

Propuesta de un bio-polímero reforzado con fibras de cáñamo

Tomás Santiago Quineme Velosa

Facultad de ingeniería, Universidad Ean.

Proyecto de Grado

Lina María Rivera Chacón

21 de febrero de 2023

Bogotá D.C.

Tabla de contenido

Resumen	5
Introducción	7
Objetivo General	10
Objetivos Específicos	10
Definición Del Problema.....	11
Justificación.....	13
Análisis De Requerimientos	15
Intención Del Producto	15
Los Polímeros	16
<i>Los Polímeros Sintéticos</i>	16
Fibras Naturales	18
<i>Algodón</i>	18
<i>Lino</i>	18
<i>Yute</i>	19
<i>Cáñamo</i>	19
Biopolimero	19
Material Compuesto.....	19
Parámetros De Diseño.	20
<i>Características Del Producto</i>	21
Marco De Referencia	24
Análisis De Restricciones.....	26
Aspectos Económicos	26
<i>Aspectos Legales</i>	27
<i>Aspectos Socioculturales</i>	28
<i>Aspectos Ambientales</i>	29
Metodología	30

	3
Revisión Literaria	30
<i>Cadena Productiva De La Planta De Cannabis</i>	33
<i>Cadena Productiva De La Fibra De Cáñamo</i>	39
Diseño Experimental.....	40
<i>Preparación Del Material Compuesto</i>	41
Aplicaciones Potenciales	46
Análisis De Costos	48
Análisis De Resultados.....	51
Conclusión.....	53
REFERENCIAS	54

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Estructura de los polimeros termoplásticos.	17
Ilustración 2 Estructura de s termoplásticos amorfa y cristalina.	17
Ilustración 3 Diagrama de operaciones y procesos,.....	33

Índice de tablas

Tabla 1 Características mecánicas de los polimeros.	21
Tabla 2 Características de fibras naturales.	22
Tabla 3 Características mecánicas de las fibras naturales	22
Tabla 4 Parametrización de características de fibras naturales.	31
Tabla 5 Condiciones del suelo.	35
Tabla 6 Caracterización de semillas.....	36
Tabla 7 Parametros de secado	39
Tabla 8 Extracción de fibra de cañamo.	42

Tabla 9 proporción de refuerzo de cañamo,.....	43
Tabla 10 Máquinas de moldeo,	44
Tabla 11 Características del cultivo.	47
Tabla 12 Presupuesto.....	48

Resumen

Un polímero es una molécula grande configurada por unidades ordenadas denominadas monómeros: Se encuentran acopladas entre sí por medios de enlaces químicos, formando cadenas o redes. Disponen de una desarrollada gama de aplicaciones en el sector industrial, en áreas como: Embalaje, construcción, electrónica y medicina. Debido, a que se encuentran en diversidad de materiales naturales y sintéticos, incluidos plásticos, caucho y proteínas. Además, se eligen por su durabilidad; resistencia al calor y a productos químicos. Por otra parte, los polímeros a base de cáñamo son un tipo de biopolímero que se fabrica a partir de plantas de marihuana, estos biopolímeros han citado curiosidad en los últimos años debido a su relación intrínseca con el medio ambiente y su potencial para la fabricación sostenible.

Por esta razón, el objetivo es potenciar la implementación de la percepción de los posibles consumidores sobre la fibra del cáñamo, como alternativa de materia prima sostenible y sustentable para la elaboración de biopolímeros. Además, la investigación desglosa el cáñamo: Para conocer su potencial en la industria de materias primas renovables, en relación con el análisis de viabilidad de su uso en los procesos de producción de polímeros.

Palabras clave: Plástico, fibras naturales, polución.

Abstract

A polymer is a large molecule made up of ordered units called monomers: They are linked together by means of chemical bonds, forming chains or networks. They have a developed range of applications in the industrial sector, in areas such as: Packaging, construction, electronics and medicine. Because they are found in a variety of natural and synthetic materials, including plastics, rubber, and proteins. Also, they are chosen for their durability; resistance to heat and chemicals. On the other hand, hemp-based polymers are a type of biopolymer that is manufactured from marijuana plants, these biopolymers have cited curiosity in recent years due to their intrinsic relationship with the environment and their potential for sustainable manufacturing.

For this reason, the objective is to promote the implementation of the perception of potential consumers about hemp fiber, as an alternative sustainable raw material for the production of biopolymers. In addition, the research breaks down hemp: To know its potential in the renewable raw materials industry, in relation to the feasibility analysis of its use in polymer production processes.

Keywords: Plastic, natural fibers, pollution.

Introducción

La contaminación por residuos plásticos es un problema ambiental que personifica una amenaza para la vida marina, la salud humana y la salud general de nuestro planeta, se ha amplificado en los últimos años: la insostenibilidad de la vida. A lo largo de la historia, el uso del material plástico ha sido el mayor contaminante del mundo desde que se comercializó en Estados Unidos en las décadas de 1920-1930, el cual ha ido incrementando exponencialmente, debido a sus características físicas y rendimiento en diversos sectores. Según Pietro (2022):

Algunos investigadores mencionan que desde entonces se han producido entre 7800 y 8300 millones de toneladas de este material y que el 50% ha sido usado entre los años 2004 y 2017. Cerca del 9 % de esta cantidad ha sido reciclado, el 12 % incinerado y el 79 % depositado en basureros o desechado al medio ambiente. (p. 23)

La contaminación por residuos plásticos es una dificultad para todos los países del mundo. Se estima que hasta 12 millones de toneladas métricas de restos plásticos se integran a los océanos cada año, y el problema solo empeora. Se puede encontrar en múltiples parajes: En los lugares más profundos del océano hasta los picos más altos de las montañas, es decir los desechos plásticos son omnipresentes en nuestra actualidad. Agregando, que pueden tardar cientos de años en descomponerse, lo que significa que se acumulan con el tiempo, conllevando a problemas ambientales como el Gran Parche de Basura del Pacífico.

Los plásticos de un solo uso son una fuente importante de contaminación plástica como: bolsas, botellas y objetos de mascotas, están diseñados para usarse solo una vez y luego desecharse. Son desechos que paulatinamente se transformaron en elementos cotidianos, puesto que se conciben en diversos lugares de nuestro ambiente. Olvidando los atroces daños que ocasionan a las diversas especies de nuestro planeta. Siendo sus residuos desapercibidos,

permaneciendo durante varios años sin descomponerse, por esta razón muchos países están tomando medidas para prohibir o reducir su uso.

Por otra parte, los micro plásticos son una gran preocupación: son pequeñas piezas de plástico de menos de 5 mm de tamaño, se encuentran en vías fluviales, océanos e incluso en el aire que respiramos. Se ha descubierto que los micro plásticos se acumulan en los cuerpos de los animales marinos y pueden ingresar a la cadena alimentaria, en última instancia, afectar la salud humana. Según Visa (2022):

La presencia de MPs (Micro plásticos) y NPs (Nano plásticos) en el medio ambiente y en productos de consumo inevitablemente da como resultado la exposición humana a estas partículas a través de tres vías principales: inhalación, ingestión y absorción a través de la piel. Una vez en el interior del organismo, en especial los NPs por su pequeño tamaño, pueden llegar y penetrar en órganos como el cerebro y la placenta, y alterar su funcionamiento. (P.98-99)

Por lo tanto, la búsqueda de alternativas de materias primas que disminuyan el uso de plástico reduciría significativamente los impactos que se ocasionan por las malas prácticas de la disposición final. Si bien existen soluciones para la contaminación plástica, como el reciclaje, la reducción del uso de plásticos y la implementación de políticas para reducir los desechos, se necesitan más acciones por parte de los gobiernos, las empresas y las personas para abordar este problema ambiental urgente.

El uso de la fibra naturales se remonta a civilizaciones antiguas en Asia, donde se usaba para textiles, papel y cuerdas, han estado presentes desde miles de años en la historia de la humanidad. Además, contaban con el papel de materias primas a nivel industrial antes de la

implementación de hidrocarburos, entre las múltiples plantas aprovechadas como refuerzo encontramos el cáñamo.

El cáñamo, como coloquialmente se conoce: marihuana. Se cultivaba para obtener fibra desde el año 2800 a.c; la tela de cáñamo se usaba para hacer ropa, zapatos e incluso chalecos antibalas. Los chinos también usaron papel de cáñamo para escribir y hacer obras de arte. Además, se usó ampliamente en el antiguo Egipto, donde se empleaba para fabricar ropa, cuerdas y velas para barcos. Los egipcios también usaban el cáñamo en medicina, ya que se creía que tenía propiedades curativas. Por otra parte, en Europa, el cáñamo se utilizó como cultivo principal durante la Edad Media, particularmente en la producción de textiles. Durante este tiempo, el cáñamo también se utilizó para hacer papel y cuerdas para barcos.

No debe de categorizarse como un problema, puesto que consigue suplantar y fortalece algunos plásticos. Por ejemplo, los polietilenos de alta densidad presentes en múltiples elementos como: las bolsas de supermercado, que pueden ser remplazadas con bioplásticos a base de cáñamo, ofreciendo una alternativa amigable con el ambiente en relación con alta calidad. Además, en el ámbito económico puede considerarse comercialmente como un factor industrial destacable y cumple el menester de consumidores ecológicos o modernos.

Sin embargo, en el siglo XX, el cáñamo fue prohibido en gran medida debido a su asociación con la marihuana. No fue hasta hace poco que se volvió a legalizar el cultivo de cáñamo en muchos países.

Hoy en día, la fibra de cáñamo se usa en una amplia gama de productos, que incluyen ropa, papel, materiales de construcción e incluso algunas piezas de automóviles. El cáñamo es apreciado por su durabilidad y resistencia, así como por sus propiedades sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

Objetivo General

Identificar el potencial de la fibra de cáñamo como alternativa de materia prima para la fabricación de polímeros, enfocados a la producción de accesorios desde la percepción de posibles consumidores y reducción de residuos no biodegradables.

Objetivos específicos

- Especificar los beneficios obtenidos por el uso de la fibra de cáñamo como materia prima para la producción de accesorio a base de biopolímeros a través de la revisión de literaria.
- Analizar los datos obtenidos a partir de las pruebas de un diseño experimental de biopolímero con refuerzo de cáñamo: Determinando el manejo de compuestos y viabilidad de costos.
- Detallar la percepción del consumidor en el trascurso de manufactura y comercialización de materiales sostenibles a base de cáñamo en el contexto colombiano.

Definición del problema

En el mundo actual, está ocurriendo un indisputable cambio ambiental: El uso inconsciente de los recursos naturales; la producción desmesurada de elementos no biodegradables, con composiciones moleculares que dificultan su degradación, se pueden observar en distintas áreas de manufactura desde la promulgación de la industrialización. Sin embargo, en la última década las industrias (en generalidad) han trazado un camino en la exploración de materiales que reemplacen la explotación de los polímeros derivados del petróleo.

Las propiedades de un polímero derivan de su estructura molecular: Es controlable por medio de la selección de los monómeros y las condiciones del proceso de polimerización. En este mismo sentido, las fibras naturales disponen de múltiples características como: Rigidez, resistencia, protección térmica y biodegradabilidad; que lo posicionan como alternativa para reemplazar ciertos plásticos.

Por otra parte, existen tres especies de cannabis: Cáñamo industrial, “es un material orgánico que presenta concentraciones significativas de polisacáridos (lignina, hemicelulosa y celulosa), lo cuales son componentes básicos de sus fibras naturales” (Monsalva, 2020). Relaciona con la cepa de cannabis sativa, su porcentaje de THC (Tetrahydrocannabinol) es reducido en comparación con sus otras especies, ocasionando cualidades que ofrecen mayor calidad de la fibra. Además, el cáñamo contiene una considerable cantidad de celulosa, categorizándolo con una fuente viable sostenible, transformándolo en un eficaz sustituto de los plásticos de un solo uso. Al mismo tiempo, los conflictos sociales procedentes de las plantaciones ilegales, en relación con los procesos ilícitos al uso marihuana, ocasionaron un sinnúmero de prohibiciones a la aplicación de la planta, sin diferenciar minuciosamente los aspectos

eficientes del cannabis en el ámbito industrial. y que las plantaciones de cáñamo eran más rentables que las de soja o maíz

Según reportes de la Superintendencia de Servicios Públicos (2017): En Colombia se concibieron un aproximado de 10.3 millones de toneladas de desechos sólidos. En los hogares colombiano es obtuvieron una cifra de 4.3 Kg/día (DANE, 2018). Asimismo, se alude que los municipios de país no disponen de un sistema de recolección de basuras.

En efecto, prevalecen ciertas impugnaciones asociados con el procesamiento y extracción de fibras de cáñamo. La producción de polímeros a base de cáñamo requiere equipo especializado, por otra parte, la disponibilidad de materias primas puede ser limitada, obstaculizando el aumento de la producción de biopolímeros.

Justificación

En general, los polímeros a base de cáñamo tienen el potencial de proporcionar una alternativa sostenible a los plásticos tradicionales y otros materiales. A medida que continúa la investigación y el desarrollo en este campo, es probable que más productos y aplicaciones que utilicen polímeros a base de cáñamo en el futuro.

Durante siglos, el cáñamo es ostentado como la fuente de materia prima para múltiples productos. El uso de fibra de cáñamo es productivo, debido a que es un material: Sostenible, fuerte, transpirable, hipoalergénico, versátil. Por otra parte, es conocida por su resistencia y durabilidad, lo que la convierte en un material ideal para productos que necesitan resistir el desgaste, como ropa, cuerdas y papel.

“Colombia debería aprovechar las posibilidades productivas del cáñamo, y la capacidad de desarrollo industrial de este sector” (Fedesarrollo, 2019). Es un cultivo altamente sostenible que requiere menos agua, pesticidas y herbicidas en comparación con otras fibras como el algodón. Crece rápidamente, se cosecha en tan solo 120 días, y se puede cultivar en diversidad de climas y suelos. Por lo cual, Colombia es una zona estratégica para el crecimiento y producción de cáñamo, debido a sus regiones cálidas, terrenos aluviales, permeables y ricos en nitrógeno; condiciones ideales desde varios aspectos para su cultivo. Además, la fibra de cáñamo se puede cultivar sin el uso de productos químicos nocivos y también tiene un impacto positivo en el medio ambiente: absorben dióxido de carbono de la atmósfera y pueden ayudar a mejorar la salud del suelo.

Análisis de requerimientos

Intención del producto

Los polímeros son monopolizados en múltiples áreas de aplicación en las industrias, según Kalpakjian (2014), “debido a sus muchas y muy particulares propiedades, los polímeros reemplazan cada vez con mayor frecuencia a componentes metálicos en aplicaciones tales como automóviles, aviones civiles y militares, artículos deportivos, juguetes, electrodomésticos y equipos de oficina.” (p.201). En este sentido la presencia de plásticos es en cierta medida omnipresente en cada aspecto productivo en el contexto global, pero a causa de sus enlaces cruzados de diferentes monómeros dificultan el manejo de sus residuos en su proceso de reciclaje.

El manejo continuo de plástico en la sociedad requiere cantidades exorbitantes de petróleo para su fabricación, para posteriormente transformarse en desechos junto a la pila de miles de toneladas en todo el mundo. Por otra parte, por su particular estructura entorpece su reintegro a los ciclos productivos, sufriendo una acumulación por años.

Por lo tanto, con este proyecto se ambiciona en el análisis de los beneficios de la implementación de polímeros reforzados con fibras naturales para reducir los estropicios causados por los plásticos producidos en la industria de los termoplásticos. Al identificar estas problemáticas se explora el uso de las fibras de origen natural que optimicen las características del termoplástico o iguale sus propiedades, en el ámbito de aplicaciones. Además, se abarca como método de aprovechamiento del cáñamo en la implementación de los procesos de fabricación de biopolímeros, reduciendo las tendencias que impactan negativamente el uso de esta materia prima en el sector y su viabilidad, en el ámbito de la sostenibilidad adquiriendo un enfoque social y ambiental.

Los polímeros

Los polímeros son moléculas formadas por la repetición de unidades monoméricas; su versatilidad y variedad de propiedades los convierten en componentes esenciales de múltiples productos y tecnologías. Asimismo, se unen mediante enlaces químicos covalentes para formar cadenas largas y ramificadas: se clasifican en diversidad de aspectos, en ocasiones estas codificaciones se estandarizan en diferentes grupos, basándose principalmente en la aplicación de su diseño y sus propiedades, como la resistencia a la temperatura, la durabilidad, la conductividad eléctrica y la resistencia química.

Se encuentran en una amplia variedad de materiales y productos en nuestra vida cotidiana, por otra parte, pueden ser modificados mediante la adición de aditivos, como plastificantes, estabilizadores, pigmentos y cargas, para mejorar aún más sus propiedades y adaptarlos a aplicaciones específicas; se pueden utilizar diferentes monómeros y aditivos para obtener polímeros termoplásticos o termoestables, que tienen diferentes propiedades y aplicaciones.

Los polímeros sintéticos.

Se emplean en aplicaciones como la fabricación: Plásticos, fibras textiles, adhesivos, recubrimientos, envases, materiales de construcción, dispositivos médicos y muchas otras industrias. Estos materiales poliméricos se eligen debido a sus propiedades específicas, como resistencia mecánica, flexibilidad, durabilidad, transparencia, resistencia química y aislamiento eléctrico, entre otras.

La clasificación de los polímeros se estructura por la categorización de sus cadenas macromoleculares siendo los criterios para la clasificación en: termoestables, elastómeros y termoplásticos. Por otra parte, los polímeros termoplásticos son polímeros lineales o ramificados

(Figura I), que cuenta con la particularidad de estar de forma bifurcada o no. Dentro de esta categoría encontramos materiales que se agrupan en este tipo: Polietileno (PE), poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC) y polipropileno (PP).

Ilustración 1 *Estructura de los polimeros termoplásticos.*



Nota. Elaboración propia.

Los termoplásticos. son un tipo de polímeros que se caracterizan por su capacidad de ser moldeados repetidamente mediante la aplicación de calor y presión, conservando las propiedades mecánicas y químicas después de múltiples ciclos de moldeo. Asimismo, se subdivide en una amplia variedad de categorías debido a sus propiedades únicas, como la resistencia a la deformación, la durabilidad, la resistencia química y la facilidad de moldeo, por ejemplo, el polietileno (PE), el policarbonato (PC), el polipropileno (PP), el politetrafluoroetileno (PTFE) y el polimetacrilato de metilo (PMMA o acrílico).

Ilustración 2 *Estructura de s termoplásticos amorfa y cristalina.*



Un polímero estandarizado para la aplicación de termoplásticos debe de adquirir determinadas temperaturas de transición fusión, (Crawford, 1999, se pueden procesar mediante diferentes técnicas de moldeo, como: la inyección, extrusión, soplado y termoformado. Estas técnicas permiten la fabricación de productos de diferentes formas y tamaños, desde pequeñas piezas hasta grandes estructuras.

Por otra parte, las limitaciones que presenta en los derivados de los termoplásticos radican en su resistencia térmica, por su tendencia a la deformación por medios del calor y la presión. Sin embargo, estas limitaciones pueden ser superadas mediante la adición de mezclas con otros materiales, como fibras para mejorar sus propiedades mecánicas.

Fibras naturales

Las fibras naturales son materiales fibrosos que se obtienen directamente de fuentes naturales, como plantas, animales o minerales, han sido utilizadas durante siglos en diversas aplicaciones debido a sus propiedades únicas. Asimismo, poseen por su origen natural características como: la biodegradabilidad y la capacidad de ser renovables, transformándolas en aditivos sostenibles como alternativas de las fibras sintéticas para múltiples aplicaciones específicas en la industria. Algunas de las fibras naturales más comunes son:

Algodón

Es una de las fibras naturales más utilizadas en la industria textil debido a su comodidad, transpirabilidad y resistencia al desgaste, proveniente de las semillas de la planta de algodón. Se utiliza para la fabricación de múltiples productos textiles.

Lino

Es una fibra natural con características de absorbencia, resistencia y durabilidad empleadas para la fabricación de textiles para el hogar, como manteles y cortinas.

Yute

El yute es una planta que se puede procesar para obtener fibra que se dispone en la fabricación de sacos, bolsas, alfombras y otros productos de embalaje.

Cáñamo

Es una fibra resistente y duradera que se obtiene de la planta de marihuana, se emplea actualmente en la fabricación de textiles, cuerdas, papel y productos de construcción ecológicos.

Biopolimero

Son macromoléculas formadas por la repetición de unidades llamadas monómeros de origen vegetal, animal o microbiano; es decir, son polímeros naturales o sintéticos que se derivan de fuentes biológicas. En este orden de ideas, la clasificación de los polímeros se realiza en los dos grupos mencionados: Los biopolímeros naturales, incluyen las proteínas y los polisacáridos, como la celulosa y el almidón; los biopolímeros sintéticos, elaborados en laboratorios para su ejecución en una amplia variedad de productos biodegradables como envases, textiles y productos médicos.

Asimismo, biopolímeros sintéticos pueden tener diferentes propiedades y características dependiendo de su composición y método de producción, categorizados en poliácido láctico (PLA), el polihidroxibutirato (PHB) y el poliéster termoplástico (PLA). Además, pueden ser modificados químicamente para mejorar sus propiedades mecánicas, térmicas o degradables.

Material compuesto

Un material compuesto es un material que se forma mediante la combinación de dos o más componentes diferentes con propiedades individuales: se denominan matriz y refuerzo, trabajan en conjunto para proporcionar propiedades superiores al material compuesto en comparación con los materiales individuales por separado.

La matriz es la fase continua del material compuesto y proporciona resistencia, estabilidad dimensional y protección al refuerzo. Por lo general, la matriz es un polímero termoplástico o termoestable, un metal, una cerámica o una combinación de ellos. La selección de la matriz depende de las propiedades deseadas y las aplicaciones previstas del material compuesto.

Por otra parte, el refuerzo es la fase discontinua que se incorpora a la matriz para mejorar las propiedades mecánicas del material compuesto: en estructuras de partículas, fibras, láminas; los refuerzos poseen propiedades únicas y se elige en función de los requisitos de rendimiento del material compuesto. Los refuerzos más comunes son fibras de vidrio, fibras de carbono, fibras de aramida y partículas cerámicas.

La combinación de la matriz y el refuerzo permite obtener un material con propiedades combinadas, como resistencia mecánica, rigidez, tenacidad, resistencia al calor, resistencia química y resistencia a la fatiga. Los materiales compuestos se utilizan en diversas aplicaciones, como la industria aeroespacial, la automotriz, la construcción, los deportes y muchas otras áreas donde se requieren materiales livianos y de alta resistencia.

Parámetros de diseño.

“El término de material compuesto (en inglés, composite), se aplica a aquellos materiales que resultan de la combinación de dos o más componentes a nivel macroscópico, y cuyo comportamiento mecánico y propiedades son superiores a los de los materiales que lo constituyen” (Vallejos, 2006, p.14). En esta perspectiva, el uso de polímeros mezclados con fibras específicas mejora las propiedades físicas del compuesto, por esta razón, se puntualizan las características principales del producto: Demostrando sus propiedades físicas en relación con sus beneficios y aplicaciones; leyes por las que se rige la elaboración y cultivo de cáñamo, por

medios de referentes científicos para la elaboración de la información contenida en el amplio rango de materiales fibrosos.

Características del producto

Tipo de material. El polipropileno termoplástico con fibras de cáñamo es un material compuesto que combina polipropileno (PP) como matriz termoplástica y fibras de cáñamo como refuerzo. El polipropileno es un termoplástico ampliamente utilizado en diversas industrias debido a su alta resistencia química, rigidez, tenacidad y capacidad de moldeo. Asimismo, la mezcla con las fibras de cáñamo posibilita la creación de un material compuesto con características mejoradas que refuerzan la matriz de polipropileno. Igualmente, la combinación de polipropileno termoplástico y fibras de cáñamo ofrece una alternativa más sostenible y ecoamigable en comparación con los materiales compuestos tradicionales basados en plásticos derivados del petróleo.

Tabla 1 *Características mecánicas de los polímeros.*

Polímero	Resistencia a la tracción (MPa)	Modulo a flexión (GPa)	Alargamiento a la ruptura (%)	Resistencia al impacto Izod (KJ/m)	Temperatura máxima (°C)
PS	34	3.4	1.6	0.02	50
PET	75	3.0	70.0	0.02	115
PVC	51	3.0	60.0	0.08	50
ABS	47	2.7	8.0	0.20	70
PP	33	1.5	150.	0.07	100

Nota: Tabla adaptada de Vallejos, M. (2006). Aprovechamiento integral del cannabis sativa [Tesis de doctorado, Universitat de Girona] TDX. <http://hdl.handle.net/10803/7793>

Composición y propiedades. El bio-polipropileno termoplástico reforzado con cáñamo es un polímero con la propiedad de maleabilidad por medio de la aplicación de temperatura y presión: Se obtiene a partir de fibras naturales renovables, en lugar de utilizar recursos como el petróleo. Por esta razón, emplearemos el uso de las fibras de cáñamo o específicamente la celulosa que se obtienen de la parte de la planta conocida como la corteza.

Tabla 2 *Características de fibras naturales.*

Fibra	Diámetro (μm)	Longitud (mm)	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
Cáñamo	5-55	10-51	57-77	14-17	9-13
Yute	2-5	10-25	-	-	-
Lino	9-70	5-38	-	-	-
algodón	10-40	12-38	85-96	1-3	0.7-1.6

Nota. Tabla adaptada de Vallejos, M. (2006). Aprovechamiento integral del cannabis sativa [Tesis de doctorado, Universitat de Girona] TDX. <http://hdl.handle.net/10803/7793>

Las fibras de cáñamo, como se mencionó anteriormente, provienen de la planta de cáñamo y se utilizan como refuerzo en el material compuesto. Estas fibras son conocidas por su alta resistencia y rigidez, lo que las hace adecuadas para mejorar las propiedades mecánicas del polipropileno, con una mayor resistencia a la tracción, rigidez y resistencia al impacto, reducir a la contracción y la deformación térmica del material compuesto.

Tabla 3 *Características mecánicas de las fibras naturales*

Fibra	Densidad (g/cm³)	Resistencia a rotura (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Elongación a ruptura (%)	Ct (Mpa)	Et (GPa)	ρ
Cáñamo	1.48	600-1000	32-70	1.6	725	40	1.48
Lino	1.54	344-1035	27-80	2.7-3.2	1150	50	1.40
Yute	1.3-1.5	393-1000	10-59	1.5-1.8	600	20	1.46
Algodón	1.50-1.60	287-597	5.5-12.6	7.0-8.0	-	-	-

Nota. Tabla adaptada de Vallejos, M. (2006). Aprovechamiento integral del cannabis sativa [Tesis de doctorado, Universitat de Girona] TDX. <http://hdl.handle.net/10803/7793>

Marco de referencia

Los polímeros poseen ciertas características determinadas que le conceden de ligero, higiénico y resistente que se puede moldear de distintas maneras y utilizar en una amplia gama de aplicaciones. Además, la mayoría de los plásticos no se biodegradan, en cambio se fotodegradan, lo que significa que estos se descomponen lentamente en pequeños fragmentos conocidos como los micro plásticos. (ONU Medio Ambiente, 2018).

En la actualidad, el dispendio de plásticos convencionales está ocasionando graves problemas ambientales, dado que su disposición genera acumulación en los rellenos sanitarios, por su característica de no biodegradabilidad, y su cuestionable proceso de reciclaje, contexto en el cual el sector de empaques alimentarios tiene gran participación ya que “en Colombia ya que existen más de 600 empresas que producen envases y otras 50 que fabrican máquinas para esta industria” (Semana, 2020), siendo necesario abordar alternativas para contribuir en la mitigación de este inconveniente ambiental. Los materiales plásticos de biopolímero continúan creciendo.

Los polímeros de cáñamo son un tipo de bioplástico que está hecho de fibras de cáñamo y otros materiales naturales. La composición química de un polímero de cáñamo puede variar según la formulación específica, pero generalmente incluye una mezcla de celulosa, lignina y hemicelulosa. Estos compuestos naturales dan a los polímeros de cáñamo su resistencia y durabilidad, haciéndolos ideales para su uso en una variedad de aplicaciones.

En términos de propiedades físicas, los polímeros de cáñamo son generalmente livianos y tienen una alta resistencia a la tracción, lo que los hace ideales para su uso en productos que requieren un alto grado de resistencia y durabilidad, como piezas de automóviles, materiales de construcción y empaques. También son biodegradables, lo que los convierte en una alternativa atractiva a los plásticos tradicionales a base de petróleo que pueden tardar cientos de años en

descomponerse en el medio ambiente. Por otra parte, son utilizados en una variedad de industrias, incluidas la automotriz, la construcción y la textil. En la industria automotriz, los polímeros de cáñamo se utilizan para fabricar componentes livianos y duraderos que pueden ayudar a mejorar la eficiencia del combustible y reducir las emisiones. En la industria de la construcción, se emplean en la fabricación de materiales de construcción resistentes, duraderos y ecológicos. Y en la industria textil, los polímeros de cáñamo se utilizan para fabricar telas suaves, cómodas y sostenibles.

En general, son un nuevo desarrollo emocionante en el mundo de los materiales sostenibles y tienen el potencial de revolucionar la forma en que fabricamos y usamos productos en una variedad de industrias. Además, cumplir con los requisitos de sostenibilidad y seguridad ambiental: Se degradan y mineralizan completamente en el entorno, llegando a ser una alternativa favorable de desarrollo a base de materiales orgánicos, disminuyendo la dependencia del petróleo como pieza fundamental en la elaboración de plásticos.

Análisis de restricciones

Aspectos económicos

El mercado de cannabis en la Suramérica es un paradigma de años de historia por sus repercusiones en el ámbito de su mercado ilegal, debido a sus consecuencias sociales. Por esta razón, se encuentra en proceso desarrollo, por su latente importancia en el mercado industrializado, pero existen cierto tipo de requerimientos debido a que el mercado de cannabis y sus derivados en América Latina está en desarrollo, es importante tener en cuenta los siguientes requisitos para ingresar a este mercado:

Productos de valor agregado. Es fundamental destacar la importancia del producto y cómo su introducción en el mercado puede beneficiar a diversas áreas, las exportaciones colombianas de cannabis medicinal constan de un aproximado de 5 millones de dólares, pero en 2030 superaran los 1.700 millones, de acuerdo con proyecciones de ProColombia (Cota & Torrado, 2021). Es importante mencionar y conocer el producto, como su incorporación al mercado beneficiaria en múltiples formas las áreas de la economía. Colombia, posee el clima idóneo para el cultivo de marihuana: Circunscribe una privilegiada radiación solar, por su ubicación sobre la línea ecuatorial; sus fluctuaciones de temperatura y humedad son menores, prometiendo costos de producción menores a otros países. Por esta razón, los recursos de investigación de fibras naturales serán asequibles: Facilitando su manufactura, disponibilidad en el mercado, encaminados a que uso de reforzamiento de polímeros sea un proyecto viable.

En ese orden de ideas, la principal restricción puede ser la disponibilidad y calidad de las fibras de cáñamo necesarias para reforzar el polipropileno, por esta razón, es de vital importancia establecer un suministro constante de las fibras de alta calidad para imponer la viabilidad y los resultados positivos de la investigación, encaminados a la producción sostenible y el refuerzo del

agro colombiano en la adopción de prácticas agrícolas responsables con el fin de mantener la disponibilidad constante de la materia prima.

Calidad del producto final. Es necesario garantizar la viabilidad y calidad de este tipo de productos, evaluar su nivel de aceptación y realizar proyecciones. Colombia cuenta con el clima adecuado para el cultivo de marihuana, incluyendo una radiación solar privilegiada debido a su ubicación ecuatorial, lo que resulta en menores fluctuaciones de temperatura y humedad, y costos de producción más bajos que en otros países. Asimismo, aprovechando los recursos suministrados por diversas zonas del país, se identifican la variedad de fibras que son exportadas y usadas en sectores industriales. El proceso de viabilidad del producto, se concretar en la proyección de maximizar los estándares de calidad, implementando el uso de las fibras en el país dándoles, beneficiando a diversos sectores industriales según los requerimientos de material.

Aspectos Legales

En analogía con las licencias y autorizaciones para el manejo de seguro del cannabis, incluyendo: la planta, sus derivados y productos. Se establecen resoluciones a la disposición de los requisitos y criterios para solicitud de licencias para el uso industrial del cannabis:

Fabricación de derivados no psicoactivos de cannabis y licencia de cultivo de plantas de cannabis no psicoactivo, se regulan mediante el Decreto 811 de 2021, en relación con las licencias, cupos y autorizaciones para el acceso seguro e informado al uso del cannabis, la planta de cannabis, sus derivados y productos, y establece otras disposiciones (Ministerio de Justicia y del Derecho, Agricultura y Desarrollo Rural, y Salud y Protección Social, Resolución número 227 de 2022). Esta resolución tiene como objetivo definir los requisitos y criterios para solicitar un cupo o licencia para el uso industrial del cannabis, incluyendo licencias de fabricación de derivados no psicoactivos de cannabis y licencias de cultivo de plantas de cannabis no psicoactivo.

Ilustración 2.

Tabla de normativa

Titulo	Descripción
Ley 1787 del 6 de julio del 2016	Crear un marco regulatorio que permita el acceso seguro e informado al uso médico y científico del cannabis.
Resolución 577 de 2017 del Ministerio de Justicia y del Derecho	Regula el uso de semillas y cultivo de plantas de cannabis psicoactivo y no psicoactivo.
Resolución 0577 del 8 de agosto del 2017 del Ministerio de Justicia y del Derecho	Se regula lo establecido por la evaluación y seguimiento a las licencias de uso de semillas para siembra, cultivo de plantas de cannabis psicoactivo y no psicoactivo
Resolución 0578 del 8 de agosto del 2017 del Ministerio de Justicia y del Derecho	Establece el manual de tarifas correspondiente a los pagos que deben de realiza las personas naturales y jurídicas para el uso de licencias para el cultivo de cannabis.
Resolución 0579 del 8 de agosto del 2017 del Ministerio de Justicia y del Derecho	Determinar el criterio de definición de los productores y comercializadores nacionales de cannabis medicinal.

Fuente: Ley 1787 de 2016. <https://www.funcionpublica.gov.co>

Aspectos Socioculturales

La perspectiva negativa de la sociedad estigmatiza el cannabis en un solo uso general, sin considera los aspectos idóneos en la industrial, los avance en producciones y procesos más limpios y consientes. Sin embargo, mediante la metodología empleada se presentará las condiciones de aceptabilidad en sus diferencias poblacionales. Además, se transitará un enfoque frente a los beneficios del cambio de polímeros, al uso del cannabis: Medicinal, industrial y gastronómico.

En relación con lo mencionado anteriormente, el cannabis y sus derivados enfrentan estigmatización en la sociedad en general. A pesar de esta situación, se infiere que la población, independientemente de la edad y la generación, está comenzando a cambiar su percepción y a reconocer los beneficios del uso del cannabis, no solo con fines recreativos, sino también medicinales, textiles, gastronómicos, entre otros. Esto implica un avance hacia producciones y procesos más sostenibles y consientes

Aspectos ambientales

Alrededor de 300 millones de toneladas de residuos plásticos se encuentran acumulados en el mundo. El equivalente al peso de toda la población humana, estos desperdicios se componen: 8 millones de toneladas encontradas en los océanos, complementados con 24,4 billones de micro plásticos; informado por Gim Huay Neo (2022). El cultivo de semillas de cannabis contribuye positivamente al suelo, mejorando los procesos de nutrición e incluso apoyando en la recuperación suelo a sus alrededores. En el cultivo de cáñamo, requiere un pH suelo óptimo (6 a 7); los suelos deben de ser profundos y pocos compactos puesto que la raíz debe de desarrollarse en la capta de agua y nutrientes. Se debe fertilizar para reflejar niveles de N-P-K, macronutrientes y micronutrientes, materia orgánica.

Por otra parte, el cultivo de cannabis tiene una historia negativa debido a las prácticas utilizadas en su sistema de cultivo, como la agricultura extensiva y el monocultivo tipo guerrilla. Estas prácticas buscan una alta productividad mediante el uso de diversos agroquímicos, incluyendo pesticidas, lo cual tiene un impacto ambiental dependiendo del método utilizado y la escala de trabajo (Mills, 2012). En este proyecto, existen emisiones asociadas a actividades como las adecuaciones del terreno, el transporte de insumos al lugar de cultivo y la extracción para la producción del producto final.

Metodología

Los polímeros termoplásticos reforzados con fibras naturales son una alternativa atractiva a los materiales compuestos convencionales debido a su excelente relación de características mecánicas; la fibra de cáñamo es un material natural, biodegradable, renovable y económico que puede utilizarse como refuerzo en polímeros termoplásticos. Por esta razón, se requiere realizar análisis de diseño, en correlación con la caracterización de sus aplicaciones de ingeniería en el hogar colombiano.

Revisión literaria

Realiza una revisión exhaustiva de la literatura científica existente sobre biopolímeros y fibras de cáñamo, por esta razón se analiza los trabajos previos relacionados con el tema, identificando las brechas de conocimiento y resalta los avances más relevantes en el área: Delimitando la información relevante sobre la composición de polipropileno reforzados con fibras de cáñamo y otras fibras naturales, para obtener una base sólida en el desarrollo y planeación de los aspectos específicos de la investigación.

En cuanto a la composición de polipropileno reforzado con fibras de cáñamo y otras fibras naturales, se obtiene información relevante sobre las propiedades físicas, mecánicas y térmicas de los materiales compuestos. Se pueden identificar los diferentes métodos de procesamiento utilizados para obtener una buena dispersión de las fibras en la matriz de polipropileno, como la extrusión, la compresión y el moldeo por inyección.

Asimismo, se profundiza en los aspectos relacionados con la estabilidad y la durabilidad de los composites de polipropileno reforzados con fibras de cáñamo, considerando factores como la degradación térmica, la resistencia a la humedad y la resistencia a la fatiga. Se pueden explorar métodos de mejora de la estabilidad, como el uso de aditivos y tratamientos superficiales de las

fibras, así como técnicas de caracterización para evaluar la resistencia y la vida útil del material compuesto.

Tabla 4 *Parametrización de características de fibras naturales.*

Características	Polipropileno con fibras de cáñamo	Polipropileno con fibras de vidrio	Polipropileno con fibras de yute	Polipropileno con fibras de sisal	Polipropileno con fibras de asbesto
Resistencia mecánica	Alta	Muy alta	Media	Alta	Muy alta
Módulo de elasticidad	Mayor que el polipropileno sin refuerzo	Muy alto	Bajo	Alto	Muy alto
Tenacidad	Mejorada con el refuerzo de fibras	Baja	Media	Media	Baja
Resistencia a la tracción	Mejorada con el refuerzo de fibras	Muy alta	Media	Alta	Muy alta
Resistencia a la compresión	Mejorada con el refuerzo de fibras	Muy alta	Baja	Alta	Muy alta
Resistencia al impacto	Mejorada con el refuerzo de	Muy alta	Baja	Alta	Muy alta

fibras					
Conductividad térmica	Reducida	Baja	Alta	Media	Muy baja
Estabilidad dimensional	Mejorada con el refuerzo de fibras	Muy alta	Baja	Alta	Muy alta
Resistencia a la corrosión	Generalmente resistente	Resistente	No resistente	No resistente	No resistente
Resistencia química	Variable, dependiendo del tipo de fibras	Resistente	No resistente	No resistente	No resistente
Densidad	Ligeramente mayor que el polipropileno sin refuerzo	Mayor que el polipropileno sin refuerzo	Menor que el polipropileno sin refuerzo	Mayor que el polipropileno sin refuerzo	Mayor que el polipropileno sin refuerzo
Costo	Generalmente más económico que el polipropileno con otras fibras	Costoso	Económico	Económico	Costos

Nota 1Elaboracion propia.

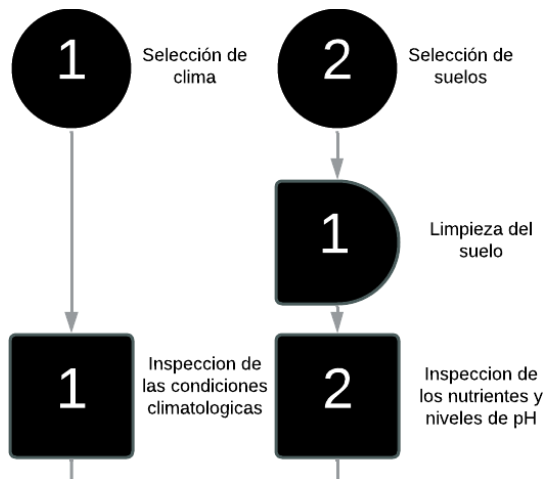
Sin embargo, la influencia del contenido de fibras, el tamaño de las fibras, el tratamiento de las fibras y las condiciones de procesamiento es el parámetro clave para determinar las propiedades resultantes. Es decir, la adhesión y compatibilidad entre las fibras y la matriz de polipropileno facilitan la comprensión de los mecanismos de refuerzo y la mejora de las propiedades del material compuesto.

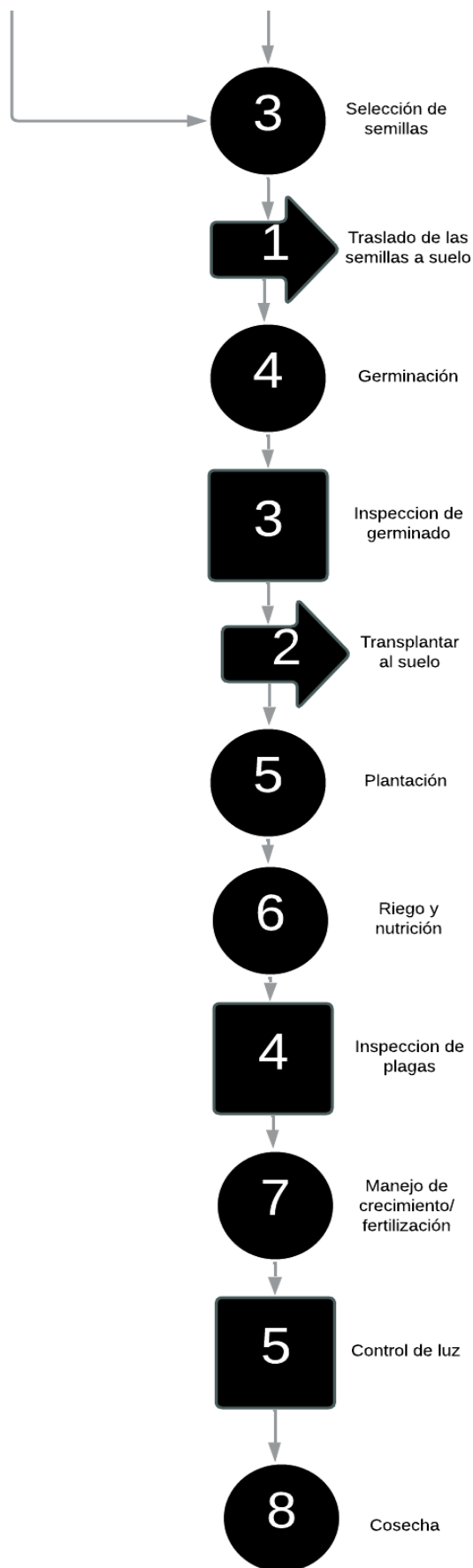
Cadena productiva de la planta de cannabis

La cadena productiva de la planta de cannabis, también conocida coloquialmente como marihuana, implica una serie de procesos y actividades que inician en la siembra y cultivo de la planta hasta la comercialización de productos derivados.

Siembra y cultivo. El proceso comienza con la siembra de las semillas de cáñamo en terrenos adecuados, requiere cuidado y atención para garantizar un crecimiento saludable y productivo: El cannabis es una planta resistente y puede cultivarse en una amplia variedad de climas y suelos. Durante el cultivo, se llevan a cabo tareas de riego, control plagas, y se monitorea el crecimiento de las plantas.

Ilustración 3 *Diagrama de operaciones y procesos,*





Preparación del suelo. El primer paso es preparar el suelo adecuadamente para el cultivo de la planta de cannabis: limpiar el área de malezas y escombros, y asegurarse de que el suelo tenga los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta, por medio de pruebas de suelo para determinar los niveles de pH y nutrientes.

Tabla 5 *Condiciones del suelo.*

pH	Nutriente	Función	Niveles recomendados
6.0-7.0	Nitrógeno (N)	Estimula el crecimiento vegetativo	100-200 ppm
	Fósforo (P)	Promueve la formación de flores	50-100 ppm
	Potasio (K)	Mejora la resistencia y calidad	100-150 ppm
	Calcio (Ca)	Fortalece la estructura de la planta	100-200 ppm
	Magnesio (Mg)	Esencial para la fotosíntesis	50-100 ppm
	Azufre (S)	Componente de proteínas y enzimas	50-100 ppm
	Hierro (Fe)	Importante para la clorofila	2-10 ppm

Manganeso (Mn)	Activa enzimas y procesos metabólicos	2-10 ppm
Zinc (Zn)	Participa en la síntesis de proteínas	2-10 ppm
Cobre (Cu)	Activa enzimas y sistemas de defensa	0.1-0.5 ppm
Boro (B)	Esencial para el transporte de azúcares	0.1-0.5 ppm
Molibdeno (Mo)	Componente de enzimas nitrogenadas	0.1-1 ppm

Nota Elaboración propia

Elección de las semillas o clones. La siguiente etapa es seleccionar las semillas o clones de cannabis para su siembra: Las semillas, están categorizadas como feminizadas, regulares o auto florecientes, su la elección dependerá de los objetivos de cultivo; los clones, son recortes de plantas madre que se enraízan y se utilizan para mantener la genética deseada. Asimismo, en la manipulación de semillas, es necesario germinarlas antes de plantarlas en el suelo, deben mantenerse en un ambiente cálido y húmedo hasta que se abran y aparezcan las plántulas.

Tabla 6 *Caracterización de semillas*

Característica	Semillas	Semillas	Semillas Auto	Clones
	Feminizadas	Regulares	Florecientes	
Producción de flores	Plantas femeninas	Plantas tanto masculinas como	Plantas femeninas	Plantas femeninas

		femeninas		
Sexo de la planta	Femenino	Puede ser masculino o femenino	Femenino	Femenino
Selección de sexo	No se requiere selección de sexo	Requiere selección de machos y hembras	No se requiere selección de sexo	No se requiere selección de sexo
Periodo vegetativo	Puede ser más corto debido a la falta de plantas masculinas	Puede ser más largo debido a la necesidad de seleccionar plantas masculinas	Puede ser más corto debido a la presencia de genética Ruderalis	Puede ser más corto debido a la falta de período de enraizamiento
Periodo de floración	Similar a las regulares	Similar a las regulares	Más corto debido a la genética Ruderalis	Similar a las feminizadas
Cosecha	Flores de alta calidad y sin semillas	Puede haber presencia de flores masculinas y semillas	Flores de menor tamaño pero mayor cantidad por temporada	Flores de alta calidad y sin semillas
Estabilidad	Alta	Variable	Variable	Alta

genética				
Reproducción	Pueden producir esquejes/clones	Pueden producir esquejes/clones	No se recomienda utilizar para esquejes/clones	Se reproducen a través de esquejes/clones

Nota 3 Elaboración propia.

Plantación. Se hacen agujeros lo suficientemente grandes para acomodar las raíces de la planta y se colocan las plántulas o los clones en ellos, es importante manipular las raíces con cuidado para evitar dañarlas. Posteriormente, se debe establecer un programa de riego adecuado para mantener la humedad del suelo, evitando el exceso o la escasez de agua. Además, se deben proporcionar nutrientes a la planta de cannabis a través de fertilizantes adecuados, siguiendo las recomendaciones del fabricante y las necesidades específicas de la etapa de crecimiento.

Control. Durante el cultivo, es fundamental vigilar y controlar las plagas y enfermedades que puedan afectar a la planta de cannabis. Por medio de métodos preventivos, como el uso de insecticidas naturales o la introducción de insectos beneficiosos, así como medidas curativas en caso de infestaciones. El monitoreo regular de la planta ayudará a identificar cualquier problema temprano y tomar medidas adecuadas, A medida que la planta crece, es necesario realizar ciertas actividades para asegurar un crecimiento óptimo. Esto puede incluir la poda de hojas y ramas inferiores para mejorar la circulación de aire y la exposición a la luz, así como la sujeción de las ramas principales para evitar que se caigan debido al peso de los cogollos.

Cosecha. Una vez que las plantas de cáñamo han alcanzado la madurez, se realiza la cosecha. Esto se hace generalmente cuando las plantas han desarrollado sus flores y las semillas están maduras. La cosecha puede realizarse de forma manual o con maquinaria especializada.

Cadena productiva de la fibra de cáñamo

Separación de la fibra y las semillas. Las plantas se someten a un proceso de separación para obtener la fibra y las semillas como tecnificado como desfibrado. La fibra se obtiene de la parte externa de la planta, mientras que las semillas se recogen para su posterior procesamiento.

Procesamiento de las semillas. Las semillas de cáñamo tienen un alto valor nutricional y se utilizan en la producción de aceite de cáñamo, alimentos y suplementos alimenticios. El procesamiento de las semillas involucra la extracción del aceite mediante prensado en frío o solventes, así como la molienda de las semillas para obtener harina de cáñamo.

Retiro de las semillas. Las semillas de cáñamo se separan de los tallos antes del proceso de desfibrado, se realiza de manera manual o el uso de maquinaria especializada.

Procesamiento de la fibra. La fibra de cáñamo puede utilizarse en una amplia gama de aplicaciones, como textiles, papel, materiales de construcción y productos de ingeniería. El procesamiento de la fibra implica el desgomado, el escudado y el peinado para obtener fibras largas y limpias que puedan ser utilizadas en la producción de diferentes productos.

Secado. Después de la cosecha, los tallos de cáñamo se someten a un proceso de secado para reducir la humedad, llevarse a cabo en un ambiente controlado o al aire libre, dependiendo de las condiciones climáticas y las instalaciones disponibles.

Tabla 7 *Parametros de secado*

Parámetro	Rango de Valores Recomendados
Temperatura de secado	20-40 °C
Humedad relativa	40-60%

Duración del secado	1-3 días
Contenido de humedad final	Menos del 15%
Ventilación	Buena circulación de aire
Iluminación	Evitar la exposición directa a la luz solar

Nota 4 Elaboracion propia.

Trituración y desmenuzado. Los tallos secos de cáñamo se trituran y desmenuzan para romper la corteza externa y facilitar la separación de las fibras internas, lograr mediante el uso de máquinas trituradoras o mediante técnicas manuales, como el desmenuzado manual.

Separación de las fibras. Una vez que los tallos se han triturado y desmenuzado, se lleva a cabo la separación de las fibras de cáñamo, mediante diferentes métodos, como la decorticación, el raspado o el peinado. Estos métodos ayudan a eliminar la corteza y las fibras cortas, dejando solo las fibras largas y resistentes.

Limpieza y refinamiento. En la separación de las fibras, se pueden realizar procesos adicionales de limpieza y refinamiento para eliminar impurezas, como polvo, pequeños fragmentos de corteza o fibras sueltas.

Diseño experimental

La fabricación de un polímero con fibras de cáñamo involucrar la ejecución de una cadena de pasos en el proyecto de investigación, se realiza un análisis de datos cuantitativos que incluye diversos elementos para describir el diseño metodológico y orientar el logro de los objetivos de la investigación: comprenden estudios e investigaciones, un estudio experimental para comparar

las propiedades mecánicas de un polipropileno convencional con uno reforzado con fibra de cáñamo, métodos de recolección de datos y revisión de literatura.

A partir de estos elementos, se analizarán aspectos específicos, como la manejabilidad de la mezcla, la resistencia a la compresión y flexión del polipropileno con fibra de cáñamo, el esfuerzo hasta la rotura, los tipos de fallas observadas en las muestras en estudio y otras consideraciones relevantes. Se llevará a cabo un proceso de validación, en el cual se describirán los métodos utilizados para validar la solución al problema planteado.

El desarrollo del proyecto comenzará con la búsqueda de antecedentes relacionados con el tema, en particular, información sobre los materiales a utilizar en la mezcla de polipropileno con fibra de cáñamo, en concordancia con los ensayos experimentales para comparar y evaluar los resultados obtenidos.

Preparación del material compuesto.

Extracción y preparación de fibras de cáñamo. En primer lugar, se realiza la extracción de las fibras de cáñamo a partir de la planta, existen diferentes métodos de extracción y preparación de fibras de cáñamo, dependiendo del nivel de procesamiento y las características deseadas de las fibras. Por esta razón, implementaremos un método químico denominado retting para separar las fibras de cáñamo de la planta mediante la acción de microorganismos o enzimas.

En este orden de ideas, se empleará hidróxido de sodio diluido en agua destilada para acelerar la descomposición de los tejidos vegetales. Así mismo, los agentes alcalinos modifican el pH del medio, favoreciendo la actividad enzimática y descomponiendo los componentes, posteriormente se deja en reposo durante un período de tiempo que puede variar desde varios

días hasta varias semanas, dependiendo de la temperatura y las condiciones ambientales. Durante este tiempo, los microorganismos o las enzimas actúan sobre los tejidos vegetales, rompiendo las uniones entre las fibras y la planta.

Tabla 8 Extracción de fibra de cañamo.

Proceso Químico de Retting	Tiempo	Temperatura	Condiciones Ambientales
Retting químico	2-4 días	25-40 °C	Solución química hidróxido de sodio,
			Agitación suave para una mejor penetración del químico
			Exposición al aire y a la luz solar moderada

Una vez completado el retting, los tallos de cañamo se someten a un proceso de lavado para eliminar los residuos químicos y los componentes vegetales no deseados. Posteriormente, las fibras se secan y se acondicionan para alcanzar las condiciones de humedad adecuadas para su posterior procesamiento y uso.

Preparación del polipropileno. El polipropileno se prepara mediante un proceso de polimerización, empleando el uso de catalizadores en conjunto con condiciones específicas de temperatura y presión para promover la reacción química de polimerización: El monómero de propileno, se obtiene a través de procesos de refinación del petróleo; en el inicio de la reacción se adiciona un catalizado para acelerar la reacción química. En esta reacción el monómero se une una cadena consecutiva de polipropileno alcanzando el grado de polimerización se detiene la adición de monómeros.

Mezcla. En esta etapa, se mezclan las fibras de cáñamo tratadas con el polipropileno fundido en un proceso conocido como compounding, las fibras de cáñamo se dispersan de manera uniforme en la matriz de polipropileno para formar una mezcla homogénea. Se elige el polipropileno y las fibras de cáñamo de alta calidad y resistencia, para determina la proporción de refuerzo de cáñamo a utilizar en la mezcla: Se utilizó una matriz termoplástica (polipropileno) y se añadieron diferentes cantidades de fibra de cáñamo para optimizar la relación de refuerzo y matriz. Asimismo, las muestras se prepararon mediante moldeo por compresión y se evaluaron las propiedades mecánicas y físicas mediante ensayos de tracción, flexión, elasticidad y dureza.

Tabla 9 proporción de refuerzo de cáñamo,

Proporción (%)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Dureza (Shore D)	Densidad (g/cm³)	Conductividad térmica (W/m·K)
Polipropileno / Refuerzo de Cáñamo						
80/20	30	2.5	35	70	0.9	0.3
70/30	35	2.8	40	75	0.92	0.32
60/40	40	3.0	45	80	0.94	0.34
50/50	45	3.2	50	85	0.96	0.36
40/60	50	3.5	55	90	0.98	0.38

Extrusión y moldeo. Se utilizan técnicas de moldeo, como la extrusión o la inyección, para dar forma a las muestras de polipropileno con refuerzo de cáñamo. De esta manera, la mezcla de polipropileno con refuerzo de cáñamo se extruye a través de una máquina de extrusión, donde se funde y se moldea en la forma deseada, como láminas, películas o perfiles. El procesamiento mediante técnicas de moldeo por inyección, extrusión o compresión. Sin embargo, el método específico dependerá del producto final: diferentes formas y tamaños; láminas, películas, perfiles, tubos u otros productos de plástico.

Tabla 10 Máquinas de moldeo,

Máquina de moldeo	Método de moldeo	Características	Costo aproximado
Inyectora de plástico	Inyección	- Alta precisión dimensional	\$20,000 - \$200,000
		- Capacidad de producción alta	
		- Permite la fabricación de piezas complejas	
		- Control preciso de la temperatura y presión	
Sopladora de botellas	Soplado	- Produce envases huecos y botellas	\$30,000 - \$150,000
		- Alta velocidad de	

		producción	
		- Requiere moldes específicos para cada forma	
		- Produce envases y bandejas de plástico	\$10,000 - \$100,000
Termoformada	Termoformado	- Produce perfiles continuos de plástico	\$15,000 - \$100,000
Extrusora	Extrusión	Puede incluir la incorporación de fibras o aditivos.	
		- Adecuada para productos de gran tamaño	\$30,000 - \$200,000
Máquina de inyección	Compresión	Alta eficiencia energética	
		Permite la utilización de materiales reciclados	

Solidificación. El producto se somete a un proceso de enfriamiento para solidificar y establecer su forma, puede implicar el enfriamiento, calentamiento o aplicación de otro tratamiento específico para asegurar que el polímero se solidifique adecuadamente y mantenga

su forma. Por lo cual, se emplea un sistema de enfriamiento con aire, que se aplica al producto extruido.

Una vez que el producto extruido está completamente enfriado y solidificado, se procede al corte y acabado. El producto se corta en la longitud o tamaño requerido utilizando herramientas de corte adecuadas. También se pueden realizar operaciones de acabado, como pulido, lijado o recorte de bordes, para obtener un aspecto final limpio y suave.

Aplicaciones potenciales

La versatilidad y propiedades del material ofrecen muchas oportunidades para la creación de productos sostenibles y duraderos en diversos ámbitos domésticos. Las posibles aplicaciones del polipropileno en diferentes productos como embalaje, fabricación de muebles, elementos para mascotas, decoración y entre otras aplicaciones. En primer lugar, el material compuesto posee aplicaciones potenciales en el hogar debido a sus propiedades combinadas de resistencia, durabilidad y sostenibilidad: La fabricación de muebles para el hogar, como sillas, mesas, estantes, o incluso en componentes de armarios y cajones; emplearse en elementos decorativos para el hogar, como marcos de cuadros, lámparas, revestimientos de paredes, entre otros. Su versatilidad en términos de diseño y resistencia permite su uso en diferentes alternativas sostenible a los productos convencionales de plástico.

Beneficios

En resumen, las aplicaciones potenciales del polipropileno con refuerzo de cáñamo brindan beneficios en términos de sostenibilidad, resistencia, durabilidad, ligereza, resistencia química y versatilidad de diseño. Estos factores hacen que sea una opción atractiva para

productos en el hogar, contribuyendo a una mayor conciencia ambiental y al uso de materiales más sostenibles.

Sostenibilidad. El uso de cáñamo como refuerzo en el polipropileno proporciona una opción más sostenible en comparación con los materiales convencionales: Es una planta de rápido crecimiento, que requiere menos agua y productos químicos en su cultivo en comparación con otras fibras. Además, el polipropileno es reciclable, lo que contribuye a la reducción de residuos y al uso más eficiente de los recursos.

Tabla 11 *Características del cultivo.*

Material	Uso de Agua	Tiempo de Crecimiento	Productos Químicos
Cáñamo	Bajo	3-4 meses	Menor cantidad
Yute	Moderado	4-6 meses	Menor cantidad
Sisal	Bajo	2-3 años	Baja dependencia

Versatilidad de diseño. Ofrece una gran versatilidad en términos de diseño y fabricación, debido a que tiene la capacidad de moldeado, permitiendo una amplia gama de posibilidades de diseño para aplicaciones en el hogar. Además, el material es compatible con diferentes técnicas de procesamiento, como la inyección, el soplado o la extrusión. Por otra parte, goza de una excelente resistencia y durabilidad. Las fibras de cáñamo agregan rigidez y resistencia mecánica al polipropileno, lo que resulta en productos finales más resistentes al impacto y al desgaste. Esto garantiza una vida útil más larga de los productos y reduce la necesidad de reemplazos frecuentes.

Análisis de costos

El presente análisis tiene como objetivo evaluar los costos asociados a la producción de un polipropileno con refuerzo de cáñamo, como parte de la investigación desarrollada. El polipropileno con refuerzo de cáñamo es un material prometedor que combina las propiedades del polímero con las ventajas del cáñamo como fibra natural. Para garantizar la viabilidad económica de este proyecto, es fundamental comprender y cuantificar los costos involucrados en su producción. Este análisis permitirá identificar los principales componentes de costos, desde la adquisición de materia prima hasta la producción y control de calidad, considerando factores como la mano de obra, la maquinaria, los aditivos, la energía y otros gastos operativos. A través de este estudio detallado de costos, se podrá obtener una visión clara de la viabilidad económica y la rentabilidad de la producción de este polipropileno con refuerzo de cáñamo, brindando información valiosa para la toma de decisiones estratégicas y la optimización de los procesos involucrados.

Tabla 12 *Presupuesto*

Presupuesto				
Cultivo				
Desc.	Valor Unt	Cant	Unidad	subtotal
Terreno	\$ 10.000.000,00	180	m2	\$ 10.000.000
Adecuación del terreno	\$ 2.000.000,00	1	m2	\$ 2.000.000
Semillas	\$ 76.667,00	180	Und	\$ 13.800.060
Fertilizantes	\$ 300.000,00	500	Kilos	\$ 300.000

Agua	\$ 8.000,00	90	L	\$ 720.000
Energía	\$ 21.000,00	120	Kw	\$ 2.520.000
Mano de obra	\$ 1.160.000,00	15	Operarios	\$ 17.400.000
Control de plagas	\$ 400.000,00	3	Galones	\$ 1.200.000
Mantenimiento	\$ 1.160.000,00	5	Operarios	\$ 5.800.000
Seguridad	\$ 1.800.000,00	3	Guardias	\$ 5.400.000
Licencias y permisos	\$ 30.000.000,00			\$ 30.000.000
Marketing	\$ 45.000.000,00			\$ 45.000.000
Total				\$ 134.140.060
Materia prima				
Fibra de cañamo	\$ 68.952,00	1	Kg	\$ 68.952
Polímero base	\$ 18.570,00	1	kg	\$ 18.570,00
Aditivos	\$ 80.000,00	1	L	\$ 80.000,00
Procesamiento	\$ 120.000,00	1	Und	\$ 120.000,00
Maquinaria y equipos	\$ 15.000.000,00	6	maquinas	\$ 15.000.000,00
Mano de obra	\$ 1.160.000,00	6	Operarios	\$ 6.960.000,00
Energía	\$ 44,44	130	Kw	\$ 5.777,78
Gastos operativos	\$ 1.000.000,00			\$ 1.000.000,00
Total				\$ 23.253.299,78

El procesamiento del polipropileno con refuerzo de cañamo implica una serie de etapas, como la extrusión, el moldeo y el acabado, estas etapas poseen costos asociados, que incluyen la operación de maquinaria, la energía utilizada y los costos de mantenimiento. Por otra parte, la

maquinaria y los equipos necesarios para la producción de polipropileno con refuerzo de cáñamo representan una inversión significativa, incluyen extrusoras, moldes, equipos de control de calidad y otros dispositivos específicos para el procesamiento de polímeros.

Igualmente, el costo laboral es otro aspecto relevante, se deben considerar los salarios y las prestaciones de los trabajadores involucrados en la producción, como operadores de maquinaria, técnicos de laboratorio y personal de control de calidad. Además, se pueden requerir capacitaciones específicas para garantizar un proceso de producción eficiente y de calidad.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que los costos asociados con el polipropileno con refuerzo de cáñamo pueden variar en función de factores externos, como la disponibilidad y el precio del cáñamo en el mercado, la competencia en el sector y los cambios en la regulación gubernamental que puedan afectar los costos de producción y cumplimiento normativo.

Análisis de resultados

En el desarrollo de la investigación para el análisis del comportamiento del polipropileno con reforzamiento de fibras de cáñamo, presentando los resultados obtenidos a través de pruebas mecánicas, térmicas y de resistencia, entre otras. Se evaluó la resistencia a la tracción, la flexión, la dureza características relevantes del material compuesto. En este orden de ideas, el objetivo no solo es proporcionar una comprensión detallada de las propiedades del polipropileno reforzado con cáñamo, sino también evaluar su viabilidad y potencial para su aplicación en diversos sectores industriales.

En función de los resultados obtenidos, la adición de fibras de cáñamo mejoró significativamente las propiedades mecánicas del polímero termoplástico. Se observó un aumento en la resistencia a la tracción y la flexión, así como en la dureza. El análisis microestructural mostró una buena distribución de las fibras en la matriz y una buena adhesión entre los dos materiales. junto con varias características mecánicas y físicas asociadas a cada proporción.

En primeras instancias, se observa un aumento gradual en la resistencia a la tracción a medida que aumenta la proporción de refuerzo de cáñamo en la mezcla. Esto indica que el cáñamo agrega fortaleza al polipropileno, lo que puede ser beneficioso en aplicaciones donde se requiere alta resistencia a la tracción. Además, el módulo de elasticidad, también conocido como rigidez, muestra un aumento constante a medida que se incrementa la proporción de refuerzo de cáñamo. Esto sugiere que el cáñamo ayuda a mejorar la rigidez del polipropileno, lo que puede ser útil en aplicaciones que requieren alta rigidez estructural.

Por otra parte, la resistencia a la flexión aumenta a medida que se incrementa la proporción de refuerzo de cáñamo. Esto indica que el cáñamo contribuye a mejorar la capacidad

del material para soportar cargas aplicadas en forma de flexión. Asimismo, la dureza, medida en la escala Shore D, también muestra un incremento gradual a medida que se aumenta la proporción de refuerzo de cáñamo. Esto implica que el cáñamo puede agregar rigidez y resistencia a la superficie del material.

Conclusión

En conclusión, los resultados obtenidos en este estudio demuestran que el refuerzo de fibras de cáñamo en el polipropileno mejora significativamente las propiedades mecánicas del material compuesto. La adición de fibras de cáñamo condujo a un aumento en la resistencia a la tracción, la resistencia a la flexión y la dureza del polipropileno, estos hallazgos sugieren que el cáñamo puede agregar fortaleza, rigidez y resistencia a la superficie del material, lo cual es beneficioso en aplicaciones que requieren altas propiedades mecánicas.

Además, el análisis microestructural reveló una buena distribución de las fibras de cáñamo en la matriz polimérica, lo que indica una buena adhesión entre los dos materiales, confirmando la viabilidad del proceso de refuerzo de cáñamo y respalda la integración exitosa de las fibras en el polipropileno.

Considerando estos resultados prometedores, el polipropileno reforzado con cáñamo muestra un gran potencial para su aplicación en diversos sectores industriales, como la automoción, la construcción y la fabricación de envases. La mejora en las propiedades mecánicas y la posible reducción de peso del material compuesto podrían resultar en productos más resistentes, duraderos y sostenibles.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que este análisis se basa en datos específicos recopilados en este estudio y en las condiciones experimentales establecidas. Se recomienda realizar más investigaciones y pruebas en diferentes contextos y aplicaciones específicas para evaluar aún más el desempeño y la viabilidad del polipropileno reforzado con cáñamo.

Referencias

- Beltrán, M. (2011). Tipos de plásticos, aditivación y mezclado [Tesis de doctorado, Universidad Alicante]. Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante. oai:rua.ua.es:10045/16893
- Cómo los plásticos pasaron de ser una promesa de utopía futurista a la actual pesadilla ecológica. (2019, junio 20). BBC.
- Contreras, L., Vargas, L. y Ríos, R. (2018). Procesos de fabricación en polímeros y cerámicos. Bogotá D.C., Colombia: Ediciones de la U.
- Gim Huay Neo. (2022, marzo 3). *Contaminación por plásticos: Por qué necesitamos urgentemente un tratado mundial comprensivo*. Foro Económico Mundial. <https://es.weforum.org/agenda/2022/03/contaminacion-por-plasticos-por-que-necesitamos-urgentemente-un-tratado-mundial-exhaustivo/>
- Kalpakjian, S., Schmid, S. R. (2014). *Manufactura, ingeniería y tecnología: tecnología de materiales*. Pearson Educación. <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=3641>
- Monosalva, J., Dávila, J. y Quintero, J. (2022). Estudio holístico de la producción de papel a partir de cáñamo industrial en el contexto colombiano. *Revista Mutis*, 10(2), 51–69. <https://doi.org/10.21789/22561498.1721>
- Pietro, R. (2022). Contaminación ambiental por plásticos durante la pandemia y sus efectos en la salud humana. *Revista Colombiana de Cirugía*, 38, 22-29. <https://doi.org/10.30944/20117582.2203>

- Porte, C. (2022). Impacto de micro- y nano-plásticos en salud ambiental: ¿una amenaza? *Revista de Salud Ambiental*, 22, 98-99.
<https://ojs.diffundit.com/index.php/ras/article/view/1200/1147>
- Sabino, C. (1996). *Cómo hacer una tesis y elaborar todo tipo de escritos*. Bogotá D.C., Colombia: Panamericana Editorial Ltda.
- Vallejos, M. (2006). Aprovechamiento integral del cannabis sativa [Tesis de doctorado, Universitat de Girona] TDX. <http://hdl.handle.net/10803/7793>
- Bokobza, L. (2005). Natural Fibers Reinforcing Polypropylene. In *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites* (pp. 111-123). CRC Press.
- El Mansory, M. S., et al. (2017). Fabrication and Characterization of Polypropylene Composites Reinforced with Untreated and Alkali Treated Hemp Fiber. *Polymer Composites*, 38(5), 999-1007.
- Thwe, M. M., & Liao, K. (2002). Durability of Bamboo-glass Fiber Reinforced Polymer Matrix Hybrid Composites. *Composites Science and Technology*, 62(4), 437-449.
- Saba, N., et al. (2016). Mechanical Properties of Banana Fiber Reinforced Polymer Composite: A Review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 35(10), 797-813.
- Abdul Khalil, H. P. S., Ismail, H., & Rozman, H. D. (2011). The effect of acetylation on interfacial shear strength between plant fibres and various matrix resins. *Composites Part B: Engineering*, 42(7), 1876-1880.
- Baley, C. (2002). Analysis of the flax fibres tensile behaviour and analysis of the tensile stiffness increase. *Composite Structures*, 57(1-4), 59-68.

- Bledzki, A. K., Mamun, A. A., & Volk, J. (2010). Barley husk and coconut shell reinforced polypropylene composites: the effect of fibre physical, chemical and surface properties. *Composites Science and Technology*, 70(3), 504-515.
- Boopalan, M., Niranjanaa, M., & Umopathy, M. J. (2014). Characterization of hybrid composites made of natural fibers. *Procedia Engineering*, 97, 1132-1140.
- Bose, S., & Bandyopadhyay, A. (2008). Effect of processing parameters and structural integrity of hydroxyapatite coated polyethylene coated calcium phosphate coated magnesium based biocomposites. *Acta Biomaterialia*, 4(5), 1475-1485.
- Cao, Y., Shibata, S., & Fukumoto, I. (2007). Physical and mechanical properties of kenaf fibers. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(6), 1445-1454.
- Chen, F., Wang, L., Xie, Y., & Zhou, D. (2013). Mechanical properties of pineapple leaf fiber reinforced polypropylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 46, 10-19.
- Chou, T. W., & Li, Z. M. (2002). Mechanical properties of continuous carbon fiber reinforced polypropylene composites: effect of matrix modification. *Journal of Applied Polymer Science*, 83(8), 1709-1718.
- El-Sabbagh, A., Wahab, M. A., & El-Shekeil, Y. A. (2013). Effect of silane coupling agent on the mechanical and thermal properties of date palm fibers-reinforced polypropylene composites. *Polymer Composites*, 34(2), 181-188.
- . Fazita, M. R. N., Sapuan, S. M., & Ibrahim, R. (2013). Physical and mechanical properties of injection moulded polypropylene composites reinforced with coconut shell powder. *Materials & Design*, 45, 343-347.

- Frias, M., & Rocha, F. (2011). Mechanical behaviour of sisal fibre reinforced cement-based materials. *Construction and Building Materials*, 25(7), 3037-3046.
- George, J., Sreekala, M. S., & Thomas, S. (2001). A review on interface modification and characterization of natural fiber reinforced plastic composites. *Polymer Engineering & Science*, 41(9), 1471-1485.
- Huda, M. S., Drzal, L. T., Mohanty, A. K., & Misra, M. (2008). Chopped glass and recycled newspaper as reinforcement fibers in injection molded polypropylene composites: a comparative study. *Journal of Applied Polymer Science*, 107(2), 952-963.
- Islam, M. N., Rahman, M. M., Khan, R. A., & Akter, M. (2014). Development and properties evaluation of jute reinforced polypropylene composites. *Journal of Materials and Environmental Science*, 5(1), 1-11.
- Jumaidin, R., Khalina, A., Ismail, H., & Azhar, A. (2014). The effect of alkaline treatment on mechanical properties of woven kenaf fiber reinforced polypropylene composites. *Applied Mechanics and Materials*, 695, 193-198.
- Kalaitzakis, N., Lappas, A. A., & Karabelas, A. J. (2012). Mechanical properties of natural fiber reinforced polypropylene composites: a comparative study. *Journal of Materials Science*, 47(10), 4422-4435.
- . Kalaprasad, G., & Joseph, K. (2016). Effect of fiber surface treatment on the properties of sisal fiber-reinforced polypropylene composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 35(2), 135-144.
- Khan, M. A., Islam, M. R., & Hossain, M. S. (2012). Development of jute fiber reinforced polypropylene composites: effect of fiber loading and compatibilizer. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31(8), 531-539.

- Khalil, H. A., Saurabh, C. K., & Ismail, H. (2012). Mechanical properties of kenaf fiber reinforced polymer composite. *Materials & Design*, 36, fibre reinforced polymer composites. *Materials Science and Engineering: C*, 32(7), 1734-1741.
- Lertwitayaprasit, Y., Matuana, L. M., & Pillai, K. M. (2005). Weatherability and mechanical property deterioration of wood–plastic composites exposed to natural weathering. *Polymer Degradation and Stability*, 88(1), 234-242.
- Li, Y., Mai, Y. W., & Ye, L. (2000). Sisal fibre and its composites: a review of recent developments. *Composites Science and Technology*, 60(11), 2037-2055.
- Lomeli-Ramírez, M. G., Ponce-Muñoz, M. L., Vega-Baudrit, J. R., & Canché-Escamilla, G. (2014). Effect of fiber treatment on the mechanical properties of ramie fiber-polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 131(19)
- Lu, J. Z., & Drzal, L. T. (2010). Multiscale control of interfaces in natural fiber composites. *Composites Science and Technology*, 70(16), 2223-2236
- Mahdavi, S., & Clouston, P. (2010). Durability of kenaf and hybrid fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 24(12), 2661-2669.
- Matos, F. V., Yamashita, F., & Rocco Lahr, F. A. (2011). Hybrid composites made of thermosetting polymer, sisal fibers and sisal roving. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 30(2), 167-178.
- Montazeri, A., Kadivar, M., Tavakkolizadeh, M., & Hejazi, I. (2013). Effects of alkaline treatment and fiber loading on mechanical properties of bagasse/polypropylene composites. *Fibers and Polymers*, 14(4), 603-609.
- Mouritz, A. P., & Cox, B. N. (2001). Review of structural sandwich composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 32(8), 1015-1037.

- Mouritz, A. P., Gellert, E., & Burchill, P. (2001). Mechanical properties of carbon-glass hybrid composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 32(11), 1605-1613.
- Mukherjee, A., & Khan, M. A. (2010). Comparative mechanical and thermal characterization of jute fiber reinforced epoxy composites with glass and carbon fiber composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(22), 3304-3312.
- Mwaikambo, L. Y., & Ansell, M. P. (2002). Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization. *Journal of Applied Polymer Science*, 84(12), 2222-2234.
- Najafi, S. K., Abdul Khalil, H. P. S., & Adnan, S. B. R. (2011). Mechanical properties of pineapple leaf fiber-reinforced polypropylene composites. *BioResources*, 6(2), 2134-2145.
- Naveenkumar, R., Sekaran, G., Ravirajan, A., & Sathishkumar, T. (2015). Evaluation of mechanical and morphological properties of banana-sisal-glass hybrid composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 34(11), 901-912.
- Ng, H. M., Salmah, H., Ismail, H., & Abdullah, I. (2006). Effect of acetylation and MAPE modification of fibres on properties of kenaf fibre–polypropylene composites. *Polymer International*, 55(2), 199-206.
- Nishino, T., & Saito, T. (2004). Dispersion of single fibers and their mechanical properties in a biodegradable green composite: influence of fiber surface-treatment. *Journal of Materials Science*, 39(25), 7775-7777.
- Nishino, T., Takano, K., Chida, K., & Nakamae, K. (2004). Characterization of surface-modified bacterial cellulose nanofiber-reinforced polylactic acid composites. *Composite Interfaces*, 11(7), 571-583.