



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

Aprovechamiento de residuo agroindustrial (Expeller de linaza) para obtener productos biodegradables con el 10% de fibra

Trabajo de integración curricular previo a la obtención del título de:

INGENIERA INDUSTRIAL

Autora: Sarango Correa, Lizeth Marivel

Director: Inga Lafebre, Jorge Daniel

LOJA

2025



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NC-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2025

Aprobación del director del Trabajo de Integración Curricular

Loja, 10 de marzo de 2025

Magíster

Oswaldo Rafael Tandazo Tandazo

Director de la carrera de Ingeniería Industrial

Ciudad.-

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Integración Curricular denominado: Aprovechamiento de residuo agroindustrial (Expeller de Linaza) para obtener productos biodegradables con el 10% de fibra, realizado por Lizeth Marivel Sarango Correa ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la Universidad, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

Director: Ph.D. Jorge Daniel Inga Lafebre

C.I.: 1104336704

Correo electrónico: jdinga@utpl.edu.ec

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, Lizeth Marivel Sarango Correa, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente:

Ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: Aprovechamiento de residuo agroindustrial (Expeller de Linaza) para obtener productos biodegradables con el 10% de fibra, de la carrera de Ingeniería Industrial, específicamente de los contenidos comprendidos en: Introducción, Capítulo uno Marco Teórico, Capítulo dos Metodología, Capítulo tres Análisis e Interpretación de resultados, Conclusiones y Recomendaciones, siendo PhD. Jorge Daniel Inga Lafebre, director del presente trabajo; también declaro que la presente investigación no vulnera derechos de terceros ni utiliza fraudulentamente obras preexistentes. Además, ratifico que las ideas, criterios, opiniones, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad. Eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones judiciales o administrativas, en relación a la propiedad intelectual de este trabajo.

Que la presente obra, producto de mis actividades académicas y de investigación, forma parte del patrimonio de la Universidad Técnica Particular de Loja, de conformidad con el artículo 20, literal j), de la Ley Orgánica de Educación Superior; y, artículo 91 del Estatuto Orgánico de la UTPL, que establece: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad", en tal virtud, cedo a favor de la Universidad Técnica Particular de Loja la titularidad de los derechos patrimoniales que me corresponden en calidad de autor/a, de forma incondicional, completa, exclusiva y por todo el tiempo de su vigencia.

La Universidad Técnica Particular de Loja queda facultada para ingresar el presente trabajo al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública, en cumplimiento del artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

.....

Autora: Lizeth Marivel Sarango Correa

C.I.: 1150567517

Correo electrónico: imsarango11@utpl.edu.ec

Dedicatoria

A Dios, mi roca inquebrantable que con sabiduría divina me sostuvo cuando mis fuerzas flaqueaban y me llevo de la mano a través de los valles más oscuros al resplandor de la luz. A él, aquel que conoce cada uno de mis deseos, miedos y esperanzas, por permitirme recorrer este camino y darme la fuerza de empujón para avanzar cuando todo parecía derrumbarse. Eres toda mi señal de escape, sin tu presencia nada de esto sería posible.

A mis padres mis eternos héroes, su amor es el legado más grande que recibí. A mi madre cuyo sacrificio y amor incondicional me enseñaron que la verdadera valentía se demuestra en los hechos y no en las palabras. Ha sido mi bastón de luz en los momentos más oscuros y su amor ha sido mi fuerza y mi consuelo en cada paso que he dado. A mi padre, un inacabable modelo de perseverancia conmigo, gracias por mostrarme que los sueños son infinitos y que el éxito verdadero radica en el esfuerzo, la dedicación y el amor que se pone en su consecución.

A mis tíos, guardianes de mi bienestar y mis sueños quienes con su amor callado pero constante han estado siempre allí sosteniéndome cuando lo he necesitado, festejando cada pequeño avance y asegurándome siempre de que estoy acompañada. Mis abuelos porque su sabiduría fue infinita y su vida fue el acto más monumental de fuerza, sus lecciones han sido marcadas en lo más profundo de mi corazón, por enseñarme que la familia es lo más sagrado y que nuestras raíces siempre deben estar erguidas. Este logro no es mío, también es de todos ustedes, con cada palabra escrita y con cada atardecer dormido, llevan un pedazo de mi corazón. Esto apenas toca la inmensa gratitud que siento por el amor, sacrificio y apoyo incondicional que me han ofrecido.

Nunca podre compensar lo que han hecho, pero llevare todo lo que he aprendido de ustedes, espero poder devolverles todo lo que me han entregado. A ustedes mis pilares les dedico este logro con todo el amor y la gratitud que pueda existir.

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios por guiarme y darme la fortaleza necesaria para afrontar cada desafío en este camino académico. Su luz ha sido mi inspiración constante y mi refugio en los momentos de incertidumbre.

A mis padres quienes han sido mi pilar fundamental, su amor, apoyo incondicional y sacrificios me han permitido llegar hasta aquí. Gracias por siempre creer en mí y por brindarme las oportunidades necesarias para perseguir mis sueños, siendo un ejemplo de perseverancia y dedicación en mi vida.

A la Universidad Técnica particular de Loja, por proporcionarme un entorno de aprendizaje enriquecedor y por formar profesionales comprometidos con la sociedad. Cada experiencia, cada lección e instante compartido con mis compañeros ha sido invaluable en mi desarrollo personal y profesional.

Finalmente, quiero agradecer de manera especial a mi tutor de tesis PhD. Jorge Daniel Inga Lafebre, por su orientación, paciencia y dedicación a lo largo de este proceso. Su experiencia, consejos han sido cruciales para el desarrollo de este trabajo y su apoyo constante ha sido una fuente de motivación y confianza en mis capacidades.

Gracias a todos por ser parte de este viaje y por contribuir a mi crecimiento en esta etapa tan importante de mi vida.

Índice de contenido

Carátula.....	I
Aprobación del director del Trabajo de Integración Curricular	II
Declaración de autoría y cesión de derechos	III
Dedicatoria	V
Agradecimiento	VI
Índice de contenido.....	VII
Índice de tablas	IIX
Índice de figuras.....	IIX
Resumen	1
Abstract	2
Introducción	3
Capítulo uno	5
Marco Teórico	5
1.1. Polímeros	5
1.1.1. <i>Origen de los polímeros</i>	5
1.1.2. <i>Clasificación de los polímeros</i>	6
1.1.2.1. Polímeros según su origen.	6
1.1.2.2. Polímeros según su estructura.	7
1.1.2.3. Polímeros según su comportamiento termo - mecánica.	8
1.1.2.4. Polietileno de alta densidad.	9
1.1.2.4.1. <i>Propiedades del polietileno de alta densidad</i>	10
1.1.2.4.2. <i>Tiempo de subsistencia del PEAD</i>	11
1.1.3. <i>Propiedades de los polímeros</i>	12
1.1.3.1. Propiedades mecánicas.	13
1.1.4. <i>Biocompositos</i>	14
1.1.5. <i>Métodos de procesamientos</i>	15
1.1.5.1. Extrusión.....	16
1.1.5.2. Inyección.....	16
1.1.5.3. Comprensión.	17
1.1.5.4. Soplado.....	17
1.2. Materiales compuestos.....	17
1.2.1. <i>Componentes de materiales compuestos</i>	18
1.2.2. <i>Tipos de material compuesto</i>	18
1.2.2.1. Matriz Metálica.	18
1.2.2.2. Matriz cerámica.....	18

1.2.2.3. Matriz polimérica.....	19
1.2.3. <i>Propiedades de los materiales compuestos</i>	20
1.2.3.1. Propiedades mecánicas.....	20
1.2.3.2. Propiedades térmicas.....	20
1.3. Fibras naturales.....	20
1.3.1. <i>Fibra natural de linaza</i>	21
1.3.1.1. Origen y producción de la linaza.....	21
1.3.1.2. Propiedades y composición de la fibra de linaza.....	22
1.3.1.3. Obtención del expeller de linaza.....	22
1.3.2. <i>Clasificación de las fibras naturales</i>	23
1.3.2.1. Fibras naturales.....	23
1.3.2.2. Fibras de origen animal.....	24
1.3.2.3. Fibra mineral.....	24
1.3.3. <i>Propiedades de las fibras naturales</i>	25
1.3.4. <i>Tratamientos químicos</i>	25
1.3.4.1. Ácido acético.....	25
1.3.4.2. Aplicación del ácido acético en el tratamiento de fibras.....	26
Capítulo dos.....	28
Metodología.....	28
2.1. Tipo de investigación.....	28
2.1.1. <i>Investigación experimental</i>	28
2.2. Método experimental.....	28
2.2.1. <i>Tratamiento de polímero</i>	28
2.2.2. <i>Preparación de la fibra de linaza para el tratamiento</i>	29
2.2.2.1. Obtención de la fibra.....	29
2.2.2.2. Molienda de la fibra.....	30
2.2.2.3. Tamizado de la fibra de linaza.....	31
2.2.3. <i>Tratamiento Químico de la fibra de linaza</i>	32
2.2.3.1. Lavado con ácido acético.....	32
2.2.4. <i>Elaboración del material compuesto</i>	35
2.2.4.1. Extrusión del material fibra- plástico.....	35
2.2.4.2. Trituración del material compuesto.....	36
2.2.4.3. Termo prensado del material compuesto.....	37
2.2.4.4. Elaboración de probetas para ensayos de compresión.....	40
2.2.5. <i>Ensayo de flexión</i>	40
2.2.6. <i>Ensayo de tracción</i>	42
2.2.7. <i>Ensayo de compresión</i>	44

Capítulo tres	46
Resultados	46
3.1. Ensayo de flexión.....	46
3.2. Ensayo de tracción	51
3.3. Ensayo de compresión	56
Conclusiones	61
Recomendaciones.....	62
Referencias	63

Índice de tablas

Tabla 1 Propiedades generales del HDPE.....	10
Tabla 2 Puntualizaciones de las propiedades del HDPE	11
Tabla 3 Propiedades mecánicas de polímeros.....	13
Tabla 4 Composición química de la fibra de linaza	22
Tabla 5 Propiedades de las fibras naturales.....	25
Tabla 6 Datos de anchura y espesor de las probetas del material compuesto, ensayo de flexión .	41
Tabla 7 Medidas de anchura y espesor de las probetas del material compuesto.....	42
Tabla 8 Medidas de la altura y diámetro de las probetas del material compuesto fibra de linaza- HDPE	45
Tabla 9 Resultados del material compuesto fibra sin tratar- HDPE	46
Tabla 10 Resultados del material compuesto fibra de linaza- HDPE	47
Tabla 11 Resultados ensayo de tracción del material compuesto 10% fibra de linaza- 90% HDPE	51
Tabla 12 Resultados del ensayo de tracción del material compuesto 10% fibra de linaza tratada- 90% HDPE	53
Tabla 13 Resultados del ensayo de compresión del material compuesto 10% fibra de linaza sin tratar- 90% HDPE	57
Tabla 14 Resultados del ensayo de compresión del material compuesto 10% fibra de linaza tratada- 90% HDPE	58

Índice de figuras

Figura 1 Curva esfuerzo- deformación de un plástico	14
Figura 2 Proceso de triturado del HDPE mediante un molino	29
Figura 3 Proceso de obtención de expeller de linaza	30
Figura 4 Proceso de molienda de la fibra de Linaza	31
Figura 5 Tamizaje de la fibra de Linaza	32
Figura 6 Tratamiento de la fibra- ácido acético	33
Figura 7 Fibra tratada	34
Figura 8 Fibra sin humedad	35

Figura 9 Proceso de extrusión HDPE- fibra	36
Figura 10 Proceso de triturado del material compuesto	37
Figura 11 Ingreso del material a la termo prensa	38
Figura 12 Desfogue del material compuesto	39
Figura 13 Laminas del material compuesto fibra- HDPE	39
Figura 14 Probetas elaboradas de material compuesto	40
Figura 15 Ensayo de Flexión.....	42
Figura 16 Ensayo de tracción	43
Figura 17 Proceso de torneado de las probetas.....	44
Figura 18 Colocación de la probeta en el equipo de ensayos.....	45
Figura 19 Máximo esfuerzo- deformación del material compuesto fibra sin tratar y polietileno de alta densidad	47
Figura 20 Máximo esfuerzo- deformación del material compuesto	48
Figura 21 Gráfico- Módulo Elástico de la composición 10% de fibra sin tratar y tratada.....	49
Figura 22 Gráfico- Esfuerzo Máximo de la composición 10% de fibra sin tratar y tratada.....	50
Figura 23 Gráfico- Deformación Máxima de la composición 10% de fibra sin tratar y tratada con HDPE	51
Figura 24 Gráfico de Esfuerzo (MPa) - Deformación (%) del material compuesto con 10% de fibra sin tratar - HDPE.....	52
Figura 25 Gráfico de Esfuerzo - Deformación del material compuesto con 10% de fibra tratada - HDPE.....	54
Figura 26 Gráfico- Módulo Elástico del material compuesto con 10% de fibra tratada y sin tratar - HDPE	55
Figura 27 Gráfico- Esfuerzo Máximo del material compuesto con 10% de fibra tratada y sin tratar – HDPE	55
Figura 28 Gráfico- Deformación Máxima del material compuesto con 10% de fibra tratada y sin tratar – HDPE	56
Figura 29 Gráfico- Esfuerzo-Deformación del material compuesto con 10% de fibra – 90% HDPE	57
Figura 30 Gráfico- Esfuerzo-Deformación del material compuesto con 10% de fibra tratada– 90% HDPE	58
Figura 31 Gráfico- Módulo Elástico del material compuesto con 10% de fibra tratada y sin tratar – 90% HDPE	59
Figura 32 Gráfico- Esfuerzo Máximo del material compuesto con 10% de fibra tratada y sin tratar – 90% HDPE.....	60

Resumen

En el presente estudio se desarrolló un material compuesto biodegradable que contiene el 10% de expeller o harina de linaza y una matriz polimérica reciclable de polietileno de alta densidad (HDPE), como alternativa sostenible para aplicaciones industriales. Para mejorar la interacción entre la fibra y la matriz se empleó un tratamiento químico con ácido acético. Con la finalidad de analizar la compatibilidad material compuesto y evaluar sus propiedades mecánicas, se realizó diferentes ensayos mecánicos de los que se destacan el ensayo de flexión, tracción y compresión.

De acuerdo con los resultados obtenidos se demostró que el material tratado químicamente con un 15% de ácido acético presentó una mayor rigidez, resistencia y ductilidad. Por lo que en el ensayo de flexión se logró un aumento significativo en su módulo elástico del 41% y en el ensayo de tracción se obtuvo un aumento del esfuerzo máximo en 14%, en comparación con el material que no fue expuesto a un tratamiento químico. Estos resultados demuestran que la adhesión del residuo de linaza mejoró de manera positiva las propiedades mecánicas del material compuesto.

Palabras clave: Fibra de linaza, HDPE, Ácido acético, Material compuesto.

Abstract

In the present study, a biodegradable composite material containing 10% expeller or flaxseed meal and a recyclable polymeric matrix of high-density polyethylene (HDPE) was developed as a sustainable alternative for industrial applications. To improve the interaction between the fiber and the matrix, a chemical treatment with acetic acid was used. In order to analyze the compatibility of composite material and evaluate its mechanical properties, different mechanical tests were carried out, of which the flexion, tensile and compression test stand out.

According to the results obtained, it was shown that the material chemically treated with 15% acetic acid presented greater rigidity, resistance and ductility. Therefore, in the bending test, a significant increase in its elastic modulus of 41% was achieved and in the tensile test, an increase in maximum stress of 14% was obtained, compared to the material that was not exposed to a chemical treatment. These results show that the adhesion of the flaxseed residue positively improved the mechanical properties of the composite material.

Keywords: Flaxseed fiber, HDPE, Acetic acid, Composite material.

Introducción

En los últimos años el uso de productos naturales e industriales desempeñan un papel esencial en nuestra vida diaria. Sin embargo, su elaboración y consumo masivo ha generado un incremento en la acumulación de residuos, principalmente en aquellos que nos son biodegradables.

En este escenario la contaminación plástica se ha consolidado como una de las principales amenazas para el equilibrio de los ecosistemas. No obstante, su capacidad no biodegradable representa un problema crítico, poniendo en riesgo la vida marina, terrestre y humana generando graves consecuencias para la salud. Además, los desechos agroindustriales se suman a la contaminación ambiental si no se gestionan adecuadamente, pero debido a su naturaleza biodegradable y renovable los convierte en una alternativa sostenible.

Según Solís (2018), en su estudio menciona que un 64% de torta o residuo de bajo valor es obtenido después de la extracción de aceite de linaza. Por otra parte, en Ecuador en el sector agroindustrial se genera más de 2200 millones de kg de residuos al año, de los cuales una gran porción significativa no es aprovechada o reutilizada y son eliminados de manera inadecuada, generando impactos negativos en el ecosistema. Debido a su composición rica en lignina y almidón presentan un gran potencial de aprovechamiento para la elaboración de bioplásticos y alimentos para animales, el cual constituyen una valiosa alternativa para impulsar el desarrollo económico y ambiental (Riera et al., 2019).

En el informe PNUMA emitido por parte de la ONU, señala que el plástico representa alrededor del 85% de los desechos que terminan en el mar y que esta cantidad para el año 2040 aumentara casi tres veces más alcanzando los 50 kg de plástico a nivel global. Por otra parte, se estima que los plásticos ascenderán al 15 % aproximadamente del presupuesto global de carbono (Jensen, 2021).

Pese a los impactos ambientales negativos que trae el uso de plásticos, muchos de ellos son aplicados para elaborar productos con un menor costo, como es el caso del HDPE que, debido a sus propiedades mecánicas, puede combinarse con otros materiales para

formar materiales compuestos con propiedades mucho más reforzadas (R. Mujal et al., 2011). Es por ello, que en la actualidad se busca optimizar este tipo de materiales, elaborando compuestos con base en fibras naturales, debido a su biodegradabilidad, bajo costo y menor impacto ambiental (Tapia et al., 2006).

La adhesión por medio del moldeo por compresión del HDPE y el expeller de linaza es un proceso en el que consiste una adecuada mezcla de un refuerzo (fibra) y una matriz (HDPE), para el desarrollo de este proceso es necesario emplear un método químico que nos permita una fluctuación en la fibra de linaza con el objetivo de mejorar la unión con el HDPE.

Para alcanzar este trabajo, se ha propuesto como objetivo general evaluar el uso de residuo agroindustrial (Expeller de linaza) como materia prima para la producción de productos biodegradables, mediante la aplicación de procesos y tecnologías adecuadas para su transformación, y como objetivos específicos identificar un proceso para la obtención de la fibra, elaborar el material compuesto mediante moldeo por extrusión y compresión y como ultimo evaluar sus propiedades mediante ensayos de tracción, flexión y compresión.

Así mismo, el presente trabajo se subdivide en tres capítulos esenciales, en el capítulo 1 se plasma la parte teórica donde se describe conceptos, características, propiedades mecánicas, métodos, clasificación y estructura de los materiales compuestos. Además, en el capítulo 2, se representa la metodología que se desarrolló durante esta investigación la misma que refleja el tratamiento del HDPE, obtención y método químico de la fibra de linaza y el desarrollo del material compuesto. Posteriormente, en el capítulo 3 se presenta los resultados de las pruebas mecánicas de compresión, tracción y flexión, en el cual se estudia su modulo elástico, deformación del material y su máximo esfuerzo del material tratado químicamente en comparación con el material sin tratamiento.

La importancia de esta investigación radica en que se puede producir productos más ecológicos que sirvan a la sociedad y por otro lado ayuda al medio ambiente, mediante el aprovechamiento de residuos plásticos y agroindustriales.

Capítulo uno

Marco Teórico

1.1. Polímeros

Los polímeros están unidos por miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros, que se encuentran unidas mediante enlaces covalente de carbono. La asociación de los átomos permite la formación de grandes moléculas, lo que confiere enormes cadenas de polímeros (López et al., 2016). Su estructura consta de dos categorías que son físicas y químicas, la conformidad de los átomos permite la formación de la cadena principal, mediante los procesos de condensación o adición (Beltrán, 2012). Además, les confiere propiedades como flexibilidad, rigidez, durabilidad, dureza, resistencia, elasticidad, entre otras (Gustavo, 1983). La capacidad de transformar su estructura permite el desarrollo de una extensa escala de propiedades de los hace idóneos para para satisfacer las necesidades en distintas aplicaciones.

La presencia de los polímeros es omnipresente en nuestra vida cotidiana, desde la lana, seda, hule, ADN, proteínas, platos, vasos, bolsas, etc. El avance tecnológico ha permitido el desarrollo de los polímeros, lo que ha conllevado a ser empleado para la elaboración de diversos productos, desde implementos médicos, materiales aislantes, electrónicos, textiles, materiales de ingeniería, e inclusive en la producción de neumáticos (Cornejo, s.f.).

A medida que se profundiza en el comportamiento, estructura y propiedades de los polímeros, la frecuente evolución abre nuevas puertas y estudio para el desarrollo de materiales innovadores con características más específicas y concretas para satisfacer las necesidades de la humanidad. Sin embargo, se presentan diversos retos en la complejidad de su comportamiento en acción de su estructura, por lo que los investigadores llevan a cabo estudios de quima, física, ingeniería (Mijangos, 2020).

1.1.1. Origen de los polímeros

Los polímeros han sido parte de nuestra vida cotidiana desde el inicio de la humanidad, con el avance tecnológico en el siglo XIX se logró los primeros materiales que

contenían una alta concentración de viscosidad, estableciendo películas con excelentes propiedades físicas, que podían llegar a remplazar a otros materiales como la madera, el hierro, etc (Salgado-Chavarría & Palacios-Alquisira, 2021).

Los polímeros a lo largo del tiempo han sido un hito en la historia ya que ha sido utilizado desde cientos de años por nuestros ancestros que hacían uso de plásticos naturales como el ámbar, cacho, caparazón de tortuga. A partir del siglo XVIII, la evolución del plástico fue remotamente avanzando, en 1907 Leo Hendrik Baekeland elabora la primera resina conocida como bakelita que poseía propiedades más resistentes que los anteriores descubrimientos, en el siglo XX se descubrió el caucho sintético, con capacidad de ser moldeado con calor. Poco después los plásticos procedentes del petróleo lograron generar una producción en masa (Montero, 2018).

Con el descubrimiento de la primera fibra sintética (Nylon) se abrió la oportunidad para emplear el plástico en diversos campos, posteriormente la llegada del teflón y el polipropileno impulso nuevos avances tecnológicos para la creación de diferentes materiales. Hoy en día la aplicación de polímeros es inevitable ya que se ha logrado posicionar en diferentes ámbitos de la industria, remplazando otras materias especialmente a la madera, cerámica, metales, por lo que el empleo de este material ha logrado crecer de manera significativa (López-Carrasquero, 2014).

1.1.2. Clasificación de los polímeros

Los polímeros o macromoléculas se pueden clasificar de diversas maneras, se subdividen por su origen, estructura y comportamiento al ser sometidos al calor.

1.1.2.1. Polímeros según su origen. En cambio, los polímeros según su origen poseen dos subdivisiones:

- **Naturales**

Los polímeros naturales son todos aquellos que provienen de la naturaleza como las plantas, por ejemplo, el almidón, celulosa, proteínas, algodón, seda, que son originados por pequeños organismos presentes en el ambiente, por este tipo de polímeros tienden a degradarse con mayor facilidad, por otra parte, existen plásticos de origen natural no

renovable que se producen mediante fuentes fósiles como el petróleo, ámbar, gas natural entre otros (Cianciosi, 2014).

- **Sintéticos**

La elaboración de los polímeros sintéticos se obtiene por síntesis químicas con múltiples métodos que son empleados en laboratorios. Asimismo, los semisintéticos se logra por la purificación de polímeros naturales, otorgándoles propiedades como flexibilidad, dureza, elongación y resistencia (Cianciosi, 2014).

Al ser sometidos al calor logran una textura blanda y moldeable, gran parte de los polímeros sintéticos a nivel industrial se aprovecha mediante polimerización por adhesión, policondensación (Canongia, 2009). Cabe recalcar que gracias al grupo de plásticos sintéticos se puede lograr diferentes polímeros como PVC, poliestireno, polimetacrilato de metilo, siliconas y nylon. La mayor parte de los elementos son fabricados por este tipo de material, debido a su facilidad de ser moldeado (Sanchez et al., 2024).

1.1.2.2. Polímeros según su estructura. Por su parte, los polímeros según su naturaleza, poseen 3 subdivisiones:

- **Lineales**

Las cadenas moleculares de estos polímeros se forman a partir de la unión de átomos, en un mismo sentido, es decir se encuentran en una misma dirección de modo que no presentan ramificaciones (Cianciosi, 2014).

- **Ramificado**

Presentan ramificaciones o pequeñas cadenas que se unen a la cadena principal del polímero, la presencia de las mismas permite el desprendimiento de enlaces adyacentes disminuyendo el punto de fusión, de tracción y rigidez del polímero (Newell, 2013).

- **Entrecruzados o reticulados**

Presentan una estructura tridimensional, es decir, la unión de moléculas vecinas, su distribución forma una cadena en zigzag por lo que son mucho más rígidos y elásticos que el resto de otros materiales (Rivera, 2020).

1.1.2.3. Polímeros según su comportamiento termo - mecánica. El comportamiento de los polímeros juega un papel muy importante en sus propiedades, ya que al ser sometidos al calor pueden ser moldeables con facilidad, es por tal motivo que son utilizados para la elaboración de numerosos artículos.

- **Termoplásticos**

Se caracterizan por presentar una estructura lineal no ramificada. Al ser expuestos al calor toman una consistencia blanda, es decir, líquida otorgándoles maleabilidad, permitiendo crear un sin número de elementos con diferentes formas, estructura que mantienen conforme se enfrían, por el cual son de uso reciclado.

Estos materiales poseen una configuración sindiotáctica y atáctica, el cual se convierten en semicristalinos de uso comercial especialmente son manejados como fibras. El volumen de los polímeros termoplásticos se liga a moléculas de gran tamaño, para que sus cadenas se muevan de un lugar a otro requiere de energía térmica, por lo que al adquirir un alto índice de temperatura sus moléculas tienden a crear redes cristalinas sólidas, adquiriendo una viscosidad en estado líquido, esta característica permite que sean sometidos al calor y frío sin que se deterioren intensamente (Beltrán, 2011).

- **Termorrígidos**

Son materiales que se caracterizan por su resistencia la calor y enfriamiento, deben ser trabajados en una temperatura optima, ya que si adquieren temperaturas elevadas pueden llegar a endurecerse y se transforman en sólidos insolubles, cabe recalcar que si el polímero se recalienta se produce una degradación química llamado pirolisis lo que lo hace imposible de ablandarse (Cuesta, 2014).

Los plásticos termoestables contienen un peso molecular bajo, su polimerización se da por condensación o adhesión, lo que los hace insolubles, con propiedades como elasticidad, baja tenacidad a la fractura, resistencia mecánica, algunos de estos materiales son resinas de epoxi, poliuretano, poliéster (Janices & Katime, 2014).

- **Elastómeros**

También conocidos como cauchos, de acuerdo con su estructura presentan un comportamiento mecánico, se refiere a plásticos mucho más elásticos, al aplicarles fuerza pueden llegar a estirarse el triple que su estado original y recuperar de forma inmediata su postura original. esto ocurre, porque la cadena principal se encuentra enrollada, en otras palabras, al emplear fuerza al polímero se desenrolla por lo que le permite retomar su volumen inicial (Sileoni et al., 2011).

Están conformadas por una base de caucho, lo que permite que se entrelacen creando puentes entre los átomos hasta alcanzar una molécula de un gran tamaño, lo que permite realizar elaboración de productos por el moldeo por inyección, ejemplos de estos materiales son polisopreno, polibutadieno, poliuretanos (Varón et al., 2012).

1.1.2.4. Polietileno de alta densidad. El polietileno de alta densidad es uno de los polímeros más importante en la actualidad. En el año de 1898 Von Pechmann logró un material con una distribución equivalente al que le llamo polimetileno, la obtención se produjo por la acción de diazometano.

En el transcurso del tiempo se analizó un material semejante, el cual presentaba una fórmula $(CH_2)_n$. Con el descubrimiento del polímero Gibson realizó una composición de etileno y benzaldehído. Años más tarde estudios revelaron que su polarización a baja presión daba lugar a un polietileno con alta densidad, por lo que en 1955 se abrió la primera industria en la fabricación de este material (Barboza & Rimapa, 2017).

Felipe et al. (2021) mencionan que el polietileno de alta densidad posee propiedades como la tenacidad, resistencia, rigidez, además de ser un material que tiene una excelente resistencia a agentes químicos, presenta una amplia gama de colores especialmente en tonos transparentes y opacos. Este material ha logrado un desarrollo impresionante en diversas aplicaciones por sus propiedades físicas y químicas, uno de los principales empleos es en la fabricación de adhesivos, bolsas, embalajes para comida, ropa, juguetes. Así mismo, sus propiedades aislantes permiten elaborar plásticos para cobertura de cables, conductores de alta frecuencia, transmisiones submarinas, también su impermeabilidad, resistencia a la

corrosión, no toxicidad, rayos UV, insolubilidad lo hacen idóneo para la fabricación de tuberías, dispositivos de laboratorio, envases, recipientes anticorrosivos, parachoques para vehículos, entre otros.

1.1.2.4.1. Propiedades del polietileno de alta densidad. El polietileno de alta densidad se caracteriza principalmente por ser un polímero termoplástico, gracias a sus propiedades lo convierten en un material versátil y ampliamente utilizado en una extensa gama de aplicaciones por las industrias. Algunas de las propiedades generales de PEAD se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1

Propiedades generales del HDPE

Características	Descripción
Densidad (kg/m ³)	941-970
Grado de cristalinidad, %	60-80
Temperatura fusión, °C	140
MFI, g/10 min	0.01-80
Modulo Elástico, MPA	900
Resistencia a la tracción, MPA	28
Elongación, %	20-120
Dureza, Shore	60-70D
Calor específico, Kcal/kg. °C	0.55
Temperatura de fusión, °C	130-140

Nota. Tomado de Proyecto de pre - factibilidad de instalación de una planta de producción polietileno a partir de etileno (p.9). Barboza & Rimapa, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

En la Tabla 2, se describe las propiedades mecánicas, térmicas, físicas del HDPE; los valores reflejan el comportamiento típico del polímero bajo diversas condiciones. En términos de propiedades mecánicas, la tabla detalla rangos para el módulo de elasticidad y la resistencia, lo que indica como el polietileno de alta densidad reacciona ante deformaciones y tensiones. Así mismo, características físicas que incluyen la absorción del agua, lo que es importante para entender el comportamiento en diferentes entornos. Por último, se enfatizan

propiedades térmicas como niveles de temperaturas que son esenciales para diferentes procesos.

La recopilación de estos datos nos brinda una amplia visión de las capacidades y limitaciones del polietileno de alta densidad, proporcionando una base sólida para su selección y uso en diversas aplicaciones a nivel industrial.

Tabla 2

Puntualizaciones de las propiedades del HDPE

Propiedades	Descripción	Valor
Físicas	Absorción de aguas en 24h	<0,01
	Densidad (g/cm ³)	0,94-0,97
	Índice refractivo	1,54
	Resistencia a la radiación	Aceptable
	Coefficiente de expansión lineal (K ⁻¹)	2x10 ⁻⁶
	Grado de cristalinidad (%)	60-80
	Calor específico (J K ⁻¹ Kg ⁻¹)	1900
Térmicas	Temperatura máxima de utilización (°C)	55-120
	Temperatura de reblandecimiento (°C)	140
	Temperatura de cristalización (°C)	130-135
	Módulo elástico E (N/mm ²)	1000
	Coefficiente de fricción	0,29
Mecánicas	Módulo de tracción (GPa)	0,5-1,2
	Relación de Poisson	0,46
	Elongación de ruptura (%)	12
	Resistencia a tracción (MPa)	15-40
	Esfuerzo de rotura (N/mm ²)	20-30

Nota. Caracterización física de un ligante asfáltico 60/70 modificado con desechos de polietileno de alta densidad (D-PEAD) (p.12-13), por P. Cabezas, 2020, Universidad Santo Tomás.

1.1.2.4.2. Tiempo de subsistencia del PEAD. El reciclaje de los polímeros es uno de los procesos más eficientes e importantes para el cuidado del medio ambiente ya que ayuda a minimizar impactos ambientales como el efecto de invernadero, cambios climáticos bruscos, que son provocados por el uso de estos materiales.

Actualmente los plásticos son reaprovechados con la finalidad de integrarse nuevamente a la cadena productiva (Felipe et al., 2021). El proceso de reciclaje del PEAD se muestra de la siguiente manera:

- **Recolección y clasificación**

La recolección de los polímeros inicia con el traslado de los plásticos desde los centros de reciclaje hasta la planta donde serán tratados previamente, estos objetos pueden ser botellas, envases, juguetes, entre otros, posteriormente son clasificados residuos especiales que esencialmente contienen sustancias tóxicas que requieren un tratamiento específico, subproductos que son utilizados que son más utilizados por la humanidad (Castells, 2000).

- **Limpieza y trituración**

Los polímeros una vez clasificados son llevados a ser desinfectados para eliminar todo tipo de impurezas que estén adheridas a los plásticos, este proceso es de vital importancia ya que permite que sustancias como polvo, químicos, grasas puedan ser suprimidas por completo del plástico, garantizando la calidad del mismo. Consecutivamente, se realiza el proceso de triturado del plástico, donde es sometido a una máquina que contiene cuchillas que triturarán el polímero en pequeños fragmentos. Un punto muy importante a tomar en cuenta es el espesor del PEAD, ya que de esto dependerá la cantidad de material molido (Campana, 2011).

- **Extrusión**

El PEAD es fundido a altas temperaturas, para ser moldeado por una máquina extrusora que pasa a través de un tornillo sin fin el cual el plástico irá tomando forma a nuevos productos como láminas, tuberías, mangueras, que posteriormente serán distribuidas para su comercialización (Zambrano, 2023).

1.1.3. Propiedades de los polímeros

Los polímeros, poseen propiedades como la flexibilidad, resistencia, durabilidad y ligereza, estas propiedades varían extraordinariamente dependiendo de su estructura molecular por ejemplo como el polietileno presenta alta resistencia y versatilidad. La amplia gama de propiedades de los polímeros les permite ser empleados desde envases, textiles,

componentes electrónicos hasta dispositivos médicos. Los plásticos presentan algunas propiedades comunes entre ellos como se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 3

Propiedades mecánicas de polímeros

Polímeros	Propiedades de tracción em rotura			Fuerza compresiva	Fuerza de flexión	Fuerza de impacto (N/cm)
	Fortaleza (MPa)	Modulo (MPa)	Elongación (%)			
Poliétileno de baja densidad	8.3- 31	172- 283	100- 650	-	-	-
Poliétileno de alta densidad	22- 31	1,070- 1,090	10- 1,200	20- 25	-	0.23- 2.3
Polipropileno	31- 41	1,170- 1,720	100- 600	38- 55	41- 55	0.23- 0.57
Poli (cloruro de vinilo)	41- 52	2,410- 4,140	40- 80	55- 90	69- 110	0.23- 1.3
Poliestireno	36- 52	2,280- 3,280	1.2- 2.5	83- 90	69- 101	0.20- 0.26
Poli (metacrilato de metilo)	48- 76	2,240- 3,240	2- 10	72- 124	72- 131	0.17- 0.34
Poli (tetrafluoruro de etileno)	14- 34	400- 552	200- 400	12	-	1.7
Náilon 66	76- 83	-	60- 300	103	42- 117	0.46- 1.2
Poli (tereftalato de etileno)	48- 72	2,760- 4,140	50- 300	76- 103	96- 124	0.14- 0.37
Policarbonato	66	2,380	110	86	93	9.1

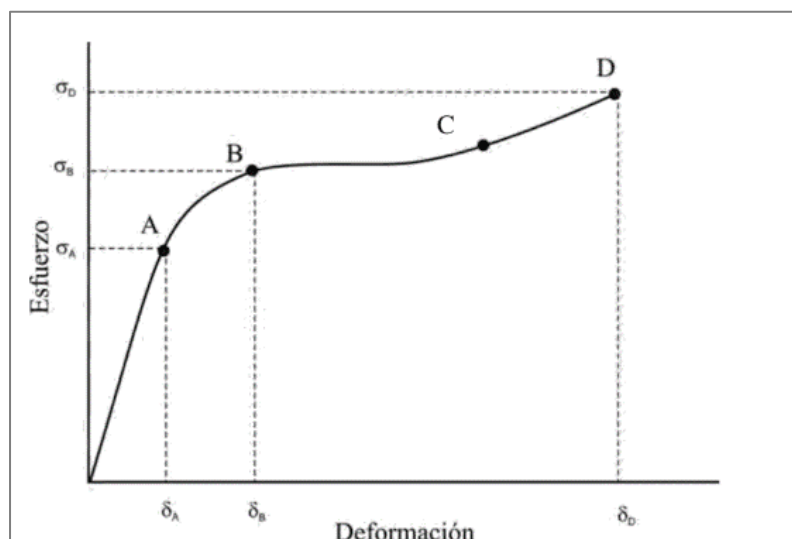
Nota. Principios de diseño y síntesis de polímeros (p. 80), por Su, Wf, 2013, Berlín, Heidelberg: Springer Berlín Heidelberg.

1.1.3.1. Propiedades mecánicas. Las propiedades mecánicas de los plásticos permiten determinar su idoneidad en diversas aplicaciones. Estas dependen de la estructura, composición, como la resistencia a la tracción, dureza, elasticidad, resistencia al impacto.

Para su terminación se aplica ensayos de fluencia y relajación de esfuerzos, que consiste en emplear una carga o deformación fija para determinar la imperfección en función del tiempo.

Figura 1

Curva esfuerzo- deformación de un plástico



Nota. Tecnología de los polímeros procesado y propiedades (p. 49), por M. Beltrán & A. Marcilla, 2012, Publicaciones Universidad de Alicante.

De acuerdo con la Figura 1, podemos observar que presenta una anomalía a partir del punto B, es decir, los átomos se desplazan de un lugar a otro por lo que es imposible regresar a su posición inicial, convirtiéndose en un polímero sólido. En el punto D ocurre el fenómeno de resistencia a la rotura. Es por ello que la estructura molecular y sus cadenas poliméricas influyen significativamente en el comportamiento mecánico (Beltrán, 2012).

1.1.4. Biocompositos

Los biocompuestos son materiales que están formados por matrices poliméricas derivadas de materia prima renovable, es decir de fibras orgánicas o reforzamiento de origen biológico (Díaz et al., 2022). Según Barrios et al. (2015) un biocompositos está formado por una combinación del 5% de fibra y el 30% de polímero, constituyendo un material que contiene agregados biológicos son considerados totalmente biodegradables.

Hoy en día la fabricación de polímeros biodegradables ha tenido un alto crecimiento, aproximadamente 214.400 toneladas de biocompositos son producidas a nivel global, manteniendo una tasa de crecimiento del 18% al año. Estos polímeros son utilizados en una variedad de diversos sectores, por ejemplo, en empaquetados, prótesis, industrias textiles,

entre otros. Los plásticos biodegradables representan una opción más amigable con el medio ambiente en comparación con otros materiales, el cual ayuda a mitigar la acumulación de residuos. Por otra parte, el avance tecnológico ha sido uno de los factores importantes para creación de estos (Ponce & Guerrero, 2014).

En su estudio Navia y Bejarano (2014) mencionan que el almidón y el ácido poli láctico son materias primas más empleadas para la elaboración de materiales biodegradables. Las técnicas utilizadas para la fabricación de estos polímeros son compresión, extrusión. En su publicación, se han creado materiales semirrígidos a partir de harina de yuca, mezclada con fibra de finque y glicerol mediante la técnica de compresión, logrando resultados exitosos en cuanto a funcionalidad mecánica. Para el mejoramiento de algunas propiedades de los bioplásticos, transformados con harina de yuca, es ineludible modificar su proceso y materias primas.

Así mismo, Díaz et al. (2022) desarrolló un biocomposito a base de bagazo de caña y arroz, el tratamiento empleado presentó una gran resistencia a la tracción, al contar con fibras de menor tamaño se logró una mayor compresión del material, en las pruebas realizadas del polímero mostró un comportamiento de resistencia a la tracción inferior a algunos plásticos comunes. Sin embargo, resaltó significativamente a otros plásticos expansibles como el polipropileno, polietileno; lo que lo hace que el biocompuestos sea una iniciativa ecológica prometedora en numerosos ámbitos de la industria.

Los biocompositos ofrecen una alternativa favorable a los plásticos convencionales, su principal objetivo es ser un material biodegradable, menos costo, con una menor densidad, al contar con un refuerzo mejora sus propiedades de manera radical, asimismo, cabe recalcar que el tamaño y proporción y el tipo de fibra depende para que el polímero logre excelentes propiedades mecánicas (Pariona, 2020).

1.1.5. Métodos de procesamientos

Los diferentes métodos de procesamiento de los plásticos son técnicas fundamentales que permiten transformarlos en materiales útiles y versátiles. Entre los métodos más comunes

se encuentran el de moldeo por soplado, extracción, inyección, comprensión. Estas metodologías permiten la elaboración de forma eficiente y económica.

1.1.5.1. Extrusión. El proceso de extrusión de los polímeros a nivel industrial es muy versátil, ya que nos permite transformar materiales termoplásticos como el polietileno de alta densidad, polipropileno, en diferentes formas, desde tuberías, películas, perfiles, recubrimientos para cables y piezas complejas. El método consiste en la preparación del polímero ya sea en forma de granulada o polvo, posteriormente se introduce por una tolva que va alimenta a la extrusora, donde el material se solidifica el cual asegura un flujo uniforme durante el proceso.

Mediante un tornillo sin fin, se encarga de empujar el material hacia el interior de la extrusora, conforme el material avanza, se aplica el calor necesario que es generado mediante fricción que son generadas por el propio movimiento del tornillo sin fin, transformado una masa fluida y homogénea. Seguidamente, pasa a la fase de mezclado donde es sometida a un cizallamiento en cual ayudara a evitar la entrada de aire y que se creen oleadas, una vez tomada la forma del producto pasa a un sistema de enfriamiento, que va a solidificar la pieza donde se puede utilizar aire o agua fría (Artiaga et al., 2012).

1.1.5.2. Inyección. El moldeo por inyección es un método de fabricación destacado a nivel industrial para la creación de objetos que requieren una alta precisión y calidad. Su proceso involucra fundir el plástico, inyectarlo a presión en un molde y ser enfriado. Cabe recalcar que para este mecanismo se debe considerar factores importantes del material como cristalinidad, peso molecular, configuración química, distribución, morfología. Asimismo, la viscosidad debe ser idónea para que el molde sea llenado correctamente, ya que la temperatura, presión y tiempo de enfriamiento pueden llegar a afectar el producto.

Para la fabricación de las piezas el material es preciso que este en forma de gránulos o granza, que se alimenta a un cilindro de calefacción donde se mezclará y fundirá el material. Inmediatamente el plástico se inyecta a alta presión al molde, donde se enfría para su solidificación, para ser desprendida del molde y obtener la pieza final (Beltrán, 2011).

1.1.5.3. Comprensión. Este método es empleado en la industria manufacturera para la creación de piezas de plásticos termoestables. Estos materiales presentan características como endurecerse de forma irrevocable, al momento de aplicarles calor y presión. Entre los polímeros más termoestables se encuentran las resinas, siliconas y poliéster insaturados.

Par el modelado por comprensión se coloca polvo de modelado dentro de un molde precalentado, al ingresar el molde se cierra y el material va tomando la forma deseada, conforme el polímero se ablanda, se debe mantener la presión durante un ciclo largo de tiempo para asegurar el curado completo. Es importante, que el molde contenga respiraderos para la salida de gases o aire durante el proceso (Artiaga et al., 2012).

1.1.5.4. Soplado. Esta técnica es utilizada para la producción de objetos huecos como botellas, bidones, depósitos de aceite. Principalmente se caracteriza por soplar aire hacia una preforma cilíndrica, la pieza debe ser enfriada para ser retirada.

Se debe considerar la velocidad del aire ya que si su velocidad es mayor no permitirá un adecuado soplado, creando un glóbulo entre el molde y la pieza. La facilidad de este proceso le otorga una ventaja significativa en la industria, por la calidad que brinda (Beltrán, 2011).

1.2. Materiales compuestos

Los materiales compuestos están formados por una mezcla de dos o más elementos no solubles, generalmente por un refuerzo (fibra) y una matriz, el conjunto de los dos materiales presentan propiedades superiores a las de sus componentes individuales. El refuerzo por lo general es más rígido, resistente y la matriz en cambio actúa como un aglutinante (Pérez & Sánchez, 2014).

En la actualidad el uso de estos polímeros ha tenido un alto crecimiento, posicionándose entre unos de los mejores puestos en el mercado. Su resistencia, poca densidad, los convierte en una opción atractiva para diversas industrias. Estos polímeros se subdividen según su tipo de refuerzo que pueden ser matriz metálica, cerámica y polimérica (Mazón, 2017).

1.2.1. Componentes de materiales compuestos

Los polímeros compuestos son métodos multifásicos, al integrarse la fibra y la matriz da un lugar a un material innovador que exhibe propiedades mejoradas. Estos materiales tienen componentes principales que son la fibra- matriz, lo cual representa una fase dispersa. Para optimizar la interfaz de estos dos elementos y mejorar sus propiedades se incorpora agentes de acoplamiento, y recubrimientos específicos.

El diseño de estos materiales compuestos los convierte en una elección para satisfacer los requisitos en varias aplicaciones en industrias como la electrónica, automotriz, aeroespacial, entre otras. A lo largo de los años estos materiales han representado significativamente un alto índice de uso debido a sus propiedades (Mazón, 2017).

1.2.2. Tipos de material compuesto

1.2.2.1. Matriz Metálica. Los materiales compuestos de matriz metálica representan una clase avanzada de material diseñados para combinar las propiedades beneficiosas de los materiales con los componentes específicos de otros materiales. Estos compuestos presentan características superiores en términos de resistencia, rigidez, conductividad térmica y capacidad de soportar altas temperaturas. Por otra parte, una matriz metálica se incorpora de materiales de refuerzo, que puede estar hecha de magnesio, aluminio, titanio o aleaciones de estos metales, comúnmente conocidos por su buena conductividad térmica y ligereza. Los refuerzos, por su parte, suelen ser partículas, fibras o whiskers de materiales cerámicos como carburo de silicio, óxido de aluminio, carbono.

Una de las ventajas principales es su alta resistencia, esto los hace ideales para aplicaciones automotrices y aeroespaciales, donde la reducción de peso es crucial. Además, exhiben una excelente resistencia al desgaste y estabilidad térmica, lo que les permite mantener su integridad estructural y funcional en condiciones extremas (Callister, 2019).

1.2.2.2. Matriz cerámica. Estos materiales combinan su matriz cerámica con refuerzos, generalmente estos son en forma de fibras o partículas, mejorando sus propiedades mecánicas.

Ofrecen una alta resistencia, capacidad de tolerar elevadas temperaturas. Los refuerzos que son más utilizados son el carburo de silicio o alúmina, con partículas dispersas.

El refuerzo incorporado en la matriz ayudará a superar una de las principales limitaciones de las cerámicas, su fragilidad. La adición de estos refuerzos crea una estructura absorbente, resistente a los impactos, libre de agrietamientos y la propagación de fracturas. Haciéndolas idóneas para la aplicación en industrias de generación de energía, automotriz, entre otras (Mazón Ortiz, 2017).

1.2.2.3. Matriz polimérica. Las matrices poliméricas son un componente crucial en los materiales compuestos, aportando soporte, transferencia de carga, protección a las fibras y control del comportamiento químico y la durabilidad. Se caracterizan por ser compuestos orgánicos de grandes moléculas, obtenidas mediante polimerización, y se clasifican según su estructura, propiedades mecánicas y térmicas. Su amplia gama de aplicaciones las convierte en materiales esenciales en diversos sectores (Robayo et al., 2021).

Según Callister (2019) y Esteban et al. (2016) los compuestos de matriz polimérica pueden ser termoplásticos o termoestables como el polipropileno, polietileno, PVC, que se ablandan al calentarse y pueden ser moldeados repetidamente. Las matrices como la resina epoxi, poliéster y resina fenólica, al ser sometidas al calor se endurecen de manera irreversible, el cual proporcionan una estructura más rígida y resistente al calor. Por su parte, las fibras pueden ser cortas, largas, continuas, discontinuas, las fibras más utilizadas son de vidrio, carbono y aramida. Por otro lado, los plásticos termoestables experimentan un proceso de reticulación irreversible al ser sometidos a calor, resultando en materiales rígidos y resistentes.

Asimismo, proporcionan una alta resistencia, por lo que son esenciales para ser aplicados en la elaboración de productos como equipos deportivos, cañas de pescar, aeronaves militares, vallas de circuitos, etc. También, presenta una alta resistencia a la corrosión y a productos químicos, los que los hace adecuados para aplicaciones en entornos agresivos (Callister, 2019).

En su investigación Suárez Castañeda et al. (2017) señala que los polímeros reforzados con fibras naturales son sostenibles y biodegradables, de bajo costo, y continen propiedades mecánicas idóneas que las diferencias de los materiales comunes. Por otra parte, pueden mejorar las propiedades del compuesto. Sin embargo, requieren de mayor investigación para optimizar el uso de fibras vegetales en diferentes ámbitos.

1.2.3. Propiedades de los materiales compuestos

Los materiales compuestos están desarrollados por dos o más elementos diferentes, al combinarse proporcionan características únicas que no se obtienen de los materiales tradicionales. Por lo general estos materiales incluyen matrices poliméricas, metálicas, cerámicas, y a su vez refuerzos que pueden ser fibras, partículas o laminas. Asimismo, presentan propiedades esenciales que se mencionan en el siguiente apartado.

1.2.3.1. Propiedades mecánicas. Estos materiales al estar compuestos con refuerzos como fibras y partículas presentan un aumento en su rigidez. El tamaño del refuerzo es indispensable ya que entre más pequeño mejor adherencia se logrará, asimismo la resistencia a la tracción aumentará hasta un 10% beneficiando a su ductilidad (Da Costa et al., 2000).

1.2.3.2. Propiedades térmicas. La conductividad térmica es una de las principales propiedades de los materiales compuestos, su coeficiente de expansión depende de la fase de precipitación de la matriz, como su fracción de volumen y orientación de las fibras (Da Costa et al., 2000).

1.3. Fibras naturales

Las fibras naturales son un recurso renovable y sostenible que se ha utilizado desde tiempos inmemorables en diversas aplicaciones. Estas fibras pueden ser de origen animal, vegetal o mineral y se caracterizan por su estructura fibrosa, su bajo costo y abundancia en la naturaleza (Morales et al., 2019).

Una de las principales fuentes de las fibras naturales son las plantas, las cuales producen fibras celulósicas como el algodón, lino, cáñamo, yute, entre otras. Estas fibras son extraídas de diferentes partes de las plantas como el tallo, hojas o el fruto, y se utilizan en la

fabricación de textiles, materiales compuestos, cuerdas y una amplia gama de productos (Luna & Lizarazo-Marriaga, 2022).

1.3.1. Fibra natural de linaza

La fibra de linaza es de origen vegetal, presenta tejidos vasculares que se encargan de transportar a través de ellas sustancias ya sean orgánicas e inorgánicas. El proceso para extracción de la fibra se da mediante el retirado y peinado de los tallos, separando así las fibras de la corteza (Yaguno, 2024).

Una de las peculiaridades apreciables de la fibra de lino es su excelencia a la resistencia mecánica, particularmente su alta resistencia a la tracción, la hace adecuada para el uso de matrices epoxídicas, la fibra de linaza demuestra una gran capacidad de amortiguación en vibraciones a bajas frecuencias (Tamas-Gavrea et al., 2021).

El proceso de obtención va desde la cosecha de la planta hasta el secado y formación de conos. La extracción requiere tomar los tallos desde la raíz en lugar de ser cortados. Posteriormente, se realiza un peinado rupestre para separar elementos contaminantes y melazas. Además, la fibra de lino presenta un alto contenido de celulosa, pectina, lignina, lo que le otorga ventajas como la resistencia a la corrosión, es por ello que es considerada como un material biodegradable y de renovación biológica (Yaguno, 2024).

1.3.1.1. Origen y producción de la linaza. La linaza es una planta herbácea cuyo nombre científico es *Linum usitatissimum*, sus orígenes se remontan desde la antigüedad. Su cultivo se extendió gradualmente a diferentes regiones. En la actualidad, la linaza se produce en diversas partes del mundo, siendo los principales países productores Canadá, Estados Unidos, India, China. Estas regiones poseen condiciones climáticas ideales para el crecimiento de esta planta, el cual requiere de climas templados y suficiente humedad durante su ciclo de cultivo (Castillo, 2017).

El proceso de producción de la linaza comienza desde el sembrado de la planta, presenta una altura de aproximadamente un metro de altura, desarrollando tallos delgados y hojas estrechas, al llegar el tiempo de su florecimiento se espera un determinado tiempo hasta que sus flores se hayan secado, para proceder con su cosecha (Castillo, 2017).

Las semillas de la planta de lino o comúnmente conocida como linaza pasan por varias etapas de limpieza, secado, clasificación ya sea por su tamaño o calidad de la misma. Estas semillas principalmente son empleadas para la extracción de aceite. Sin embargo, el residuo que resulta de la extracción de aceite, conocido como harina o expeller de linaza, se aprovecha como suplemento alimenticio para humanos y animales debido a su alto contenido de fibra y proteínas (Figuerola et al., 2008). Por otra parte, es una valiosa fuente de fibra, ampliamente utilizada en la industria textil y en la elaboración de materiales compuestos (Aeronáutico et al., 2019).

1.3.1.2. Propiedades y composición de la fibra de linaza. La fibra de la linaza presenta una composición química (Tabla 4) particular que determina sus propiedades y potencial de aplicaciones. Su estructura única, le confiere un carácter biodegradable y renovable.

Tabla 4

Composición química de la fibra de linaza

Parámetros	g/100g
Humedad	8.03
Proteínas	18.55
Cenizas	2.4
Lípidos	46.53
Fibras crudas	8.04
Carbohidratos	13.91
Kcal	336.61

Nota. Propiedades físico- mecánicas del adobe compactado tradicional utilizando compactado tradicional utilizando cactus y fibras de linaza (p. 4), por L. Dávila & E. Mendoza, 2021, Universidad Cesar Vallejo.

1.3.1.3. Obtención del expeller de linaza. El expeller de linaza es un subproducto valioso que se lo consigue durante el proceso de extracción del aceite de la linaza.

Este conserva una gran parte de nutrientes y componentes beneficiosos presentes en la semilla de linaza, como proteínas, fibras antioxidantes y ácidos grasos. Gracias a su valor tradicional, el expeller de linaza se encuentra en diversas aplicaciones en la industria alimentaria (Magro, 2015).

Además, al someter a las semillas de lino a presión mecánica, mediante una prensa que contiene un tornillo sin fin. Las semillas primero pasan por una limpieza exhaustiva para la eliminación de impurezas, posteriormente pasan a ser trituradas para facilitar la extracción del aceite. Una vez introducidas se va a ejercer una presión sobre las semillas. El aceite extraído se recoge y es sometido a un proceso de refinado para mejorar su calidad. Por otra parte, el residuo sólido que resulta de prensado se lo denomina expeller de linaza (Velasco, 2019).

1.3.2. Clasificación de las fibras naturales

Las fibras naturales pueden clasificarse en distintas categorías según su origen y composición. Una de las principales clasificaciones las divide en fibras vegetales, animales y minerales.

1.3.2.1. Fibras naturales. Dentro de las fibras naturales también se encuentran 3 subdivisiones:

- **Algodón**

Desde hace mucho tiempo el algodón ha tenido una importancia económica en la industria textil, lo que ha conllevado a un sin número de investigaciones. El proceso de glucólisis desempeña un papel fundamental para el alargamiento de esta fibra. Por otra parte, esta fibra posee una estructura unicelular (tricomos) que la diferencia de las demás fibras. Además, los estudios indican que el metabolismo lipídico y biosíntesis juegan un papel esencial en la elongación de la fibra (Deaquiz & Moreno, 2016).

Sin embargo, una de las desventajas de la fibra es el alto índice de absorción de humedad, por lo que no es muy utilizada para la elaboración de materiales compuestos (Morales et al., 2019).

- **Lino**

Este tipo de fibra se obtiene a partir del tallo de la planta, una de sus principales ventajas es alta resistencia, rigidez, lo que la convierte en un material idóneo para aplicaciones que requieren ligereza y resistencia como textiles, materiales compuestos (Morales et al., 2019).

Una de las características del lino es la presencia de fibras gelatinosas. Estas fibras desarrollan una alta proporción de polímeros de galactosa entre los polisacáridos no celulósicos, es por ello que se ha realizado diferentes estudios sobre esta fibra, descubriendo hallazgos con información valiosa sobre los mecanismos moleculares y su composición química, lo que la conduce a la producción y aplicaciones a nivel industrial (Deaquiz & Moreno, 2016).

- **Fique**

La fibra de fique presenta una composición compleja, que está conformada por el 63% de celulosa y el 14% de lignina. Una de las características principales de esta fibra es que contiene subfibra huecas las cuales están compuestas de material lignocelulósico, por otra parte, las microfibrillas que posee brindan resistencia a la fibra (Deaquiz & Moreno, 2016).

1.3.2.2. Fibras de origen animal. En cambio, dentro de las fibras de origen animal se puede encontrar la siguiente:

- **Lana**

La lana es una de las fibras naturales más comercializadas en la actualidad. Esta fibra está compuesta principalmente por queratina, además consta de una cubierta externa escamosa que ayuda a repelar el agua y absorbe la humedad. Una de las características es que facilita la retención de agua. Sin embargo, la fibra de la lana es aproximadamente de 15 micras, lo que puede desfibrase en elementos mucho más finos (Copara Llumiquinga & Betancourt Chávez, 2017).

1.3.2.3. Fibra mineral. Por último, dentro de las fibras de origen mineral se encuentra la siguiente:

- **Vidrio**

Este tipo de fibras presentan un panel rígido o semirrígido, es por ello que hoy en día ha logrado posicionarse en el mercado. La composición de estas fibras se da mediante la mezcla de arena, piedra caliza, carbonato de sodio. Una de las ventajas principales es que actúa como un aislante térmico, lo que ha conllevado a ser empleada en diversos ámbitos de la industria, especialmente en el ámbito de construcción (Piña, 2018).

1.3.3. Propiedades de las fibras naturales

Las fibras poseen un conjunto de propiedades que determinan su idoneidad para ser aplicadas en un sin número de aplicaciones. Estas propiedades influyen en el comportamiento de las fibras en diferentes entornos.

Tabla 5

Propiedades de las fibras naturales

Propiedades	Fibras							
	Vidrio	Carbono	Lino	Cáñamo	Yute	Sisal	Abacá	Algodón
Densidad (g/cm ³)	2.55	1.75	1.4	1.48	1.46	1.33	1.5	1.51
Resistencia a la tracción (MPa)	2400	2400-5600	800-1500	550-900	400-800	600-700	400-1300	400
E- modulo (GPa)	73	300-500	60-80	70	10-30	38	45	12
Modulo específico (E/densidad)	29	170-285	26-46	47	7-21	29	30	8
Elongación a rotura (%)	3	0.3-2	1.2-1.6	1.6	1.8	2-3	2.7	3-10
Absorción del agua (%)	-	-	7	8	12	11	8-10	8-25

Nota. Plásticos reforzados con fibras naturales en el sector automotriz (p. 4), por T. Majeswski & A. Btedzki, 2016, Universidad de las Américas Puebla, Departamento de Ingeniería Industria y Mecánica.

1.3.4. Tratamientos químicos

La adhesión de la fibra como refuerzo para el polietileno de alta densidad, presenta cierto grado de discrepancia inherente entre los dos materiales. La fibra de linaza posee una naturaleza hidrofílica el cual tiende a absorber la humedad; la disconformidad se origina en la capa exterior de la fibra, la cual contiene componentes como aceite, celulosa, lignina, entre otras, estos elementos aportan de manera significativa a su carácter hidrofílico.

1.3.4.1. Ácido acético. El ácido acético es un compuesto orgánico cuya fórmula química es CH₃COOH; este ácido carboxílico o ácido etanoico desempeña un papel fundamental en diversos procesos industriales y naturales.

Además, se encuentra en forma de ion acetato el cual es el responsable del sabor y olor agrios del vinagre. El ácido acético presenta propiedades principales como un olor fuerte, ácido débil, punto de solidificación (16.7 °C), punto de ebullición (118 °C), líquido incoloro a temperatura ambiente, es soluble en agua, glicerina, acetona, etc. Por otra parte, el CH₃COOH es empleado en diferentes aplicaciones o campos tan diversos como la fabricación de plásticos, producción de productos farmacéuticos, elaboración de tintes, insecticidas y aditivo alimentario (Cáceres et al., 2021).

1.3.4.2. Aplicación del ácido acético en el tratamiento de fibras. El ácido acético desempeña un papel crucial en el tratamiento de fibras naturales, este compuesto orgánico conocido como vinagre, se emplea para ajustar el pH, eliminar impurezas, el cual contribuye significativamente a la calidad y durabilidad de las fibras.

En su estudio Rivera (2019) aborda el tratamiento químico del ácido acético para mejorar las propiedades de las fibras. La aplicación del ácido acético (vinagre) contribuye significativamente a mejorar las propiedades de las fibras vegetales, ya que, por su naturaleza hidrofílica, tienen una baja compatibilidad con matrices hidrofóbicas como el poliéster, lo que resulta en una mala adhesión.

En dicha investigación se utilizaron el 50% de ácido acético y el 50% de agua, 70% de ácido acético y 30% de agua, y 80% de ácido acético y 20% de agua, donde se obtuvo que el tratamiento logró reducir la absorción de humedad por parte de las fibras, mejorando su estabilidad dimensional. Por otra parte, mostraron una mejor resistencia a la degradación biológica, y una mayor adhesión con matrices poliméricas, mejorando sus propiedades mecánicas del material compuesto.

Asimismo, Larios (2019) en su investigación utiliza el ácido acético como agente de tratamiento para la fibra con el objetivo de mejorar sus propiedades físicas y químicas. Este tratamiento incrementa la resistencia de la fibra a las soluciones acuosas, la mayoría de los alcoholes, hidrocarburos y aceites.

El tratamiento con ácido acético aporta varias ventajas significativas, mejorando la resistencia de la fibra a la absorción de agua, lo cual es crucial para su uso en ambientes

húmedos o en contacto con líquidos. También refuerza la fibra contra la degradación por productos químicos, aumentando así su durabilidad y prolongando su vida útil en aplicación industriales y comerciales. Esta mejora de la fibra permite su uso en una amplia gama de aplicaciones, desde materiales compuestos hasta productos textiles y aislamiento.

Capítulo dos

Metodología

Este capítulo presenta las técnicas y procedimientos para el aprovechar el expeller o harina de linaza y el HDPE en la creación de nuevos productos biodegradables.

2.1. Tipo de investigación

2.1.1. *Investigación experimental*

Para la realización de los diferentes ensayos y evaluaciones se optó por el método experimental en cual consistió en determinar un tratamiento químico apropiado para el expeller de linaza, para posteriormente ejecutar técnicas de moldeo por extrusión y compresión para conformación de material compuesto y finalmente evaluar el comportamiento mecánico mediante ensayos de tracción, flexión y compresión.

2.2. Método experimental

2.2.1. *Tratamiento de polímero*

Para la obtención de pellets del polímero se requiere realizar las etapas que se describen a continuación:

- **Recolección del HDPE**

La recolección de estos residuos plásticos se tomó de puntos estratégicos donde existen un alto volumen de los mismos. Luego, se realizó la clasificación del polímero según su número de verificación (2), para posteriormente proceder a retirar los elementos incorporados que puedan causar alguna contaminación (etiquetas).

- **Lavado del polímero**

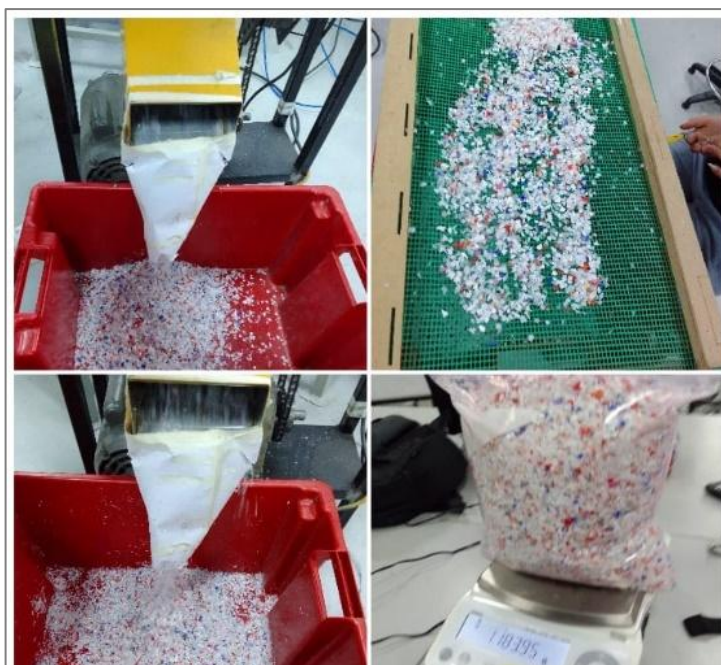
Los desechos plásticos al encontrarse a la intemperie poseen todo tipo de impurezas como grasas, moho y otras sustancias adheridas al plástico, por lo que se desarrolló una limpieza completa, en el cual se empleó una mezcla de agua con detergente con la finalidad de eliminar impurezas, bacterias y sustancias que se encuentran en los polímeros. Consecutivamente, se procedió a realizar un secado cuidadosamente del material, para ser colocados en un ambiente apropiado para posteriormente hacer uso del mismo.

- **Triturado del polietileno de alta densidad**

El proceso de triturado nos permite minimizar la dimensión del polímero en fragmentos más pequeños. Para realizar este procedimiento se utilizó la trituradora de cuchillas del laboratorio de industrial. Antes de ingresar el material a la trituradora fue necesario realizar cortes del plástico en pedazos más pequeños haciendo uso de una tijera industrial. Finalmente, en la trituradora se consiguió la molienda del plástico en partículas más pequeñas, con diámetro de aproximadamente 5 mm, tal como se observa en la Figura 2.

Figura 2

Proceso de triturado del HDPE mediante un molino



Nota. Fase de trituración del plástico [Fotografía], L. Sarango, 2024.

2.2.2. Preparación de la fibra de linaza para el tratamiento

El proceso para la preparación de la fibra involucra una serie de pasos con el fin de eliminar impurezas adheridas a la fibra.

2.2.2.1. Obtención de la fibra. La separación de la fibra de linaza se desarrolló mediante un proceso mucho más eficiente, el cual se empleó mediante una máquina extractora de aceite.

Durante el proceso, se alimentó al equipo las semillas en cantidades pequeñas, donde estas a su vez son sometidas a presión por el husillo de la máquina, para producir la liberación del aceite que es recolectado en un recipiente, por otro lado, la matriz fibrosa de la semilla es recogida por separado (Figura 3).

Figura 3

Proceso de obtención de expeller de linaza



Nota. Procedimiento de fabricación de expeller de linaza

[Fotografía], L. Sarango, 2024.

2.2.2.2. Molienda de la fibra. Con la finalidad de reducir el tamaño de la fibra de linaza, se procedió a triturar el expeller en un molino, el cual nos permitió lograr partículas más pequeñas y uniformes, como se puede observar en la Figura 4.

Figura 4

Proceso de molienda de la fibra de Linaza



Nota. Método de triturado de fibra de linaza [Fotografía], L. Sarango, 2024.

2.2.2.3. Tamizado de la fibra de linaza. Para clasificar las partículas por su tamaño se utilizó un tamizador (Figura 5) empleando mallas (ASTM E11) de tamaños #10, #18, #35, #45 y #60. Seguidamente, se seleccionó la fibra que quedó retenida en la malla #35 (figura 5), ya que sobre esta malla se retuvo la mayor cantidad de fibra, lo cual nos brinda un mayor aprovechamiento de este material.

Figura 5

Tamizaje de la fibra de Linaza



Nota. Proceso de tamizado de fibra de linaza, tamaño de malla nº 35
[Fotografía], L. Sarango, 2024.

2.2.3. Tratamiento Químico de la fibra de linaza

A continuación, se detalla el tratamiento químico realizado a la fibra de linaza con la finalidad de modificar su superficie y hacerla más compatible con el polímero.

2.2.3.1. Lavado con ácido acético. Iniciamos colocando una solución del 30% de ácido acético en agua destilada en un vaso de precipitación de 800 ml. La fibra se introdujo en la solución, el cual se ejecutó en un proceso de calentamiento controlado a una temperatura de 60 °C durante una hora, como se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Tratamiento de la fibra- ácido acético



Nota. Proceso de tratamiento químico del expeller de linaza [Fotografía], L.

Sarango, 2024.

Posteriormente, se dejó enfriar la solución para posteriormente lavar con agua destilada hasta conseguir un pH neutro. Habiendo lavado se procede a colocar la fibra en un recipiente (Figura 7).

Figura 7*Fibra tratada*

Nota. Obtención de la fibra de linaza lavada completamente [Fotografía], L. Sarango, 2024.

Por último, la fibra de linaza tratada se expuso a un proceso de secado mediante un deshidratador. Se conservó a una temperatura de 60 °C durante un tiempo de aproximadamente 6 hora. Es importante que la fibra esté totalmente seca, ya que ayuda a prevenir la formación de hongos en la fibra, como se puede observar en la Figura 8.

Figura 8

Fibra sin humedad



Nota. Proceso de secado de la fibra de linaza [Fotografía], L. Sarango, 2024.

2.2.4. Elaboración del material compuesto

2.2.4.1. Extrusión del material fibra- plástico. Para la ejecución de esta técnica, se desarrolló mediante el uso de una máquina mono- husillo. Este proceso permite que el material se mezcle de forma homogénea y exista una dispersión equilibrada del refuerzo en la matriz polimérica. Para el desarrollo de este proceso se siguieron los siguientes pasos que se mencionan a continuación:

- Primeramente, se realizó una mezcla del 10% en peso de fibra y un 90% de HDPE.
- Seguidamente, se incorpora la mezcla en cantidades pequeñas en la extrusora, con temperaturas de procesamiento de 180 °C a 170 °C, con la finalidad de lograr una fusión óptima del plástico y la fibra.

- Finalmente, se obtuvieron tiras delgadas del material compuesto (Figura 9), para posteriormente ser utilizada en la conformación de las probetas para ensayos mecánicos.

Figura 9

Proceso de extrusión HDPE- fibra



Nota. Procedimiento de extrusión de fibra – HDPE, material compuesto [Fotografía], L. Sarango, 2024.

2.2.4.2. Trituración del material compuesto. Se llevó a cabo un proceso de triturado en la máquina paletizadora, la cual posee un rodillo que permite que ingrese el material con facilidad para ser cortado por unas cuchillas. El material triturado cae a un cubo para ser recolectado y llevado al siguiente proceso, como se puede visualizar en la Figura 10.

Figura 10

Proceso de triturado del material compuesto



Nota. Fase de trituración del material compuesto [Fotografía], L. Sarango, 2024.

2.2.4.3. Termo prensado del material compuesto. El proceso de termo prensado se utilizó para la conformación de placas que nos permitan obtener las probetas para los ensayos de tracción, flexión, así mismo se utilizó para la conformación de probetas para la prueba de compresión.

A continuación, se detalla las condiciones de operación:

- Se inició con la preparación del molde cómo se establece en la normativa vigente ASTM D4703 para las probetas, verificando que las capas se encuentren completamente limpias.
- Después, se utilizó cera desmoldante (SIMONIZ), sobre el molde para prevenir que el material compuesto se adhiriera en el molde y facilitar el retiro del mismo.

- Posteriormente, se pesó 130 gr del material compuesto e inmediatamente se extendió de forma homogénea sobre el molde.
- A continuación, se realizó el termo-prensado a una temperatura de 155 °C. Se ejecutó un precalentamiento de 5 min, tal como se puede observar en la Figura 11.

Figura 11

Ingreso del material a la termo prensa



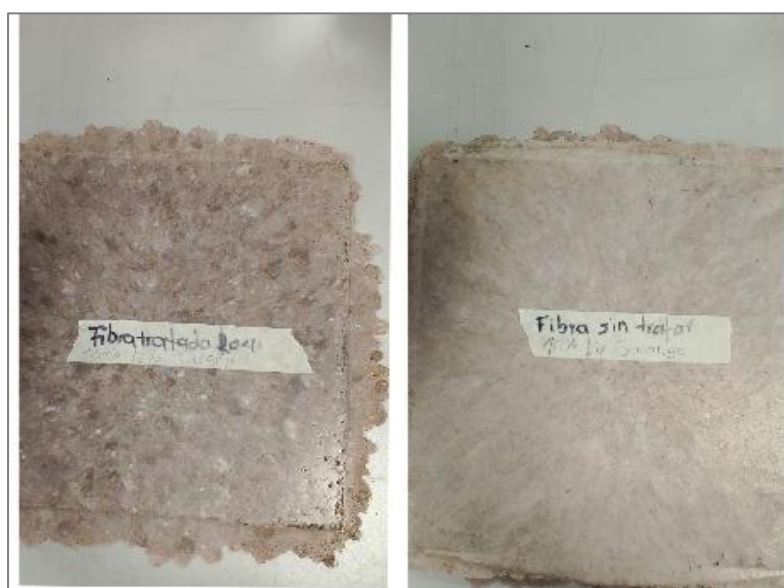
Nota. Proceso de termo prensado del material compuesto [Fotografía], L. Sarango, 2024.

- Seguidamente, se colocó la tapa sobre el molde ejerciendo presión sobre el mismo, además se ejecutó un desfogue de 10 s con la finalidad de prevenir y eliminar burbujas de aire, como se puede observar en la Figura 12.

Figura 12*Desfogue del material compuesto*

Nota. Mecanismo de desfogue del material, para evitar burbujas [Fotografía], L. Sarango, 2024.

- Se dejó termo prensar el material durante un tiempo de 3 min, posteriormente se procedió a dejar enfriar a temperatura ambiente para luego desprender el material de los moldes, como se visualiza en la Figura 13.

Figura 13*Laminas del material compuesto fibra- HDPE*

Nota. Laminas del material aptas para la elaboración de probetas [Fotografía], L. Sarango, 2024.

2.2.4.4. Elaboración de probetas para ensayos de compresión. Para la elaboración de las probetas se llevó cabo las siguientes fases:

- Primeramente, se engrasó el molde y se realizó un precalentamiento de 5 min en la termo prensa a una temperatura de 155 °C, posteriormente se colocó el material compuesto (13 g) en el molde.
- Después se puso pequeñas varillas de acero inoxidable de 3,5 cm de longitud sobre el molde y se aplicó presión sobre el mismo, ejecutando un desfogue de 10 s para prevenir burbujas de aire.
- Luego de 5 min de compactación se dejó enfriar el molde y se retiró las probetas cuidadosamente para prevenir la formación de grietas, como se puede observar en la Figura 14.

Figura 14

Probetas elaboradas de material compuesto



Nota. Probetas elaboradas de material compuesto [Fotografía], L. Sarango, 2024.

2.2.5. Ensayo de flexión

El ensayo de flexión se llevó a cabo bajo la norma ASTM D790, donde detalla que se debe utilizar un mínimo de 5 probetas. Para ello se llevó a cabo los siguientes pasos:

- Primero se tomó medidas de las probetas tanto de su espesor y ancho, haciendo uso de un micrómetro, como se puede observar en la tabla en la Tabla 6.

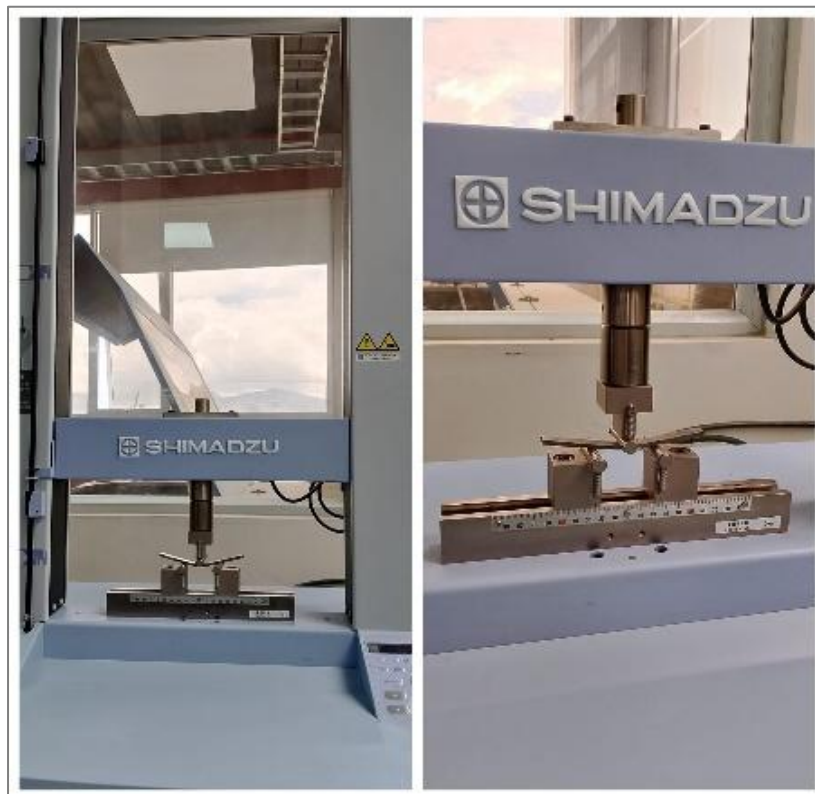
Tabla 6

Datos de anchura y espesor de las probetas del material compuesto, ensayo de flexión

N° Muestra	Anchura	Espesor	Luz	L/2	L2	Z	ZL2	6d	R=ZL2/6d	r	rL2	D=rL2/6d		
	[mm]	[mm]	[mm]			[pulg/pulg/min]			[mm/min]	[mm/mm]		[mm]		
1	12,977	3,053	48,85	24,42	2386,13		23,86	18,32	1,30		119,31	6,51		
2	12,855	2,967	47,47	23,74	2253,59		22,54	17,80	1,27		112,68	6,33		
3	12,662	3,677	58,83	29,42	3461,20		34,61	22,06	1,57		173,06	7,84		
4	12,778	3,076	49,22	24,61	2422,21	0,01	24,22	18,46	1,31	0,05	121,11	6,56		
5	12,806	3,415	54,64	27,32	2985,53		29,86	20,49	1,46		149,28	7,29		
6	12,637	3,22	51,52	25,76	2654,31		26,54	19,32	1,37		132,72	6,87		
7	12,891	2,973	47,57	23,78	2262,71		22,63	17,84	1,27		113,14	6,34		
8	12,837	2,953	47,25	23,62	2232,37		22,32	17,72	1,26		111,62	6,30		
PROMEDIO		3,167	50,668								1,351			
PROMEDIO/2			25,33											
DESVIACIÓN			3,87											
PROMEDIO LUZ 2			51,777						1,38					
PROMEDIO LUZ/2			25,885											

Nota. Medidas de las probetas para el ensayo de flexión del material compuesto Fibra-HDPE [Tabla], L. Sarango, 2024.

- Se ingresó los datos en la máquina de ensayos; se configuró el equipo con las medidas y requisitos que especifica la norma.
- Posteriormente se colocó la probeta en el equipo universal, verificando que la pieza esté correctamente alineada con las mandíbulas de sujeción.
- A continuación, se aplicó carga en tres puntos diferentes (en el centro de la probeta una carga fija en la cruceta móvil y también dos soportes fijos en la misma), aplicando carga hasta lograr que la probeta alcance su punto de flexión, Figura 15.

Figura 15*Ensayo de Flexión*

Nota. Método de ensayo de flexión del material compuesto fibra
[Fotografía], L. Sarango, 2024.

2.2.6. Ensayo de tracción

El ensayo de tracción se ejecutó acorde a la norma ASTM D638 la cual indica que se debe utilizar un mínimo de cinco probetas para lograr resultados más exactos y confiables. A continuación, se menciona las etapas del proceso:

- Inicialmente se realizó la recolección de datos como el espesor y ancho de las probetas, tal como se puede visualizar en la Tabla 7.

Tabla 7

Medidas de anchura y espesor de las probetas del material compuesto

Fibra Linaza- HDPE 10/90		
Mezcla		
Nº Muestra	Anchura [mm]	Espesor [mm]
1	5,468	3,728
2	5,488	3,983

Mezcla		Fibra Linaza- HDPE 10/90	
Nº Muestra	Anchura [mm]	Espesor [mm]	
3	5,574	3,883	
4	5,479	3,720	
5	5,324	3,829	
6	5,478	3,776	
7	5,466	3,619	
8	5,594	3,889	

Nota. Datos de las probetas para el ensayo de tracción del material compuesto [Tabla], L. Sarango, 2024.

- Luego, se procedió al ingreso de los datos y seguidamente se incorporó la probeta en el equipo, verificando que esté correctamente alineada, como se puede visualizar en la Figura 16.
- Después se aplicó carga de forma lineal y controlada encima de la probeta, hasta que la muestra adquirió su punto de ruptura, obteniendo datos esenciales de las propiedades del material.

Figura 16

Ensayo de tracción



Nota. Proceso de ensayo de tracción del material fibra de linaza-HDPE [Fotografía], L. Sarango, 2024.

2.2.7. Ensayo de compresión

El ensayo de compresión se realizó bajo la norma ASTM D695- 15 donde menciona que es preciso utilizar cinco probetas. Para el desarrollo de este procedimiento se llevó a cabo las siguientes etapas:

- Primeramente, se utilizó el equipo roturador, como se puede visualizar en la Figura 17. Para lograr la longitud deseada de las probetas como lo menciona la norma.

Figura 17

Proceso de torneado de las probetas



Nota. Proceso de torneado las probetas compuestas de material compuesto [Fotografía], L. Sarango, 2024.

- Luego, se realizó la toma de datos como el diámetro y altura de las probetas, como se observa en la Tabla 8. Seguidamente, se ingresó la información obtenida en el equipo de ensayos.

Tabla 8

Medidas de la altura y diámetro de las probetas del material compuesto fibra de linaza - HDPE

Probeta	Diámetro fibra sin tratar	Diámetro fibra tratada	Promedio diámetro	Altura fibra sin tratar	Altura fibra tratada	Promedio altura
1	11,91	12,01	11,96	25,45	25,97	25,71
2	11,71	11,84	11,775	26,05	25,64	25,845
3	11,96	11,87	11,915	26,18	26,26	26,22
4	12,10	11,92	12,01	27,32	26,28	26,8
5	11,97	11,81	11,89	29,16	26,02	27,59
6	12,02	12,08	12,05	24,36	26,06	25,21
7	11,97	12,20	12,085	25,83	25,62	25,725
Promedio			11,955			26,1571

Nota. Magnitudes de las probetas para el ensayo de compresión fibra-HDPE [Tabla], L. Sarango, 2024.

- Después, se incorporó la probeta en el equipo y se verificó que este correctamente sujeta y alineada con las placas de compresión de la máquina.
- Por último, se colocó carga de forma progresiva, controlando el punto de compresión anhelado de la probeta, tal como se puede visualizar en la Figura 18.

Figura 18

Colocación de la probeta en el equipo de ensayos



Nota. Proceso de ubicación de la probeta en el equipo de ensayo mecánico (compresión) [Fotografía], L. Sarango, 2024.

Capítulo tres

Resultados

3.1. Ensayo de flexión

Los resultados obtenidos del ensayo de flexión se muestran en la tabla 9 del material conformado por un 10% de fibra de linaza y un 90 % de HDPE, sin tratamiento, consiguiendo su módulo elástico, esfuerzo y deformación máxima.

Tabla 9

Resultados del material compuesto fibra sin tratar- HDPE

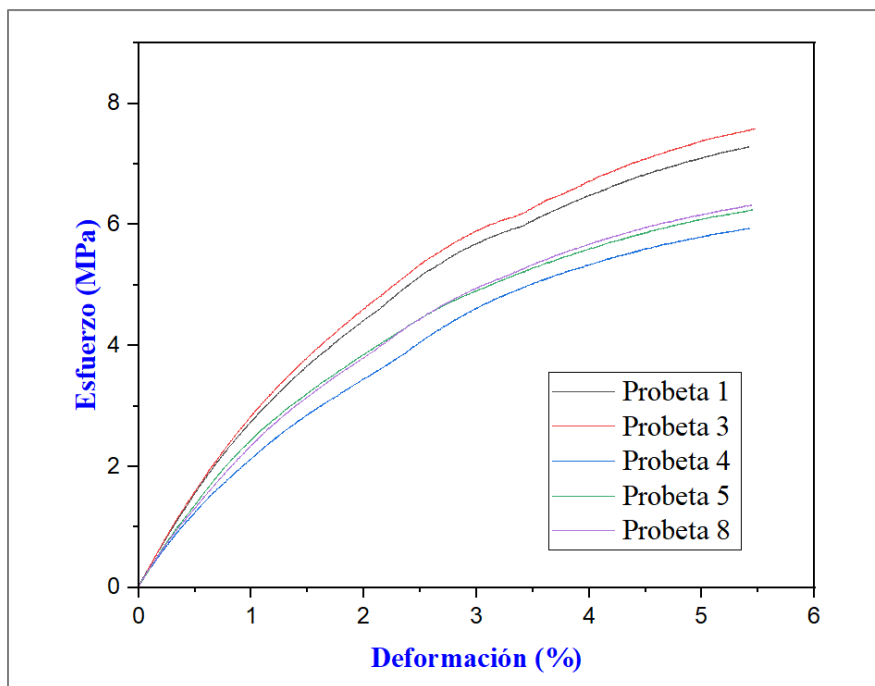
Composición	Nº Probetas	Máximo Esfuerzo	Modulo Elástico	Máxima Deformación
		MPa	MPa	%
10%-HDPE	1	8,37	251,31	4,11
10%-HDPE	3	8,8	284,39	4,06
10%-HDPE	4	6,83	170,77	4,09
10%-HDPE	5	7,23	190,76	4,07
10%-HDPE	8	7,31	198,38	4,08
Media		7,71	219,12	4,08
Desviación estándar		0,84	47,09	0,02

Nota. Datos de la propiedad mecánica del ensayo de flexión-HDPE [Tabla], L. Sarango, 2024.

En la Figura 19 se puede observar las curvas de esfuerzo -deformación de cada probeta, en donde se puede apreciar que en todas las probetas la curva inicial es relativamente baja lo cual nos indica que el material compuesto no posee una buena rigidez.

Figura 19

Máximo esfuerzo- deformación del material compuesto fibra sin tratar y polietileno de alta densidad



Por otra parte, en la Tabla 10 se muestra los datos obtenidos durante el ensayo de flexión de la fibra tratada con 10% y del polímero (HDPE) 90%.

Tabla 10

Resultados del material compuesto fibra de linaza- HDPE

Composición	Nº Probetas	Máximo Esfuerzo	Modulo Elástico	Máxima Deformación
		MPa	MPa	%
10%-HDPE	1	21,1378	821,679	5,31665
10%-HDPE	2	20,5145	734,424	5,07181
10%-HDPE	4	20,1771	738,1	5,48269
10%-HDPE	7	21,2861	736,912	6,28792
10%-HDPE	8	20,6846	662,765	6,34677
Media		20.76	747,78	5,70

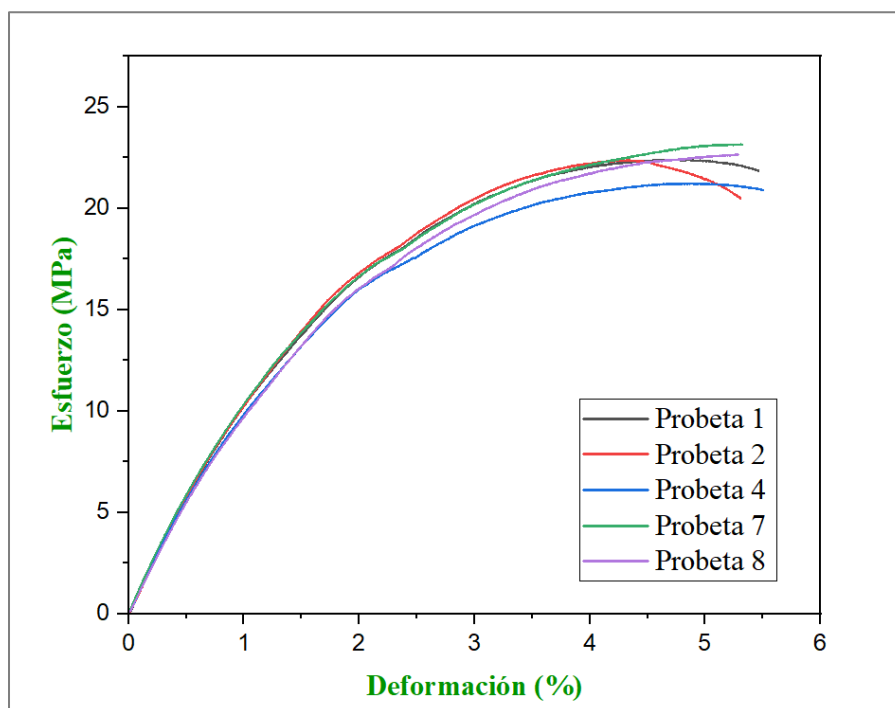
Composición	Nº Probetas	Máximo Esfuerzo	Modulo Elástico	Máxima Deformación
		MPa	MPa	%
Desviación estándar		0,45	59,65	0,58

Nota. Datos de la propiedad mecánica del ensayo de flexión, fibra tratada químicamente -HDPE [Tabla], L. Sarango, 2024.

Al observar la conducta del material en las curvas esfuerzo deformación de la Figura 20, se puede visualizar que la pendiente de la curva de la probeta inicial es elevada, por lo tanto, señala una buena rigidez en el material, además todas las probetas presentan su máximo esfuerzo alrededor de 20 MPa. Su punto de ruptura llegó a tener una máximo deformación de aproximadamente 5.7%.

Figura 20

Máximo esfuerzo- deformación del material compuesto

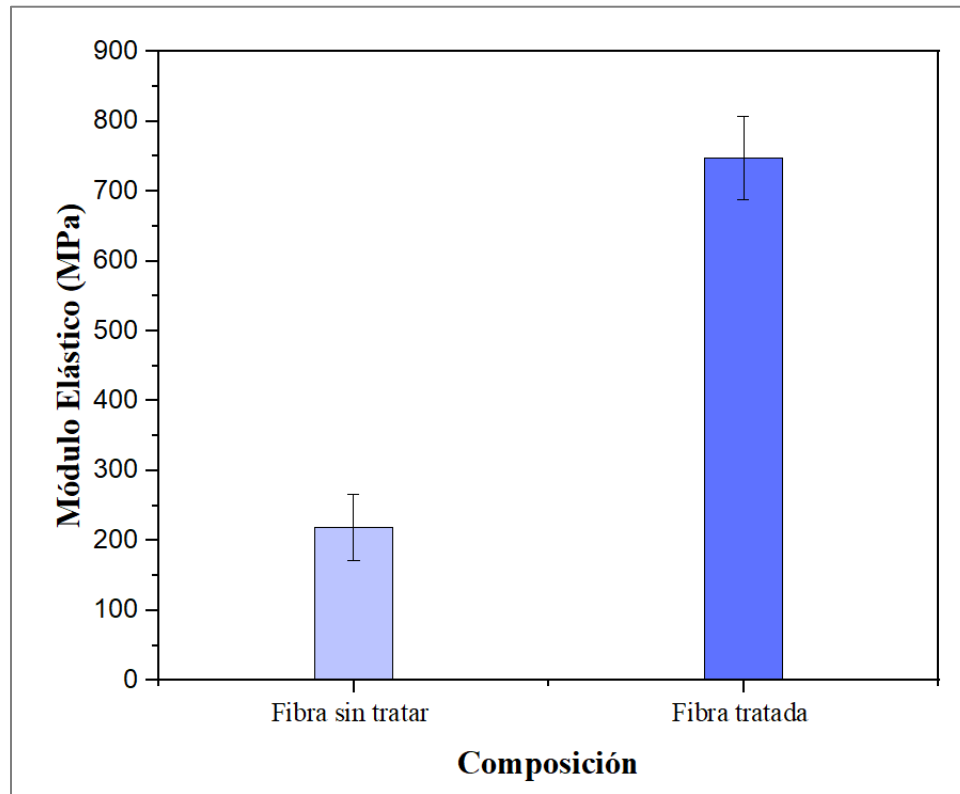


En la Figura 21 se presenta el módulo elástico de los materiales compuestos sin y con tratamiento. Para el material sin tratamiento se obtuvo un módulo elástico de 219,12 MPa, mientras que el material con tratamiento obtuvo un módulo de 747,78 MPa. Este cambio en

el módulo representa un incremento del 241,26%, lo cual indica que probablemente el tratamiento químico mejoró la adhesión entre la fibra y el polímero.

Figura 21

Gráfico- Módulo Elástico de la composición 10% de fibra sin tratar y tratada

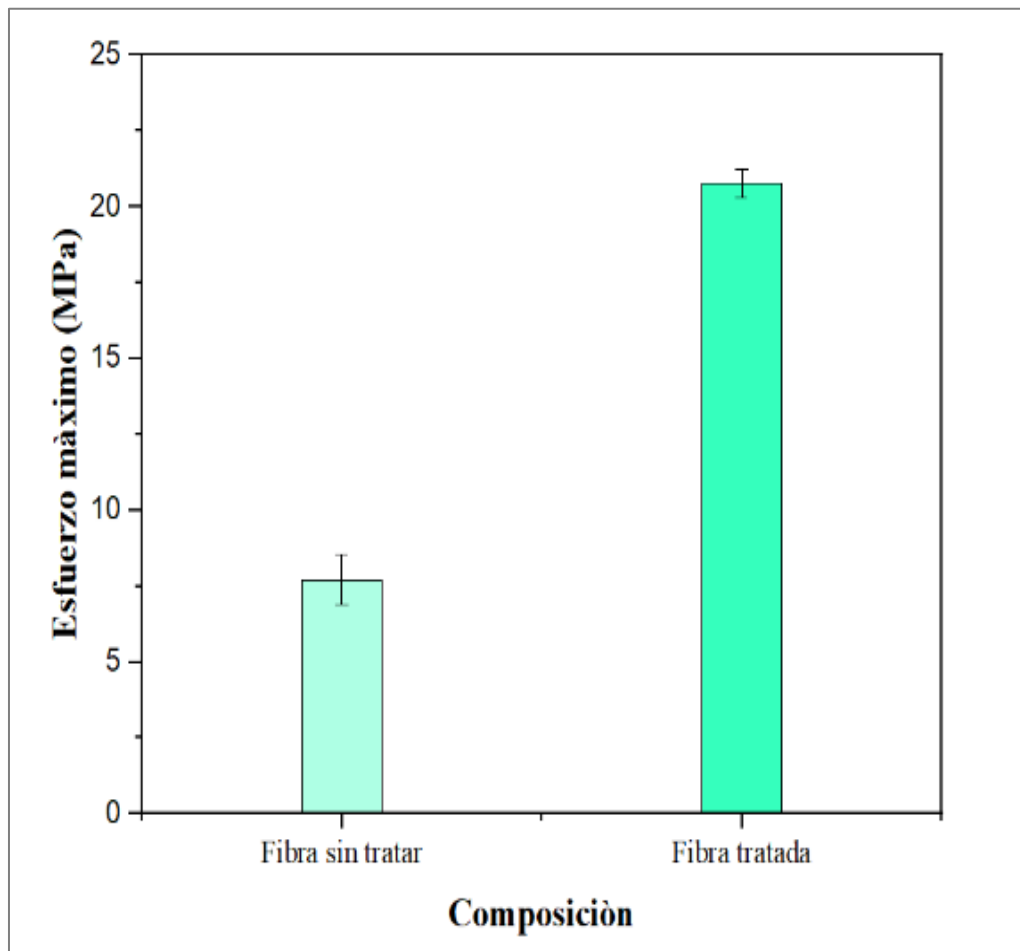


En la Figura 22 se compara el esfuerzo máximo de las dos composiciones, el primero elaborado con fibra sin tratar y el segundo con fibra tratada químicamente. El material compuesto con fibra tratada presentó un esfuerzo máximo de 20,7 MPa, mientras que el compuesto sin tratamiento obtuvo un esfuerzo de 7,71 MPa, logrando obtener un incremento del 169,26% al aplicar el tratamiento químico con ácido acético.

Según Burbano & Núñez (2017), en su estudio mencionan que el tratamiento químico de las fibras naturales como la fibra de fique, mejoran significativamente el esfuerzo máximo del material compuesto, ya que el tratamiento elimina componentes no deseados que pueden afectar al material, lo cual permite lograr una mejor adherencia entre la fibra y la matriz polimérica.

Figura 22

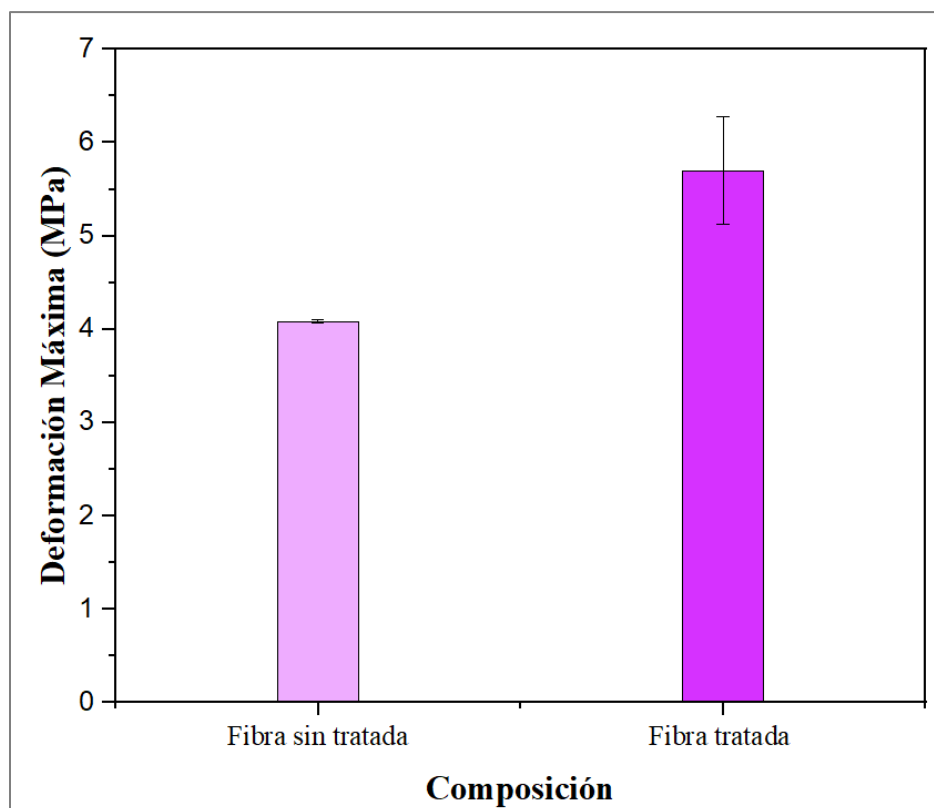
Gráfico- Esfuerzo Máximo de la composición 10% de fibra sin tratar y tratada



La comparación de la deformación máxima de los materiales compuestos sin y con tratamiento se representan en la Figura 23. Los resultados muestran que el material con fibra tratada presenta una deformación máxima del 5,7% lo que significa un aumento del 39,7% en comparación con la fibra sin tratar de obtuvo una deformación del 4,08%. Lo datos indican que el tratamiento químico probablemente ayudó de forma positiva a la capacidad de la fibra para soportar deformaciones antes de la ruptura, lo que permite lograr una buena ductilidad del material.

Figura 23

Gráfico- Deformación Máxima de la composición 10% de fibra sin tratar y tratada con HDPE



3.2. Ensayo de tracción

Los datos obtenidos del ensayo de tracción del material compuesto, sin tratamiento, se presentan en la Tabla 11, donde se muestra el esfuerzo máximo, modulo elástico y deformación máxima.

Tabla 11

Resultados del ensayo de tracción del material compuesto 10% fibra de linaza- 90% HDPE

Composición	Nº Probetas	Máximo	Modulo	Máxima
		Esfuerzo MPa	Elástico MPa	Deformación %
10%-HDPE	1	7,4057	677,04	1,7117
10%-HDPE	3	9,4702	798,709	2,0579
10%-HDPE	6	10,0456	811,851	2,5681
10%-HDPE	7	7,2952	676,799	1,6617
10%-HDPE	8	8,8770	741,709	2,1758
Media		8,6187	741,22	2,035

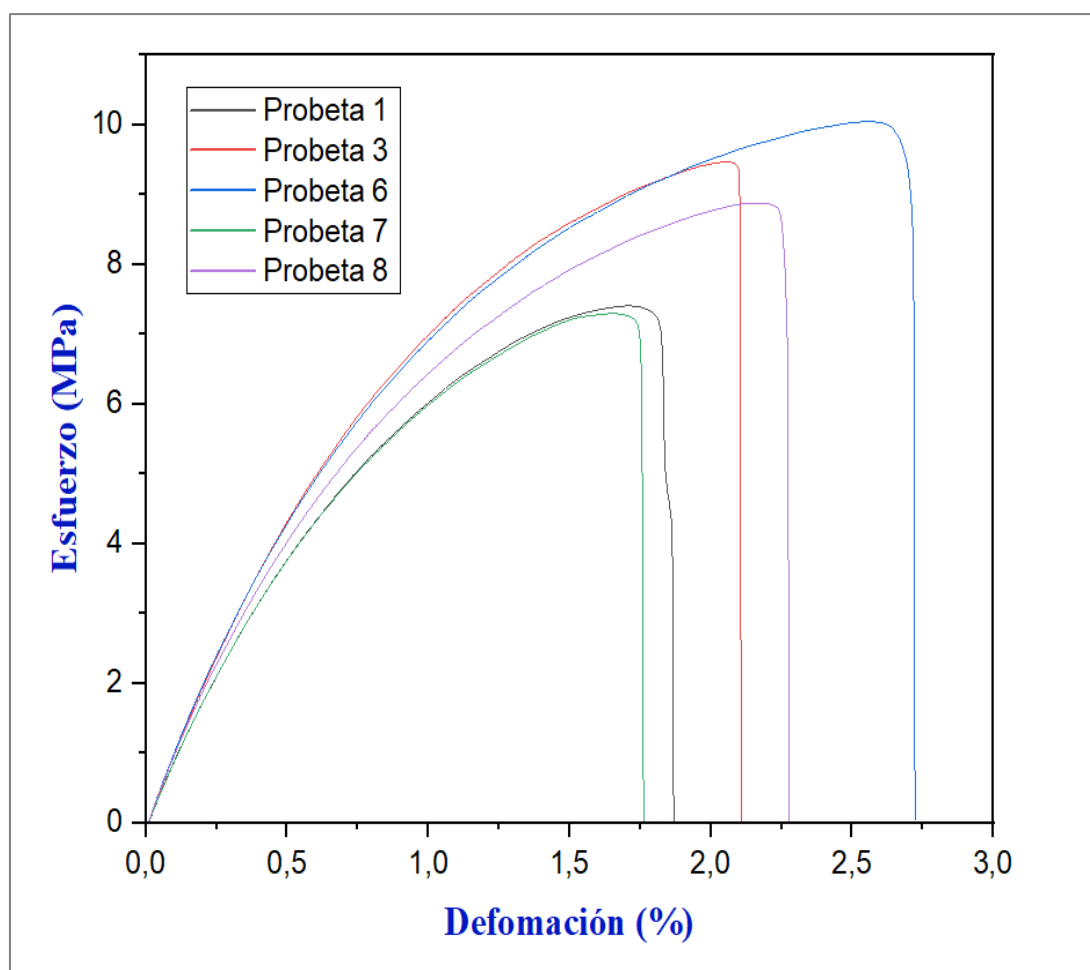
Composición	Nº Probetas	Máximo Esfuerzo	Modulo Elástico	Máxima Deformación
		MPa	MPa	%
Desviación estándar		1,22	64,34	0,370

Nota. Datos de la propiedad mecánica del ensayo de tracción, fibra de linaza virgen- HDPE [Tabla], L. Sarango, 2024.

En la Figura 24, se analiza la curva esfuerzo vs deformación de cada probeta ensayada, donde la curva presenta el límite elástico que es el comienzo donde el material empieza a deformarse, la máxima tensión del material en su máxima resistencia y por último el punto de fractura, donde se muestra la ruptura del material compuesto.

Figura 24

Gráfico de Esfuerzo (MPa) - Deformación (%) del material compuesto con 10% de fibra sin tratar - HDPE



A continuación, en la Tabla 12 se presenta los resultados alcanzados a lo largo del ensayo de tracción del material compuesto con fibra tratada 10% y polietileno de alta densidad 90%. La importancia de realizar un tratamiento químico radica en que para lograr una adecuada adherencia entre la fibra y HDPE es necesario llevar a cabo un tratamiento químico previo, ya que la compactación entre la matriz polimérica y la fibra puede llegar a ser limitada si no se realiza un tratamiento, lo que afecta de manera negativa a la transferencia de esfuerzo y a sus propiedades mecánicas (Calderón et al., 2019).

Tabla 12

Resultados del ensayo de tracción del material compuesto 10% fibra de linaza tratada- 90% HDPE

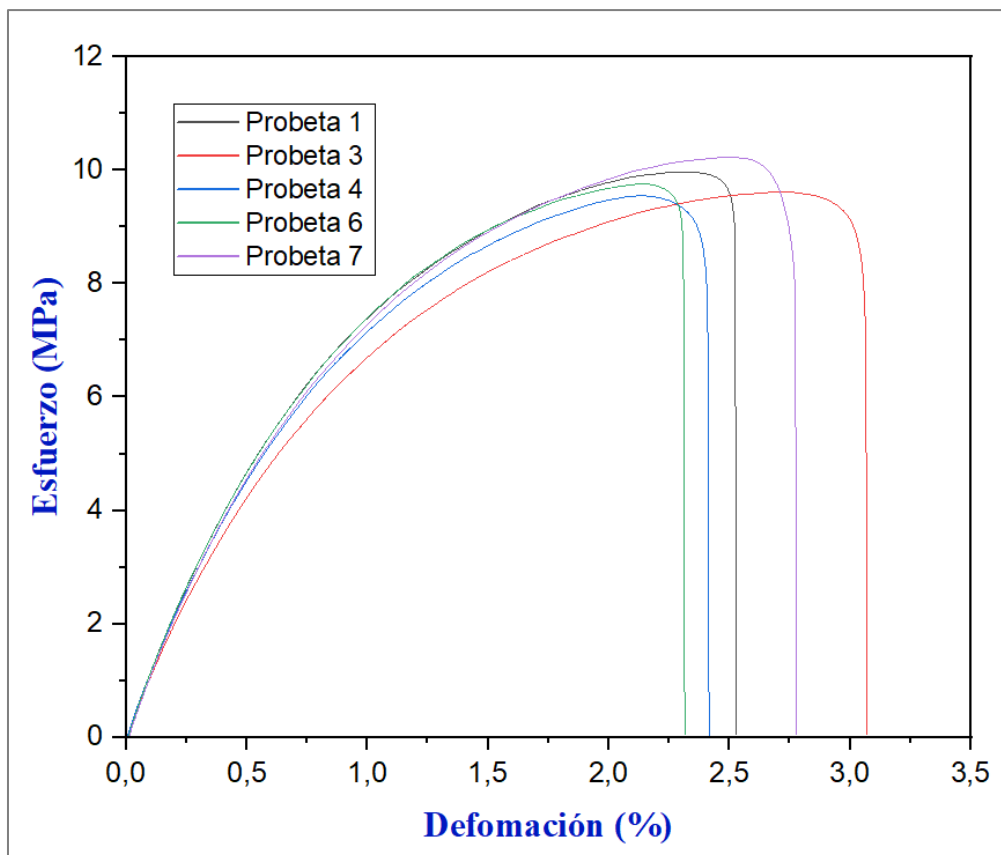
Composición	Nº Probetas	Máximo	Modulo	Máxima
		Esfuerzo	Elástico	Deformación
		MPa	MPa	%
10%-HDPE	1	9,9703	926,791	2,2899
10%-HDPE	3	9,6190	819,021	2,7155
10%-HDPE	4	9,5498	879,063	2,1322
10%-HDPE	6	9,7612	930,406	2,1399
10%-HDPE	7	10,226	895,911	2,4835
Media		9,82	890,23	2,3522
Desviación estándar		0,275	45,21	0,248

Nota. Resultados del ensayo de tracción de la composición con fibra de linaza tratada con ácido acético- HDPE [Tabla], L. Sarango, 2024.

Del mismo modo, en la Figura 25, se muestra las curvas esfuerzo – deformación de los materiales con fibra tratada. Al inicio de la curva se presenta una zona elástica en el material, es decir, el material retoma su forma tras resistir la carga. Además, se presenta un esfuerzo máximo de aproximadamente de 9,8 MPa y posteriormente una fractura del material.

Figura 25

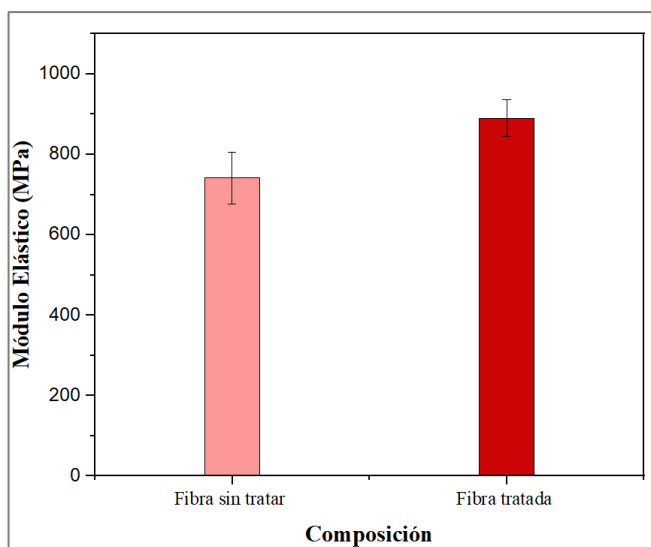
Gráfico de Esfuerzo - Deformación del material compuesto con 10% de fibra tratada
- HDPE



En la Figura 26 se muestra la comparación de los módulos elásticos de los materiales compuestos con y sin tratamiento químico. El material sin tratamiento muestra una baja rigidez debido a que su módulo elástico es de 741,22 MPa en cambio la fibra tratada alcanzó un módulo de 890,23 MPa, con un incremento del 20,10%. Por lo que, nos indica que el tratamiento aplicado probablemente logró incrementar la rigidez y adherencia del material compuesto. Desde el punto de vista de Morales et al. (2019), al realizar una maceración a las fibras naturales con NaOH se logra una mejor adhesión entre la fibra-matriz, lo cual reduce la lignina y hemicelulosa de las fibras lo que ayuda a incrementar las microfibrillas de celulosa que son responsables de las propiedades mecánicas, con la finalidad de aumentar su módulo elástico como es el caso de la fibra de esparto que incrementó en un 72% su módulo de Young, rango significativo en comparación con otras fibras.

Figura 26

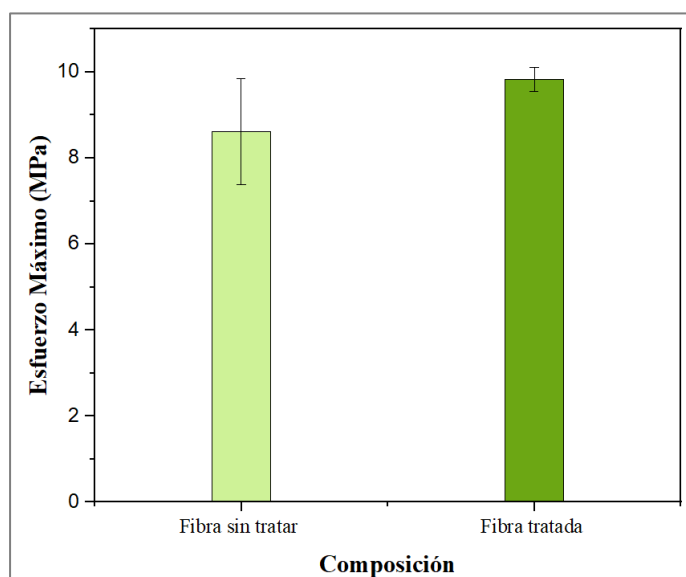
Gráfico- Módulo Elástico del material compuesto con 10% de fibra tratada y sin tratar - HDPE



Además, en la Figura 27 se presenta el esfuerzo máximo del material compuesto elaborado con el 10% de fibra con y sin tratamiento químico. El compuesto con fibra tratada muestra un esfuerzo máximo de 9,82 MPa superior al elaborado con fibra virgen de 8,61 MPa, por tanto, se logró un incremento del 14%, lo que muestra una mejor capacidad para resistir cargas antes de adquirir su punto de fractura.

Figura 27

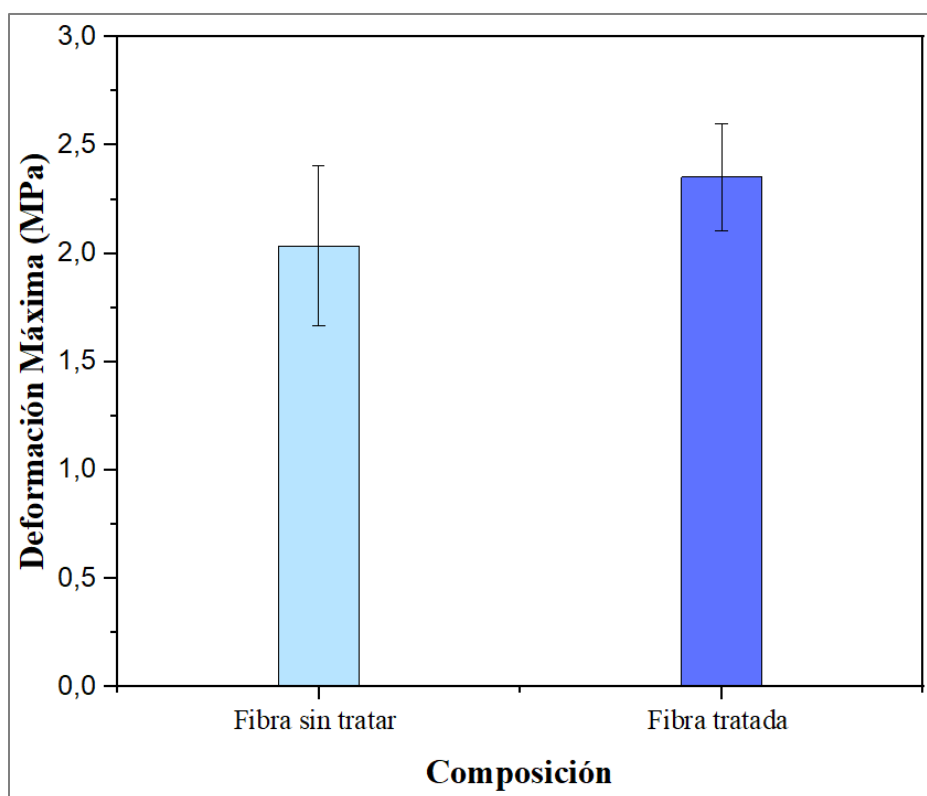
Gráfico- Esfuerzo Máximo del material compuesto con 10% de fibra tratada y sin tratar – HDPE



Por otro lado, el comportamiento de la deformación máxima de los materiales sin y con tratamiento se visualiza en la Figura 28. La composición con fibra virgen muestra una deformación máxima del 2,03% comparada con la fibra tratada del 2,35%, alcanzando un aumento del 15,7% de ductilidad en el material. Esto nos indica que el compuesto con tratamiento químico presenta una mejor capacidad de deformación antes de la ruptura, lo que brinda un aporte positivo en la relación entre la fibra y la matriz polimérica.

Figura 28

Gráfico- Deformación Máxima del material compuesto con 10% de fibra tratada y sin tratar – HDPE



3.3. Ensayo de compresión

Los resultados logrados en el ensayo de compresión con fibra virgen y polietileno de alta densidad demuestran la resistencia del material para soportar cargas bajo ciertas condiciones controladas. En la Tabla 13 se observa los resultados obtenidos para los materiales compuestos sin tratamiento.

Tabla 13

Resultados del ensayo de compresión del material compuesto 10% fibra de linaza sin tratar- 90% HDPE

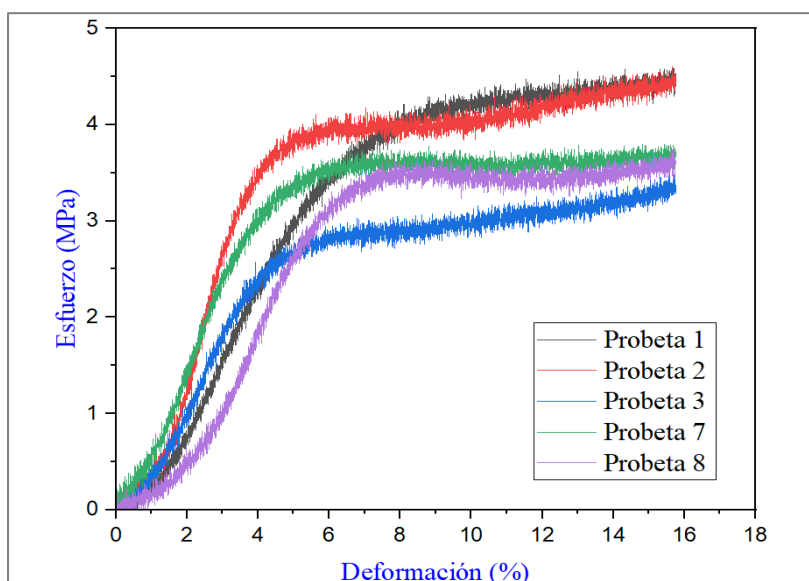
Composición	N° Probetas	Máximo	Modulo	Máxima
		Esfuerzo MPa	Elástico MPa	Deformación %
10%-HDPE	1	4,5883	34,6768	15,6749
10%-HDPE	2	4,6076	42,0421	15,2783
10%-HDPE	3	3,5398	39,8873	15,1093
10%-HDPE	7	3,7938	30,1003	15,4128
10%-HDPE	8	3,7373	22,644	15,4351
Media		4,0534	33,8701	15,3821
Desviación estándar		0,5060	7,8083	0,2090

Nota. Resultados del ensayo de compresión de la composición con fibra de linaza virgen- HDPE [Tabla], L. Sarango, 2024.

En la Figura 29, se representa las curvas esfuerzo - deformación de los materiales de la tabla 13. A partir de la figura se puede observar que el compuesto obtuvo una resistencia de 4 MPa antes de su fractura. Así mismo, el material presentó una deformación del 12%, mostrando una buena ductilidad el material compuesto.

Figura 29

Gráfico- Esfuerzo-Deformación del material compuesto con 10% de fibra – 90% HDPE



En la Tabla 14 se puede visualizar los datos proporcionados del ensayo del material compuesto a base del 10% fibra tratada y 90% de polietileno de alta densidad.

Tabla 14

Resultados del ensayo de compresión del material compuesto 10% fibra de linaza tratada- 90% HDPE

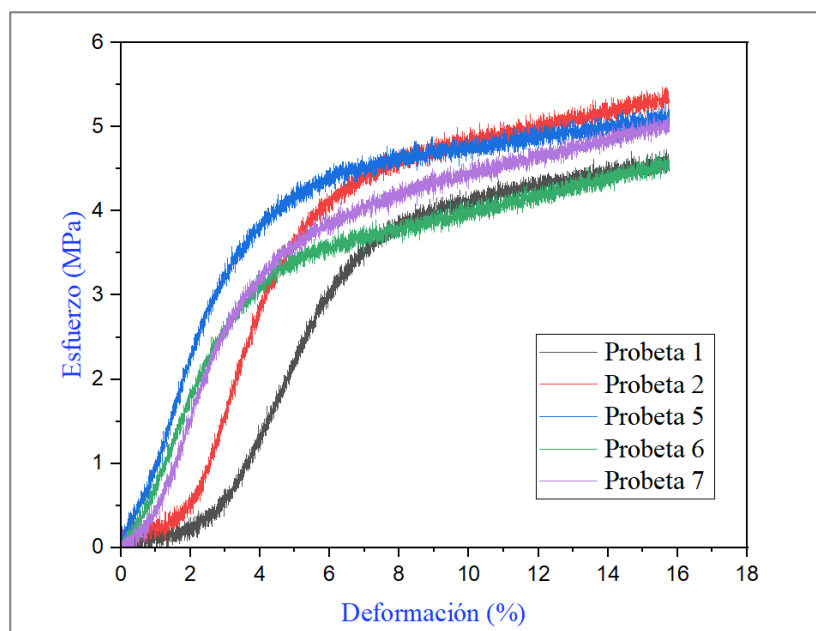
Composición	Nº Probetas	Máximo Esfuerzo	Modulo Elástico	Máxima Deformación
		MPa	MPa	%
10%-HDPE	1	4,7282	34,4767	15,3466
10%-HDPE	2	5,4713	36,1907	15,5392
10%-HDPE	5	5,2844	57,294	15,246
10%-HDPE	6	4,7346	51,2446	15,2226
10%-HDPE	7	5,1450	46,2511	14,9951
Media		5,0728	45,0914	15,2699
Desviación estándar		0,3324	9,7468	0,1979

Nota. Resultados del ensayo de compresión de la composición con fibra de linaza virgen- HDPE [Tabla], L. Sarango, 2024.

En la Figura 30 se exhiben las probetas ejecutadas durante el proceso de compresión. La curva esfuerzo deformación muestra una resistencia de 5 MPa lo cual podría ser aceptable para aplicaciones de bajo estrés, además presenta el 14% de ductilidad del material.

Figura 30

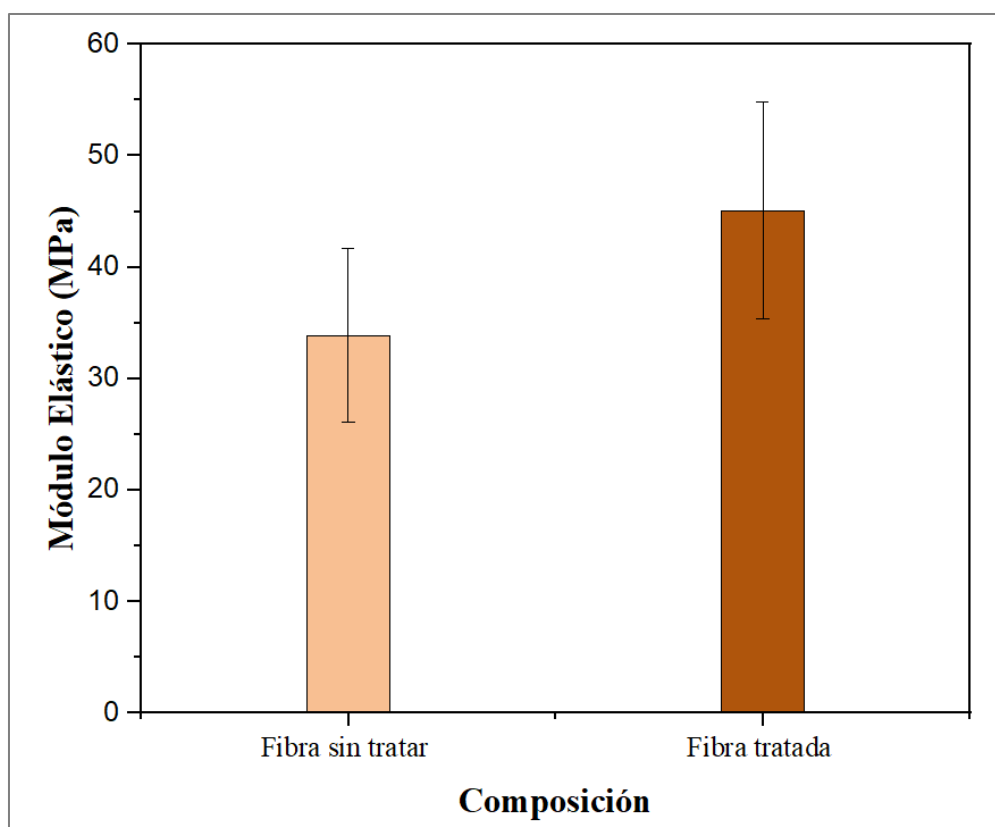
Gráfico- Esfuerzo-Deformación del material compuesto con 10% de fibra tratada- 90% HDPE



En la Figura 31 se muestra la comparación del módulo elástico a la compresión de los compuestos con y sin tratamiento. El material compuesto con fibra tratada muestra un módulo elástico de 45,09 MPa, mientras que el material a base de fibra sin tratamiento es de 33,87 MPa. Los resultados demuestran que el tratamiento químico con ácido acético logró un incremento del 33,13% del módulo, probablemente debido a una mejora de la interacción polímero-fibra.

Figura 31

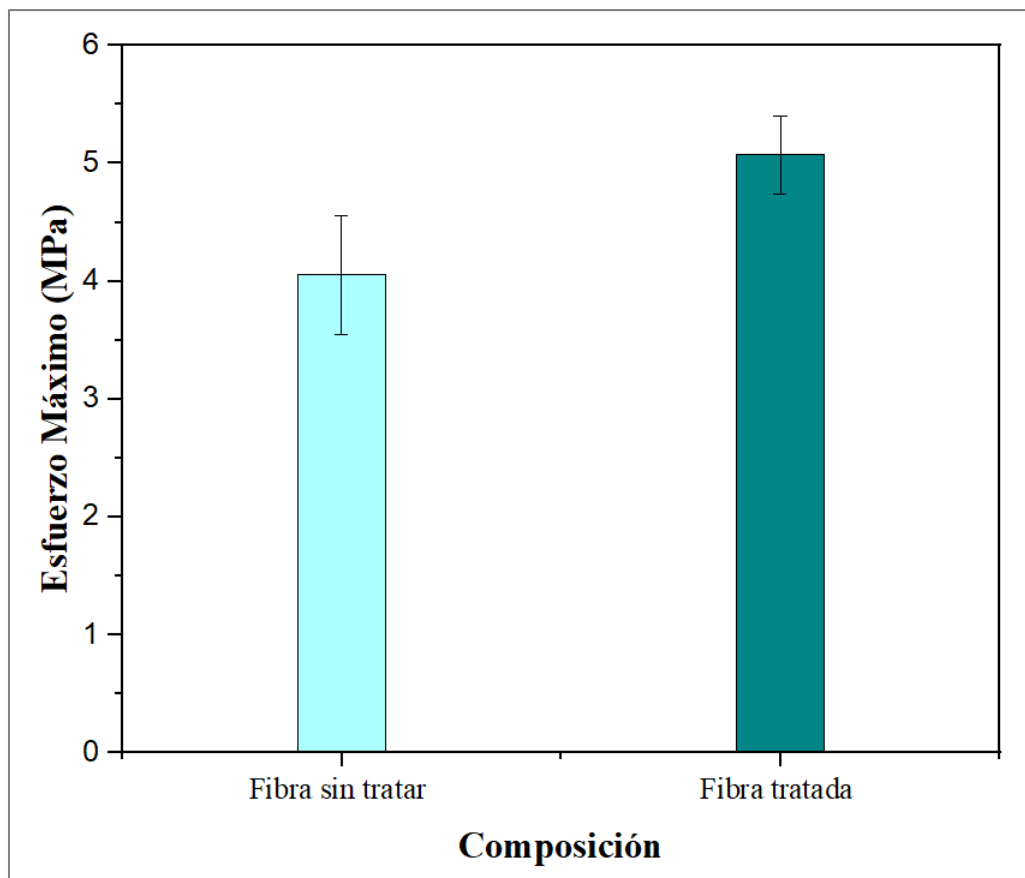
*Gráfico- Módulo Elástico del material compuesto con 10% de fibra tratada y sin tratar
– 90% HDPE*



Finalmente, en la Figura 32 se compara las dos composiciones del material compuesto sin y con tratamiento químico. El material con fibra tratada muestra un esfuerzo máximo de 5,07 MPa en cambio el compuesto con fibra sin tratamiento es de 4,05 MPa logrando un incremento del 25,14%.

Figura 32

*Gráfico- Esfuerzo Máximo del material compuesto con 10% de fibra tratada y sin tratar
– 90% HDPE*



Conclusiones

A continuación, se presentan las conclusiones derivadas del desarrollo de esta investigación, las cuales responden a los objetivos planteados al inicio del estudio:

Se logró obtener un material compuesto a partir de expeller de linaza y HDPE empleando un proceso de extrusión a temperatura de 180°C y por molde por compresión a 155°C.

Se evidenció un rendimiento significativo en las propiedades de flexión del material tratado químicamente. El módulo elástico y esfuerzo presentaron incrementos del 241,26% y 169,26%, respectivamente, con respecto al compuesto sin tratamiento.

En las propiedades de tracción del material tratado con ácido acético presentó un aumento en su módulo elástico y esfuerzo máximo del 20,10% y 14%, respectivamente, en comparación con el material compuesto sin tratamiento.

En las propiedades de compresión se logró un aumento del módulo elástico y esfuerzo máximo del 33,13% y 25,14%, respectivamente, en comparación con el material compuesto sin tratamiento.

Se resalta la importancia de una adecuada gestión de los recursos agroindustriales y su aportación como productos sostenibles, ya que esto abre nuevas oportunidades para el desarrollo de materiales compuestos.

Recomendaciones

Se recomienda la optimización e innovación de los procesos productivos haciendo uso de tecnología y métodos idóneos para su desarrollo. Además, se debe considerar una correcta formulación entre los materiales con el objetivo de lograr productos con estándares de calidad.

Adoptar un enfoque sistemático en el tratamiento químico de las fibras, implementando métodos innovadores que minimicen la contaminación y logren una mayor eficiencia.

Realizar un estudio de mercado en el que se contemple los costos de producción, precios de venta, tendencias, demanda y viabilidad comercial, con la finalidad de establecer una base sólida que facilite la toma de decisiones estratégicas y adaptación a los cambios del mercado.

Fortalecer la investigación y desarrollo en nuevas alternativas de fibras naturales como la corona de piña, pepa de aguacate, cascara de naranja, cabuya y floricultura, entre otras.

Referencias

- Aeronáutico, I., Renato, Á., Morales, P., Güemes, A., & Fernández López, A. (2019). *Materiales Compuestos de Fibras Naturales*.
- Artiaga, R., Mier, J. L., & Varela, A. (2012). *Transformación de materiales polímeros*.
- Barboza, D., & Rimapa, D. (2017). *Proyecto de pre- factibilidad instalación de una planta de producción polietileno a partir de etileno*.
- Barrios Guzmán, M., Javier, A., García Enríquez; Manríquez-González, S; Rivera Prado, R.; De Jesús, J., Ramírez, L., & Guadalupe, M. (2015). Compósitos biodegradables elaborados a partir de almidón termoplásticos y partículas de madera de fresno. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6, 26–41.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63442133003>
- Beltrán, M. (2011a). *Bases del procesado de polímeros*.
- Beltrán, M. (2011b). *TEMA 1. Estructura y propiedades de los polímeros*.
- Beltrán Rico, M. M. G. A. (2012). *Tecnología de Polímeros*. Publicación Universidad de Alicante.
- Burbano Narváez, L. E., & Núñez Núñez, D. A. (2017). *Influencia del tratamiento químico de la fibra de fique en las propiedades mecánicas de un material compuesto*.
- Cáceres Espitia, J. J., Caycedo Lozano, L., & Trujillo Suárez, D. M. (2021). Efecto bactericida del ácido acético presente en el vinagre, una alternativa a desinfectantes sintéticos o químicos. revisión sistemática. *Revista Boletín Redipe*, 1–12.
- Calderón Freire, E., Ortega Espín, A., & Torres Gallegos, L. (2019). Revista Científica Indexada en Latindex. *Fabricación de Material Biodegradable a Base de Polímeros Termoplásticos Combinados Con Fibras Cortas de Lino*, 1, 1–81.
- Callister, W. D. R. D. G. (2019). *Ciencia e Ingeniería de materiales* (Novena edición).
- Campana Díaz, C. A. L. V. H. H. (2011). *Diseño de sistemas mecánicos para latrituración, lavado y secado de pe-hd de desecho y determinación de los parámetros de selección de una inyectora para la fmsb santa bárbara S.A.*
- Canongia Carla. (2009). *Plásticos*.

- Castells, X. E. (2000). *Reciclaje de residuos industriales* (J. Bravo, Ed.; Días de Santos S. A.).
- Castillo Armas, E. M. (2017). *Evaluación del rendimiento y caracterización fisicoquímica del extracto acuoso de la semilla de linaza variedad marrón (Linum usitatissimum L.). Aplicado a cosméticos mediante técnica de maceración dinámica*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Cedeño, G., Soto, M., Terán, N., Walters, A., & Crooks, K. (2022). *Conciencia ambiental frente al inadecuado manejo del plástico por el ser humano environmental awareness against the inappropriate handling of plastic by the human being*. 1. <https://orcid.org/0000-0002-6332-9562>
- Cienciosi Pablo. (2014). *Polímeros*.
- Copara Llumiquinga, C. M., & Betancourt Chávez, D. G. (2017). *Aprovechamiento de las fibras de alpaca y oveja para accesorios de moda para mujeres de 20 a 35 años*.
- Cornejo Arteaga, P. M. de L. (n.d.). *Boletín Científico: UAEH*. Boletín Científico. Retrieved May 10, 2024, from <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa3/n5/m8.html>
- Cuesta Francisco. (2014). *Escuela superior politécnica del litoral Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas ingeniero químico*.
- Da Costa, C. E., Velasco López, F., Manuel, J., & Castelló, T. (2000). *Materiales compuestos de matriz metálica. I parte. Tipos, propiedades, aplicaciones*. <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es>
- Deaquiz Oyola, Y. A., & Moreno Medina, B. L. (2016). *Producción de biosíntesis de fibras vegetales*.
- Díaz Herrera, Y., Alberto Villaseñor Perea, C., Pérez López, A., Mancera Rico, A., del Rosario Venegas Ordóñez, M., & Ramírez Jaspeado, A. (2022). *Elaboración y caracterización físico-mecánica de biocompuestos a base de harina de arroz y fibra de bagazo de caña Preparation and physical-mechanical characterization of biocomposites based on rice flour and cane bagasse fiber*. <http://biotecnia.unison.mx>
- Esteban, G., Beltrán, E., Antonio, J., & Pacheco, H. (2016). *Caracterización de materiales compuestos para la aplicación en la carrocería del vehiculomonoplaza tipo formula sae*.

- Felipe, A., Paola, M., Sanguino, A., Jaimes, C., Aura, V., Barrera Néstor, V., Sarmiento, M., Bohórquez, N., Andrey, T., César, N., Flórez, A., & Rivera, W. (2021). *Polietileno de alta densidad PE-HD*.
- Figuerola, F., Muñoz, O., & Estevéz, A. M. (2008). *La Linaza como fuente de compuestos bioactivos para la elaboración de alimentos*. 36(2), 49–58.
- Gustavo, M. (1983, March). *polímeros - Revista Ciencias*. Ciencias. <https://www.revistacienciasunam.com/es/139-revistas/revista-ciencias-4/1083-pol%C3%ADmeros.html>
- Janices, A. B., & Katime, I. (2014). Propiedades físicas y mecánicas de sistemas bicomponentes. In *Rev. Iber. Polímeros* (Vol. 15, Issue 6).
- Jensen, N. B. (2021, October 21). *Informe de la ONU sobre contaminación por plásticos advierte sobre falsas soluciones y confirma la necesidad de una acción mundial urgente*. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/informe-de-la-onu-sobre-contaminacion-por-plasticos>
- Larios Giles, G. A. (2019). *Evaluación de tres métodos de tratamiento químico de la fibra de coco para su uso como adsorbente de diésel en agua*. Universidad Nacional “ ‘ Pedro Ruiz Gallo”.
- López, F., Ramos, S., Mendizábal, E., Pedro, M., & Gudiño, O. (2016). *Introducción a la ciencia de los polímeros*. <http://ecucei.com/polimeros/>
- López-Carrasquero, F. (2014). *Fundamentos de polímeros*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2573.0000>
- Luna, P., & Lizarazo-Marriaga, J. M. (2022). Fibras naturales como refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica. *Momento*, 2022(65), 65–79. <https://doi.org/10.15446/mo.n65.103151>
- Magro Porras, M. A. (2015). *Caracterización fisicoquímica, químico proximal y sensorial de harina pre-cocida a partir de semilla germinada de linaza (Linum usitatissimum) mediante auto clavado y tostado*. Universidad Nacional del centro del Perú.

- Mazón Ortiz, G. E. (2017). *Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales.*
- Mijangos Carmen. (2020). 100 años de Ciencia de Polímeros en el mundo, 73 años en nuestro país.
- Montero Clara, M. F. (2018). *Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central Resumen.* <http://www.salobillarpool.com/xprepository/bi->
- Morales Pozo, R. Á., Güemes, A., & Fernández López, A. (2019). *Materiales Compuestos de Fibras Naturales.*
- Navia Porras, D. P., & Bejarano Arana, N. (2014). Evaluación de propiedades físicas de bioplásticos termo-comprimidos elaborados con harina de yuca. In *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* (Vol. 12, Issue 2).
- Newell James. (2013). *Ciencia de Materiales Aplicaciones en Ingeniería.*
- Pariona Huanaco, J. J. (2020). *Compósitos reforzados con fibras naturales.*
- Pérez, M. A., & Sánchez, M. (2014). Fundamentos de la mecánica de los materiales compuestos. In *Aplicaciones avanzadas de los materiales compuestos en la obra civil y la edificación* (pp. 19–50). OmniaScience. <https://doi.org/10.3926/oms.200>
- Piña Ramírez, C. (2018). *Comportamiento físico-mecánico y térmico de los morteros de cemento aditivados con fibras minerales procedentes de residuos de construcción y demolición.*
- Ponce, D. S., & Guerrero, V. (2014). *Propiedades mecánicas de compuestos biodegradables elaborados a base de ácido poliláctico reforzados con fibras de abacá.*
- R. Mujal, R., J. Orrit, P., X. Ramis, J., M. Marin, G., & Ahmed, R. (2011). *Características dieléctricas de diversos polímeros (PVC, EVA, HDPE, y PP) reforzados con neumáticos fuera de uso (GTR).* 68.
- Riera, M. A., Maldonado, S., & Palma, R. (2019). Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial*, 17(3), 227–246. <https://doi.org/10.22320/S07179103/2018.13>

- Rivera Cruz, J. D. (2019). *Análisis del tratamiento de acetilación en las propiedades mecánicas de un compuesto de matriz polimérica a base de fibra natural*. Universidad Autónoma de Baja California.
- Rivera María. (2020). *Polímeros entrecruzados o reticulados Center for Nanotechnology Education*. www.nano-link.org.
- Robayo Salazar, R. A., Delgado Gómez, F., Portocarrero Herman, J., Trisancho Reyes, J. L., Pérez Muñoz, D., & Holguín Patiño, M. P. (2021). *Materiales Compuestos Clasificación, procesamiento y aplicaciones Soluciones para los sectores aeronáutico, aeroespacial y defensa*.
- Salgado-Chavarría, D., & Palacios-Alquisira, J. (2021). One Hundred Years of Macromolecular Chemistry. *Educacion Quimica*, 32(1), 20–30. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.1.76662>
- Sanchez, L. O., Leonardo, T., Sanchez, O., Ramírez, T., Denise, S., San□ago, R., Aguilar, D. A., Emiliano, S., Aguilar, A., Guadalupe, M., María, L., Luna, G., & Sandoval, S. (2024). *Trayectoria histórica de los polímeros Trayectoria histórica de los polímeros sintéticos. sintéticos*.
- Sileoni, A., Almandoz, M., & Díaz, R. (2011). *Polímeros*.
- Solís Acosta, M. E. (2018). *Universidad técnica de Ambato facultad de Ciencia e Ingeniería en alimentos*.
- Suárez Castañeda, J. L., Restrepo Montoya, J. W., Quinchía Figueroa, A., & Mercado Navarro, F. A. (2017). Fibras vegetales colombianas como refuerzo en compuestos de matriz polimérica. *Revista Tecnura*, 21(51), 57. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.1.a04>
- Tamas-Gavrea, D. R., Istoan, R., Tiuc, A. E., Dénes, T. O., Vasile, O., & Constantinescu, H. (2021). Development of new composite products based on flax fibres. *Coatings*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/coatings11050551>

- Tapia, C., Paredes, C., Simbaña, A., & Bermúdez, J. (2006). Aplicación de las Fibras Naturales en el Desarrollo de Materiales Compuestos y como Biomasa. *Revista Tecnológica ESPOL*, 19(1), 113–120.
- Varón, D. J., Gimeno, R. B., Ferrándiz Bou, S., & Sanoguera, D. G. (2012). "Estudio, análisis y "Study, analisys and classification of thermoplastic elastomers."
- Velasco Illescas, I. E. (2019). *Obtención de aceite de semillas de linaza (Linum usitatissimum L.) mediante la extracción por solvente.*
- Yaguno Hallasi, E. D. (2024). *Adición de fibra de lino en las propiedades mecánicas del concreto con agregados reciclados en San Roman Puno 2023.*
- Zambrano Sanchez, M. E. (2023). *Reciclaje de polietileno de alta densidad (PEAD) utilizando el proceso de operaciones unitarias de inyeccion para su aprovechamiento facultad de ingenieria y ciencias aplicadas.*