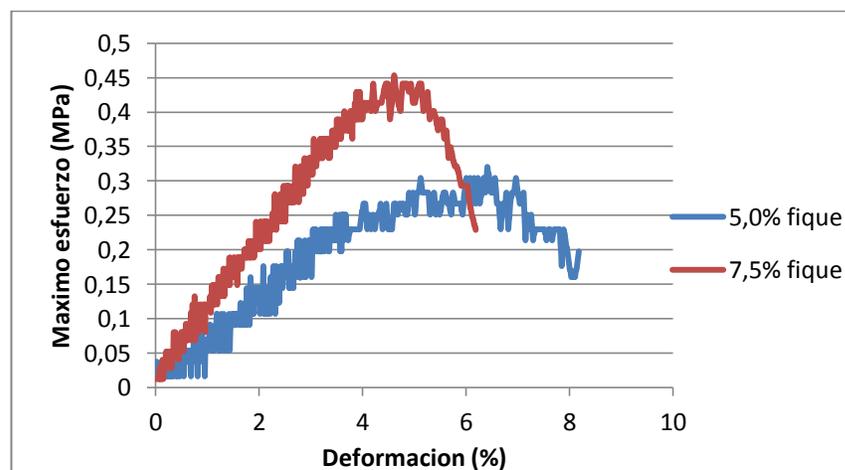


Figura 22. Curva esfuerzo-deformación ensayo de flexión

A pesar de que ensayo de tensión se realizó exitosamente, es importante mencionar que durante el proceso de recolección de datos se presentó un problema con el material, el cual fue su fragilidad, por lo que al colocarlo en las mordazas de la maquina universal de ensayos algunos especímenes se rompieron. Por lo anterior y a pesar de que se lograron obtener resultados para el ensayo de tensión, se hizo uso del ensayo de flexión para evaluar los materiales con 5,0 y 7,5 (%v/v) de fique y poder corroborar lo obtenido en los ensayos de tensión.

El ensayo de flexión consiste en la aplicación de un carga en tres puntos causando flexión, se tiene entonces la acción de una fuerza que provoca la tensión sobre la superficie del material, obteniéndose valores de máximo esfuerzo y deformación (Askeland, 1998). Como era de esperarse, en la figura 22 se puede observar que el aumento en la cantidad de fique disminuye el porcentaje de deformación del material, generando una mayor capacidad de resistir la carga aplicada, resultados que coinciden con los obtenidos en el ensayo de tensión, donde la máxima resistencia la brinda el material con 7,5% de fique, confiriéndole la fibra al material polimérico una mayor rigidez (Hidalgo *et al*, 2012). Por lo anterior, se puede entonces concluir que el uso del material se podría realizar en la industria de los empaques, ya que los valores coinciden con los obtenidos en el ensayo de tensión.

Al material más resistente se le realizó un ensayo de impacto. Esta prueba es importante porque permite conocer la capacidad del material para absorber energía y por consiguiente para hacer oposición a la fractura, propiedades que serían importantes si el material con 7,5% de fique fuera empleado en la industria de los empaques, puesto que debe proteger el producto contenido.

La tabla 14, muestra los resultados de resistencia al impacto para el material polimérico con 7,5% de fique, al comparar estos valores con el polipropileno, uno de los materiales más utilizados en la industria de los empaques, se puede concluir que el material compuesto podría ser una alternativa para remplazarlo ya que, el polipropileno presenta una resistencia al impacto próxima a 4,5 KJ/m² mientras que la del material obtenido está en un rango de 5,4 a 6,0 KJ/ m² (Lisperguer *et al*, 2013).

Tabla 14. Resultados ensayos de impacto del material polimérico con 7,5% de fique

Número de ensayo	Resistencia al impacto (KJ/m ²)
1	5,3945
2	5,4694
3	5,6293
4	5,8981
5	6,0470
Promedio (\bar{x})	5,6877
Desviación estándar (σ)	0,2492

Finalmente se realizó un ensayo de absorción de agua para los materiales ya que este brinda información de las limitaciones de la aplicación del material compuesto, ya que la capacidad de absorber agua de los materiales con fibra de fique podría afectar sus propiedades mecánicas y su desempeño en condiciones ambientales con altas humedades (Hidalgo *et al*, 2012).

La figura 23 muestra el incremento en porcentaje peso a peso de los diferentes materiales, siendo estos valores de la capacidad que tiene el material de absorber agua, donde el material patrón (0% fique) presenta un incremento de 0.02% p/p, por lo que se puede considerar que el material es de carácter hidrófobo, ya que no presentó absorción de agua. Si se compara el patrón con los materiales con 2,5, 5,0 y 7,5% (v/v) de fique, se muestra un incremento de peso proporcional al aumento de la fibra en la matriz, fenómeno que se explica por el carácter hidrófilo del fique (Hidalgo *et al*, 2012), el cual tiene la capacidad de absorber hasta ganar un 60% en peso (Muñoz Velez *et al*, 2014).

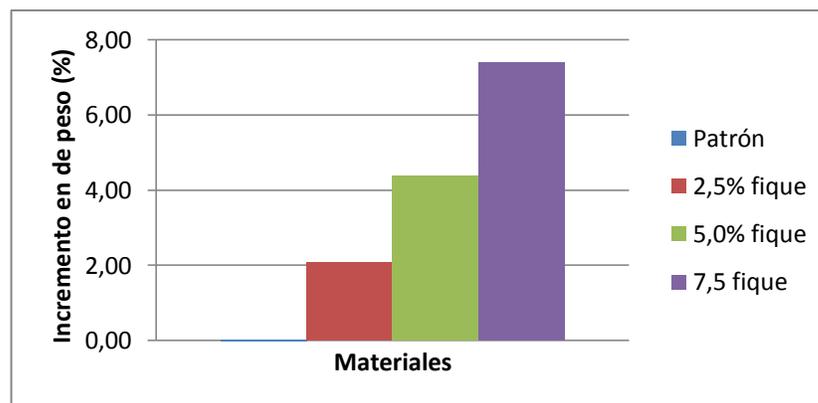


Figura 23. *Ensayo de absorción de agua para los materiales poliméricos*

Con base en esta característica, sería de esperar que la absorción de agua fuera mayor, sin embargo es importante recordar que el material polimérico es bastante hidrofobo y presentó una absorción de agua próxima a 0%. Por tal motivo, la ganancia en peso de agua se atribuye a la disposición de las fibras en la matriz, ya que al realizarse la mezcla de manera aleatoria puede suceder que algunas fibras tomen disposiciones diferentes quedando desprovistas del recubrimiento polimérico.

Finalmente es importante realizar una integración de los resultados obtenidos al evaluar las propiedades mecánicas de los materiales, ya que los diferentes ensayos permiten tener una visión de las posibles utilidades del material compuesto en estudio, como se dijo anteriormente los resultados apuntan a que el material obtenido podría ser empleado como un material de empaque, ya que presenta valores similares a los de materiales comúnmente empleados para este fin.

3. CONCLUSIONES

- Se obtuvieron materiales poliméricos compuestos utilizando como materia prima el aceite de chontaduro, siendo la incorporación de las fibras de fique exitosa para porcentajes menores al 10% v/v.
- Se determinó que la incorporación aleatoria de fibras de fique con longitud de 30mm a la matriz polimérica derivada de aceite de chontaduro en un 7,5% v/v, generó el material compuesto con mayor resistencia a la tensión y flexión.
- Se comprobó estadísticamente que la incorporación de fibras de fique genera un cambio significativo en las propiedades mecánicas de la matriz, en cuanto a parámetros como: resistencia a la tensión, resistencia a la flexión y resistencia al impacto, encontrándose que factores como el pretratamiento, la longitud, el diámetro y la orientación de la fibra afectan considerablemente estas propiedades.
- La incorporación de fibras naturales al material polimérico genera cambios en su capacidad de absorber agua, fenómeno que puede afectar su uso en ambientes con altas humedades.
- Se logró determinar que el material compuesto con 7,5% v/v de fique podría ser empleado como material de empaque.
- Se concluye que el fique sirve como material de refuerzo para la matriz polimérica derivada de aceite de chontaduro, y plantea la posibilidad de tener un material que sea útil en la industria de los empaques, el cual remplace materias primas como el petróleo y aproveche los residuos de desechos que generan las industrias colombianas.

6. RECOMENDACIONES

Es importante anotar que en general no se encuentra variedad de usos para el material, por lo que se deben de considerar los factores que afectan la resistencia a tensión del material ya que estos afectan los ensayos de impacto y flexión. Por tal motivo se exponen a continuación modificaciones que se podrían realizar en el proceso de incorporación de las fibras y su pretratamiento para así generar un incremento en las propiedades mecánicas del material polimérico derivado de aceite de chontaduro las cuales son:

1. El pretratamiento de las fibras del fique no consista solo en una alcalinización con NaOH, el cual brinda un aumento en la resistencia del 11%, sino que después de este proceso se realice un tratamiento con un agente de acoplamiento como es el silano, procedimiento que permite tener un aumento de aproximadamente el 30% en la resistencia (Franco & González, 2005).
2. Hacer uso de fibras continuas de fique, para tener menor cantidad de extremos que disminuyan la capacidad de soporte de carga de la misma (Askeland, 1998).
3. Realizar la incorporación de fibras continuas y alineadas en diferentes ángulos, para lograr tener una mejor incorporación de las fibras en la matriz, lográndose aumentar el volumen del fique en la matriz polimérica y teniendo un material isotrópico.

Además se recomienda llevar a cabo un ensayo de biodegradabilidad del material, con el fin de evaluar que tan factible es utilizar este material versus materiales derivados del petróleo.

7. REFERENCIAS

- Ahmad, F., Choi, H. S., & Park, M. K. (2015). A Review: Natural Fiber Composites Selection in View of Mechanical, Light Weight, and Economic Properties. *Macromolecular Materials and Engineering*, 10-24.
- Askeland, D. R. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los materiales* (3 ed.). Mexico: International Thomson Editores.
- Bernau, R. L. (1958). *Elementos de metalografía y de acero al carbono*. Santiago de Chile: Andres Bellos.
- Bilurbina, L., & Liesa, F. (1990). *Materiales no metálicos resistentes a la corrosión*. España: Marcombo.
- Biron, M. (2014). *Thermosets and Composites* (Vol. 2da). Estados Unidos de America: Elsevier.
- Boquillon, N. (2006). Use of an Epoxidized Oil-Based Resin as Matrix in Vegetable Fibers-Reinforced Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 101, 4037-4043.
- Braun, D., Cherdrón, H., Rehahn, M., Ritter, H., & Voit, B. (2013). *Polymer Synthesis: Theory and Practice*. Springer.
- Bravo, E. (2005). Impacto de la explotación petrolera en América Latina. *Biodiversidad* 43, 1-9.
- Bruice, P. Y. (2008). *Química Orgánica* (Quinta ed.). Pearson.
- Cowie, J., & Arrighi, V. (2008). *Polymers: Chemistry and Physics of Modern Materials* (3 ed.). Boca Raton, Florida, USA: Taylor & Francis Group.
- Delvasto Arjona, S., Perdomo, F., & Mejía de Gutiérrez, R. (2001). Ecolaminados de PEAD-Fibras de Fique. *Ciencia y Tecnología*, 3(1), 43-49.
- Echavarría, A. (2008). Residuos de fique y caña, útiles en producción de plásticos. *UN Periódico*(118, ISSN 1657-0987), pág. 10.
- Escalante Hernández, H., Orduz Prada, J., Zapata Lesmes, H. J., Cardona Ruiz, M. C., & Duarte Ortega, M. (2010). *Atlas del potencial energético de la Biomasa residual en Colombia*. Colombia: Ministerio de minas y energía, Republica de Colombia.

- Escobar Acevedo, C. J., Zuluaga Peláez, J. J., & Martínez Hurtado, A. (1996). *El cultivo del chontaduro (Bactris gasipaes H.B.K)*. Florencia, Caqueta: CORPOICA.
- Escobar Acevedo, C., Zuluaga Peláez, J., Rojas Molina, J., Yasno Cabrera, C., & Cardenas Guzman, C. (1998). *El cultivo de Chontaduro (Bactris gasipaes H.B.K) para fruto y palmito*. Florencia: CORPOICA regional 10.
- Fernández, S. F., Sánchez, J. M., & Largo, A. C. (2002). *Estadística Descriptiva*. Madrid: ESIC.
- Ferrer, C. B. (2012). Bio-compuestos termoplásticos basados en aceites vegetales. Estudio de su aplicabilidad al envase de alimentos. Alicante, España.
- Franco, P. H., & González, A. V. (2005). A study of the mechanical properties of short natural-fiber reinforced composites. *Composites: Part B*, 597-608.
- Frogley, M. D., Ravich, D., & Wagner, H. D. (2003). Mechanical properties of carbon nanoparticle-reinforced elastomers. *Composites Science and Technology*, 1647-1654.
- Gañan, P., & Mondragon, I. (2004). Fique fiber-reinforced polyester composites: Effects of fiber surface treatments on mechanical behavior. *Journal of Materials Science*, 39, 3121-3128.
- Gómez, M. A., Alzate, C. C., Márquez, A., Restrepo, J. W., & Jaramillo, F. (2009). Efecto de la temperatura sobre la resistencia a la tracción de algunos refuerzos de fibras para matrices cerámicas o poliméricas. *Revista EIA*(11), 65-75.
- Hetal Shah, B., & Shit, S. a. (2013). Influence of Banana Fibre Chemical Modification on the Mechanical and Morphological Properties of Woven Banana Fabric/Unsaturated Polyester Resin Composites. *Polymers from Renewable Resources*, 4(2), 61-84.
- Hidalgo, M. A., Muñoz, M. F., & Quintana, K. J. (2011). Desempeño mecánico del compuesto Polietileno Aluminio reforzado con agro fibras continuas de fique. *Rev. LatinAm. Metal. Mat.*, 31(2), 187-194.
- Hidalgo, M., Muñoz, M., & Quintana, K. (2012). Análisis mecánico del compuesto polietileno aluminio reforzado con fibras cortas de fique en disposición bidimensional. *Rev. LatinAm. Metal. Mat.*, 32(1), 89-95.
- ICONTEC. (1999). *Norma tecnica colombiana NTC 3201 (primera actualización)*. Bogota D.C.: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

- Idrus, M. M., Hamdan, S., Islam, M. S., Roslee, A. A., & Sobuz, H. R. (2013). The Effects of Binder on the Physical and Mechanical Properties of Chemically Treated Sawdust-Reinforced Polypropylene Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 1534-1540.
- Ionescu, M., Radojic, D., Wan, X., Petrovic, Z. S., & Upshaw, T. A. (2015). Functionalized vegetable oils as precursors for polymers by thiol-ene reaction. *European Polymer Journal*, 1-10.
- Kanie, T., Fuji, K., Arikawa, H., & Inoue, K. (2000). Flexural properties of acrylic resin polymers reinforced with unidirectional and woven glass fibers. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 81(3), 318-326.
- Lisperguer, J., Bustos, X., Saravia, Y., Escobar, C., & Venegas, H. (2013). Efecto de las características de harina de madera en las propiedades físico-mecánicas y térmicas de polipropileno reciclado. *Maderas, Ciencia y tecnología*, 321-336.
- Lligadas, G., Ronda, J. C., Galiá, M., & Cádiz, V. (2013). Renewable polymeric materials from vegetable oils: a perspective. Elsevier.
- López, O. V., Castillo, L. A., García, M. A., Villar, M. A., & Barbosa, S. E. (2015). Food packaging bags based on thermoplastic corn starch reinforced whit talc nanoparticles. *Food Hydrocolloids*, 18-24.
- Marqués, M. P. (2010). *Metodología seis sigma a través de Excel*. Madrid: RC Libros.
- Meneses, J., Corrales, C. M., & Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Revista EIA(8)*, 57-67, ISSN 1794-1237.
- Miao, S., Wang, P., Su, Z., & Zhang, S. (2013). Vegetable-oil-based polymers as future polymeric biomaterials. *Acta Biomaterialia*, 1692-1704.
- Mina, J. H. (2012). Caracterización físico-mecánica de un almidón termoplástico (tps) de yuca y análisis interfacial con fibras de fique. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10, 99-109.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2012). *Anuario estadístico de frutas y hortalizas 2007-2011 y sus calendarios de siembra y cosechas: resultados evaluaciones agropecuarias municipales 2011*. Recuperado el 26 de Abril de 2015, de <http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/Anuario/ANUARIO%20ESTA%20DISTICO%20DE%20FRUTAS%20Y%20HORTALIZAS%202011.pdf>

- Mirna A. Mosiewicki, M., & Aranguren, M. (2013). A short review on novel biocomposites based on plant oil precursors. *European Polymer Journal*, 49, 1243-1256.
- Montana State University. (2015). *Integrating Research and Education*. Recuperado el 12 de Diciembre de 15, de http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/SEM.html
- Moreno, P., Rodrigue, D., Giroux, Y., & Gacitúa, W. (2013). Caracterización mecánica y morfológica de termoplásticos reciclados espumados reforzados con sub productos de madera. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 15(1), 3-16.
- Muñoz Velez, M. F., Salazar, M. A., & Hernandez, J. H. (2014). Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. influencia de la modificación superficial. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 60-70.
- Navia, D. P., Villada, H. S., & Ayala, A. A. (2013). Evaluación mecánica de bioplásticos semirrigidos elaborados con harina de yuca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 77-84.
- Nicolau, A., Samios, D., Piatnick, C. M., Reiznautt, Q. B., Martini, D. D., & Chagas, A. L. (2012). On the polymerisation of the epoxidised biodiesel: The importance of the epoxy rings position, the process and the products. *European Polymer Journal*(48), 1266-1278.
- Pelleg, J. (2013). *Mechanical Properties of Materials* (Vol. 190). London: Springer.
- Prado Bettini, S. H., & Toledo Ulian, A. (2008). Effect of Process Parameters and Composition on Mechanical, Thermal, and Morphological Properties of Polypropylene/Sawdust Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 108, 2233-2241.
- Reboredo, M., Aranguren, M., Demma, G., & Kenny, J. (1994). Aserrín como refuerzo de matrices poliméricas. *Información Tecnológica*, 5(5), 33-36.
- Reiznautt, Q., Garcia, I., & Samios, D. (2009). Oligoesters and polyesters produced by the curing of sunflower oil epoxidized biodiesel with cis-cyclohexane dicarboxylic anhydride: Synthesis and characterization. *Materials Science and Engineering: C*, 29(17), 2302-2311.
- Restrepo O., J., Inasco I., L., & Estupiñán R., J. (2012). Estudio comparativo del contenido de ácidos grasos en variedades de chontaduro (*Bactris gasipaes*)

de la región del pacífico colombiano. *Facultad de ciencias Naturales y Exactas. Univerisdad del Valle, Revista de Ciencias*, 16, 123-129.

- Restrepo, J., & Estupiñan, J. (2007). Potencial del chontaduro (*Bactris gasipaes* H.K.B) como fuente alimenticia de alto valor nutricional en Países tropicales. *Universidad del Valle. Departamento de Química, Revista de Ciencias*, 1-8.
- Rodríguez, F. (2008). *Lecturas de Ingenieria 5 Materiales y sus propiedades*. Cuautital Izcalli: Facultad de estudios superiores Cuautitlan.
- Stermitz, W. (1988). *Química Orgánica*. España: Reverté, S.A.
- Stuart, B. (2005). Infrared Spectroscopy. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 14, 1.
- Suriñach, S., Baro, M. D., Bordas, S., Clavaguera, N., & Clavaguera Mora, M. T. (1992). La calorimetría diferencial de barrido y su aplicación a la Ciencia de Materiales. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 11-17.
- Tamayo Orbegozo, U., Vicente Molina, M. A., & Izaguirre Olaizola, J. (2012). La gestión de residuos en la empresa: motivaciones para su implantación y mejoras asociadas. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, 18, 218.
- Tecnología del Plástico*. (2013). Recuperado el 21 de Marzo de 2016, de <http://www.plastico.com/temas/Bioplasticos,-una-alternativa-con-futuro+94668?pagina=1>
- Valencia Flórez, J. S. (2014). Obtención y caracterización de materiales poliméricos a partir de aceite de chontaduro(*Bactris gasipaes*). *Trabajo de grado para optar al título de pregrado en Química Farmacéutica. Universidad Icesi. Facultad de Ciencias Naturales. Programa de Química Farmacéutica*, 30-32. Santiago de Cali, Valle.
- Vidal, M., Ostra, M., Imaz, N., García-Lecina, E., & Ubide, C. (2015). Analysis of SEM digital images to quantify crack network pattern area in chromium electrodeposits. *Surface and Coatings Technology*, 289.
- Wambua, P., Ivens, J., & verpoest, I. (2003). Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics? *Composites Science and Technology*, 63, 1259-1264.

8. IMPACTO AMBIENTAL

Este proyecto incluyó la utilización de diversos reactivos químicos, los cuales generaron desechos que podrían afectar el medio ambiente. Estos residuos siguieron la ruta específica de disposición de residuos de la Universidad Icesi, que se encargó de los procesos de recolección, almacenamiento y transporte, tratamiento y disposición final.

Adicionalmente los procesos de epoxidación del aceite, polimerización del epóxido y pre-tratamiento de las fibras naturales se realizaron en la cabina de extracción, la cual capta los vapores generados por los reactivos evitándose su diseminación y contaminación al medio ambiente.

Por otro lado, se hizo un uso óptimo de los solventes al recuperarlos y re-utilizarlos siempre que fue posible, práctica que contribuyó a disminuir el impacto ambiental y consecuentemente disminuyó los costos debido al uso de menor cantidad de reactivos.

9. ANEXOS

9.1. Método de prueba estándar para propiedades de tracción de plástico (ASTM D638)

Alcance: Este método de ensayo cubre la determinación de las propiedades de tracción de plásticos no reforzados y reforzados para muestras con forma de pesa cuando se prueba bajo condiciones definidas de tratamiento previo, temperatura, humedad, y velocidad de la máquina de pruebas. Además el ensayo puede ser aplicado a materiales de cualquier espesor de hasta 14 mm.

Aparato: Máquina de prueba: es una máquina de ensayos que mide la tasa constante de velocidad de la cruceta y está constituida por:

- Miembro fijo: elemento fijo o estacionario que lleva a cabo el apisonamiento.
- Miembro móvil: elemento móvil que lleva un segundo agarre.
- Empuñaduras: pueden encontrarse fijas a los miembros móviles y fijos, o pueden ser "self-aligning", son empleados para empuñar la muestra.
- Mecanismo de manejo: Un mecanismo de accionamiento controlado para impartir al elemento móvil una velocidad uniforme, respecto al miembro estacionario o fijo.
- Indicador de carga: mecanismo adecuado de carga que es capaz de mostrar la carga total de la tracción aplicada a la muestra.
- Indicador de Extensión de la cruceta
- Indicador de Extensión (extensómetro)
- Micrómetro: Aparato para medir el ancho y el espesor de la muestra de ensayo

Muestras: Compuestos reforzados y no reforzados: se debe ajustar al Modelo Tipo I (figura 20)

Dimensiones	Medida (mm)
W-Ancho de sección estrecha	13
L- Largo de sección estrecha	57
WO- Ancho total	19
LO- Longitud total	165
G- "Gage length"	50
D-distancia entre las mordazas	115
R-radio del "Fillet"	76

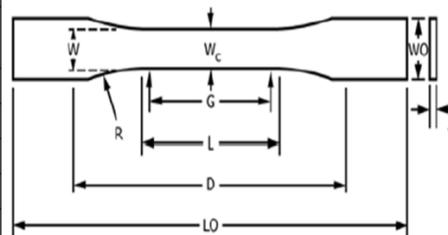


Figura 24. Medidas del espécimen Tipo I para el ensayo de tensión.

Velocidad del ensayo: para especímenes Tipo I, la velocidad del ensayo es $50 \pm 10\%$ mm/min.

Condiciones del ensayo 40/23/50: mínimo 40 horas a 23°C y 50% de humedad relativa.

9.2. Métodos de prueba estándar para las propiedades de flexión de plásticos reforzados y no reforzados y materiales aislantes eléctricos (ASTM D790).

Alcance: este método de ensayo cubre la determinación de las propiedades de flexión de plásticos con o sin refuerzo, incluyendo materiales compuestos de alto módulo y materiales aislantes eléctricos en forma de barras rectangulares moldeados directamente o cortados en placas o formas moldeadas. Generalmente estos métodos de ensayo son aplicables a ambos materiales rígidos y semirrígidos. Sin embargo, la resistencia a la flexión no puede ser determinada a materiales que no se rompan dentro del límite de tensión del 5,0%.

Aparato

Máquina de prueba: la máquina de ensayo debidamente calibrada puede ser operada a tasas constantes de movimiento de la cruceta durante el intervalo indicado, donde el error en el sistema de medición de carga no exceda el 61% de la carga máxima que se espera medir.

Muestras

Termoestables: el tamaño de la muestra recomendado es de 127mm x 12,7mm x 3,2 mm A prueba de plano en un lapso de soporte, resultando en una relación de apoyo-palmo-a profundidad de 16 (tolerancia 61). Muestras más gruesos deben ser evitados si presentan signos de contracción significativos o burbujas cuando se moldea.

Condiciones del ensayo 40/23/50: mínimo 40 horas a 23°C y 50% de humedad relativa.

9.3. Métodos de prueba estándar para la determinación de la resistencia a impacto de Plásticos por medio del ensayo Izod (ASTM D256).

Alcance: Estos métodos de ensayo cubre la determinación de la resistencia de los plásticos para martillos de péndulo estandarizados, montados en máquinas

estandarizadas de manera que se rompan las muestras gracias a la oscilación del péndulo.

Aparato

Máquina de prueba: La máquina debe ser provista con los aditamentos adecuados según la prueba que se realice: prueba tipo Charpy o prueba tipo Izod, en donde la máquina debe estar provista de un martillo de golpeo, y soportes para las probetas.

Condiciones del ensayo 40/23/50: mínimo 40 horas a 23°C y 50% de humedad relativa.

9.4. Métodos de prueba estándar para la absorción de agua de plásticos (ASTM D570).

Alcance: Este método de ensayo cubre la determinación de la tasa relativa de absorción de agua por plásticos cuando son sumergidos. Este método de ensayo está destinado a aplicarse a las pruebas de todos los tipos de plásticos, incluidos los de fundición, productos resinosos moldeados en caliente y frío, y los plásticos tanto homogéneos y laminados en forma de varilla, tubo y en hojas de 0,13 mm o de mayor en espesor.

Aparato

Balanza analítica: con capacidad de lectura de 0.0001g

Horno: debe ser capaz de mantener una temperatura uniforme de 50±3°C y de 105°C a 110°C.

Muestras: la muestra debe de tener forma de disco con un diámetro de 50,8 mm y 3,2 mm de espesor.

Condiciones del ensayo 24/23/50: mínimo 24 horas a 23°C y 50% de humedad relativa.

Tres muestras deben ser dispuestas de la siguiente manera:

- Las muestras de los materiales cuyo valor de absorción de agua se afecta por las temperaturas entre 110°C, se secan en un horno durante 24 horas a 50±3°C, seguidamente se enfrían en un desecador y se pesan inmediatamente en la balanza analítica.
- Las muestras de materiales, tales como plásticos laminados fenólico y otros productos cuyo valor de absorción de agua se ha demostrado no ser

apreciablemente afectados por temperaturas de hasta 110 C, se secan en un horno durante 1 hora de 105°C a 110°C.

- Cuando se desean datos para la comparación con valores de absorción para otros plásticos, las muestras se secan en un horno durante 24 horas a 50±3C, se enfrían en un desecador y se pesan inmediatamente en la balanza analítica.

9.5. Reacción de polimerización

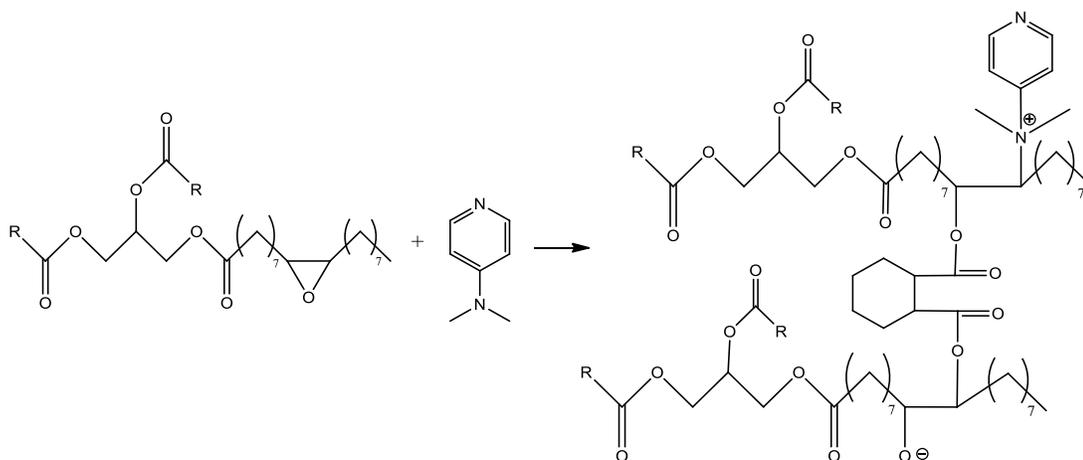


Figura 25. Reacción general de polimerización

9.6. Análisis de Varianzas (ANOVA) para el ensayo de tracción

ANOVA unidireccional: Tensión vs. Fique

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna Por lo menos una media es diferente

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Fique	4	0.0, 2.5, 5.0, 7.5

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Fique	3	0.13114	0.043715	30.37	0.000
Error	16	0.02303	0.001439		
Total	19	0.15418			

Resumen del modelo

	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
	0.0379404	85.06%	82.26%	76.66%

Medias

Fique	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0.0	5	0.10806	0.01044	(0.07209, 0.14403)
2.5	5	0.14842	0.01010	(0.11245, 0.18439)
5.0	5	0.2035	0.0262	(0.1676, 0.2395)
7.5	5	0.3232	0.0697	(0.2872, 0.3591)

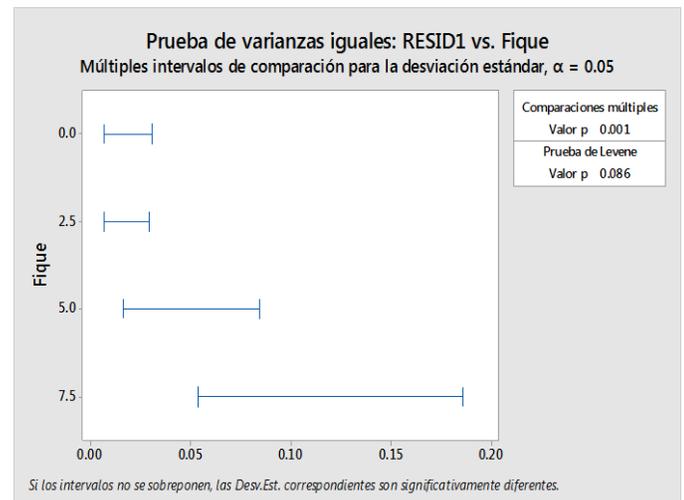
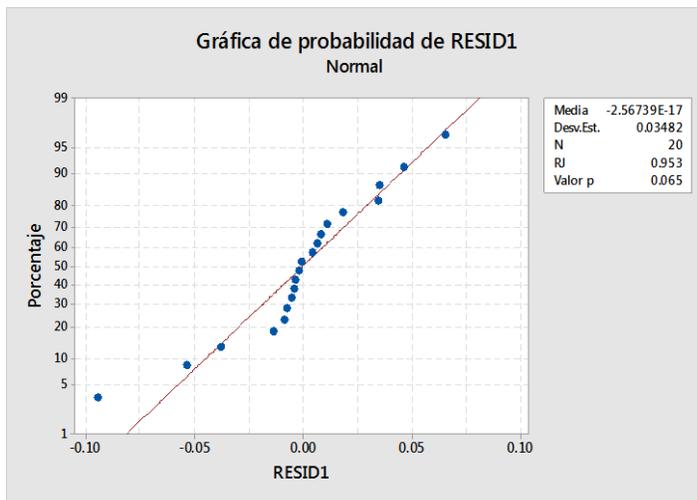
Desv.Est. agrupada = 0.0379404

Comparaciones en parejas de Fisher

Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Fique	N	Media	Agrupación
7.5	5	0.3232	A
5.0	5	0.2035	B
2.5	5	0.14842	C
0.0	5	0.10806	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



9.7. Prueba F para varianzas de dos muestras

Los resultados obtenidos para el ensayo de flexión (Tabla 13) se evaluaron por medio de una prueba F para varianzas de dos muestras (Tabla 15), planteándose con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ las siguientes hipótesis:

H_0 =Las varianzas son iguales

H_1 = las varianzas son diferentes

Obteniéndose un valor P de 0,081, por lo que se acepta la hipótesis nula ya que el valor $p \geq \alpha$ y se puede decir que las varianzas son iguales con un 95% de confianza. Posteriormente, se realizó una prueba t para dos muestras (Tabla 15) en donde se plantearon las siguientes hipótesis:

H_0 =Las medias son iguales

H_1 = Las medias son diferentes

Siendo el valor P de 0,002, por lo que se rechaza la hipótesis nula ya que el valor $p \leq \alpha$, pudiéndose decir que las medias son diferentes y el material con 7,5% de fique presentó valores mayores de flexión comparado con el material con 5,0% de fique.

Tabla 15. Resultados obtenidos para la prueba F y t para varianzas de dos muestras

Prueba F para varianzas de dos muestras			Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	C	D		C	D
Media	0,34606	0,53122	Media	0,34606	0,53122
Varianza	0,00143784	0,00680664	Varianza	0,00143784	0,00680664
Observaciones	5	5	Observaciones	5	5
Grados de libertad	4	4	Varianza agrupada	0,00412224	
F	0,21124117		Diferencia hipotética de las medias	0	
P(F<=f) una cola	0,08063771		Grados de libertad	8	
Valor crítico para F (una cola)	0,15653781		Estadístico t	-4,55984844	
			P(T<=t) una cola	0,00092514	
			Valor crítico de t (una cola)	1,85954804	
			P(T<=t) dos colas	0,00185028	
			Valor crítico de t (dos colas)	2,30600414	