



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Obtención de un material biocompuesto a partir de
bagazo de caña de azúcar y caucho natural como
sustituto del plástico**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL**

AUTORA:

CINTHIA CHERYL GARCÍA VARGAS

ASESOR:

MG. ING. JUAN ALBERTO PERALTA MEDINA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

TRATAMIENTO Y GESTIÓN DE LOS RESIDUOS

LIMA – PERÚ

2017 - I

Página del jurado

.....
Ms. Mg. Suarez Alvites Haydee
Presidente

.....
Mg. Ing. Juan Alberto Peralta Medina
Secretario

.....
Dr. Jiménez Calderón César
Vocal

Dedicatoria

A mamá

Agradecimientos

Agradezco a Dios por poner en mi camino a grandiosas personas,
piezas claves en mi vida.

Este trabajo de investigación no se
hubiese llevado a cabo sin el apoyo del
Ing. Alejandro Suarez, el Sr. Edgar Canahuire,
el Ing. Julio Días, mi prima Sheylla
y mis amigos Freyre y
Miguel.

Y que más que agradecerle a mi madre
por impulsarme a volar
cada día más alto.

Declaración de Autenticidad

Yo Cinthia Cheryl García Vargas con DNI N° 46957695, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 18 julio de 2017

.....
Cinthia Cheryl García Vargas

DNI 46957695

Presentación

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada “**Obtención de un material biocompuesto a partir de bagazo de caña de azúcar y caucho natural como sustituto del plástico.**”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Ambiental.

La Autora

ÍNDICE

Página del jurado	2
Dedicatoria	3
Agradecimiento	4
Declaratoria de autenticidad	5
Presentación	6
Índice	7
Resumen.....	8
Abstract.....	9
I. INTRODUCCIÓN	10
1.1 Realidad Problemática	11
1.2 Trabajos previos.....	12
1.3 Teorías relacionadas al tema	15
1.4 Formulación del problema.....	40
1.5 Justificación del estudio	41
1.6 Hipótesis	41
1.7 Objetivos	42
II. MÉTODO.....	43
2.1 Diseño de investigación	44
2.2 Variables, operacionalización.....	55
2.3 Población y muestra.....	55
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad...56	
2.5 Métodos de análisis de datos.....	57
2.6 Aspectos éticos	57
III. RESULTADOS.....	58
IV. DISCUSIÓN	73
V. CONCLUSIONES	76
VI. RECOMENDACIONES.....	79
VII. REFERENCIAS	81
ANEXOS	85

Resumen

El presente trabajo de investigación aborda la problemática de la contaminación por la generación de residuos plásticos dando una alternativa para sustituir los plásticos utilizando bagazo de caña de azúcar y el caucho natural para dar lugar a un material biocompuesto y disminuir los altos índices de contaminación.

La primera etapa de la investigación consistió en el tratamiento del bagazo de caña de azúcar para disminuir su carácter hidrófilico mediante un tratamiento alcalino. La segunda etapa de la investigación consistió en el laminado para ello se utilizó una laminadora convencional, la cual consiste en dos rodillos que se encuentran en movimiento donde se le añade el bagazo de caña de azúcar, caucho natural procesado, sílice, tiza, óxido de zinc, azufre, ácido esteárico, MBTS, ZDMC, PEG y aceite, obteniendo así el laminado con los diferentes componentes.

Al final del laminado se obtuvo 9 muestras, 5 muestras con diferentes proporciones de bagazo de caña de azúcar y caucho natural, siendo el Tratamiento 5 el que se repitió 5 veces.

La etapa de moldeo de compresión en caliente es la etapa final para la obtención del material biocompuesto para ello se utiliza una prensa hidráulica donde se coloca el material laminado en moldes a una temperatura de 164 °C, una presión de 2000 psi y con un tiempo de 5 minutos.

Abstract

The present research deals with the problem of pollution by the generation of plastic waste giving an alternative to replace plastics using sugarcane bagasse and natural rubber to give rise to a biocomposite material and to reduce the high contamination rates.

The first stage of the research consisted in the treatment of the bagasse of sugar cane to diminish its hydrophilic character through an alkaline treatment. The second stage of the investigation consisted of the rolling of a conventional rolling mill, which consists of two rollers that are in movement where sugar cane bagasse, processed natural rubber, silica, chalk, Zinc, sulfur, stearic acid, MBTS, ZDMC, PEG and oil, thus obtaining the laminate with the different components.

At the end of the lamination, 9 samples, 5 samples with different ratios of sugarcane bagasse and natural rubber were obtained, with Treatment 5 being repeated 5 times.

The pressing step is the final stage for obtaining the biocomposite material. A hydraulic press is used to place the laminated material in molds at a temperature of 164 ° C, a pressure of 2000 psi and a time of 5 minutes.

Keywords: Biocomposite material, Sugarcane bagasse, Natural rubber

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La gran mayoría de los objetos y materiales comunes son sintéticos denominados también como productos petroquímicos.

Si bien una de las mayores ventajas de los materiales plásticos es su durabilidad, es también el principal problema de acumulación de residuos sólidos, ya que estas no son biodegradables.

Según el informe del estado de la gestión de los residuos sólidos municipales en el Perú (2014-2015) se generaron alrededor de 1972 toneladas de residuos plásticos al día. Así mismo según el estudio *Entrada de residuos de plástico de la tierra en el océano* (2015), publicado en Science, se calculó que en el año 2010 se generaron 275 millones de toneladas métricas de residuos plásticos en 192 países costeros.

Es por ello que la comunidad científica, técnica y empresarial están interesados en el desarrollo de nuevos materiales que sean amigables con el ambiente, cuyos costos de producción sean menores, donde se busca reducir la dependencia de materias primas sujetas a grandes fluctuaciones de precio que dan lugar a las sintéticas tradicionalmente empleadas resultantes de procesos petroquímicos y se logre así reducir la dependencia del consumo de plásticos y por ende disminuir la generación de estos residuos.

Es así que la investigación se está enfocando en el uso de las fibras naturales como refuerzo por ser un recurso renovable y biodegradable, además de ser de bajo costo.

La finalidad de este trabajo se concreta en el estudio de un material biocompuesto a base de bagazo de caña de azúcar y caucho natural como una alternativa para sustituir el plástico, promoviendo el aprovechamiento de un residuo como el bagazo de caña de azúcar y la demandada del recurso y la reintegración del árbol de caucho al ecosistema.

1.2. Trabajos Previos

Se encontraron los siguientes antecedentes que hacen referencia al estudio: VEGA et al. (2008), presentaron el estudio *“Materiales poliméricos compuestos obtenidos a partir de los residuos generados por la agroindustria de la caña de azúcar. Una alternativa adicional. II.”* El cual tuvo como objetivo la preparación de poliuretanos con melaza de caña de azúcar con refuerzo de fibra del bagazo de la caña de azúcar para obtener un material compuesto. Del cual se concluyó que la utilización de los desechos de la actividad agroindustrial de la caña de azúcar, permite elaborar materiales compuestos con propiedades adecuadas a las aplicaciones requeridas. Las espumas de poliuretano sintetizadas con la sustitución parcial del PEG por la melaza y reforzadas con el bagazo de caña de azúcar, pueden ser utilizadas en la industria del embalaje; en este caso, los materiales se emplean por periodos cortos, y por lo general son muy voluminosos, poco densos. Así, el uso de este tipo de espuma es muy adecuado porque además de que los materiales empleados en su síntesis son de fácil adquisición y de bajo costo, el material adquiere características de ser potencialmente biodegradable, y se da un uso más adecuado a los materiales considerados como residuos.

Así mismo, GALLEGOS (2011), presento el estudio *“Obtención de un material compuesto de matriz elastomérica y fibra de coco”*. Tesis para optar el grado académico de Ingeniero Agroindustrial de la Escuela Politécnica Nacional de Quito, Ecuador. Su objetivo fue la obtención del material compuesto para la formación de láminas de fibra de coco con una matriz elastomérica, con bajo presupuesto. Para la preparación de las láminas del material compuesto se realizaron cuatro procesos de prueba, por Preparación en capas, Inmersión del látex, Reducción de sólidos y Aspersión del látex; obteniendo mejores resultados con el último proceso. El tratamiento de la fibra de coco se realizó mediante el proceso de mercerizado con una concentración de 20% de NaOH por 5 min. Para la realización de las pruebas de resistencia a la tracción bajo la norma ASTM D 412 y pruebas de rasgado con la norma ASTM D1004 se realizaron las muestras con dos concentraciones, una con 80% de fibra y la otra con 60% de fibra mediante

el método se Aspersión del látex. Se obtuvieron 10 muestras con cada porcentaje, llegando a la conclusión de que para un porcentaje de 80% de fibra en peso es necesario un esfuerzo a ruptura de 0.502 N/mm^2 y con 60% de fibra es preciso un esfuerzo de 0.118 N/mm^2 , concluyendo así que, la fibra ofrece una resistencia especialmente a la tracción. Esta resistencia también depende de la cantidad de látex que se utiliza ya que este le confiere elasticidad al material.

Así también, RODRÍGUEZ (2014), presentó el estudio *“Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano”*. Tesis para optar el grado académico de Magister en Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Colombia, Colombia. El cual tuvo como objetivo elaborar y caracterizar biocompuestos basados en fibra del pseudotallo de plátano. Para ello se trataron las fibras del pseudotallo de plátano con 1% de silano. La preparación de los materiales biocompuestos fue mediante el moldeo manual donde se utilizó la fibra del pseudotallo de plátano, tratada y sin tratar tejidas en matriz de poliéster. En conclusión la fibra tratada del pseudotallo de plátano (20%) y matriz de poliéster tuvo una resistencia a la tracción de 37.1 MPa. Así mismo, la fibra sin tratar del pseudotallo de plátano (20%) y matriz de poliéster tuvo una resistencia a la tracción de 32.9 MPa.

CARRILLO (2016), presentó el estudio *“Diseño de un Material Compuesto con Matriz de Resina Poliéster y Fibras de Aserrín y PET”*. Trabajo de investigación de la Universidad Internacional SEK. Ecuador. El cual tuvo como objetivo desarrollar un material compuesto a base de una matriz de una resina de poliéster, aserrín y PET. La preparación del material se realizó por el método de agitación el cual consistió de tres tipos de mezcla donde se varían las cantidades de resina poliéster, aserrín, PET, estireno, cobalto y MEK-Peróxido; la mezcla es regada en el molde donde se dejó reposar por 24 h hasta su solidificación, obteniendo probetas para determinar las resistencias mecánicas a la tracción y a la flexión del material. En conclusión fue la tercera mezcla donde se utilizó 1500 gramos de resina de poliéster, 150 gramos de estireno, 200 gramos de aserrín, 100 gramos de PET, 3 gramos de cobalto y 22 gramos de MEK-Peróxido, el material con mayor

resistencia a la tracción ASTM D630 con un valor de 18.58 MPa y una mayor resistencia a la flexión ASTM D790 con el valor de 99.57 N/mm².

Por otro lado, ROJO (2011), presento el estudio *“Formulación y caracterización de materiales compuestos de matriz fenólica reforzados con fibras celulósicas modificadas tipo viscosa”*. Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ciencias Químicas de la Universidad Complutense de Madrid, España. Su objetivo fue el estudio de nuevos materiales compuestos basados en una matriz fenólica reforzada con fibras celulósicas de tipo viscosa procedentes de madera de eucalipto. La elaboración de los materiales compuestos inició con la modificación de la superficie de la fibra celulósica a través de los tratamientos con NaOH y silanos. Una vez que se han seleccionaron como tratamientos más eficaces de las fibras celulósicas la mercerización con NaOH al 1 % y el empleo del silano AAPS al 1,5 %, se estudió la influencia de la incorporación de distintos porcentajes de dichas fibras modificadas (1, 3, 5 y 7 %) sobre las propiedades de los materiales compuestos reforzados. Por cada unidad porcentual de fibra se mezcla a 800 rpm durante 5 minutos con la resina fenólica para garantizar un buen contacto fibras-resina. El material compuesto que en conjunto ofreció las mejores propiedades fue el reforzado con 3 % de fibra celulósica tipo viscosa modificada con el silano AAPS al 1.5 % durante 100 min. Los valores de las propiedades mecánicas de este material en los ensayos de tracción ASTM D 638 y flexión ASTM D 790 son: tensión máxima de 16,65 y 25,13 MPa, deformación máxima de 2,82 y 2,39 %.

QUESADA et al. (2005), presentaron el estudio *“Utilización de las fibras del rastrojo de piña (ananas comusus, variedad champaka) como material de refuerzo en resinas de poliéster”*, el cual tuvo como objetivo la evaluación del grado de reforzamiento de las fibras de rastrojo de piña sin tratamiento, en una matriz de resina poliéster no saturado de uso comercial. Se prepararon materiales compuestos con fibra de distinta longitud, y con diferente porcentaje de la misma. Se evaluaron sus propiedades a través de la densidad, resistencia a la ruptura por tensión, flexión y energía de impacto. De estas propiedades se observó una mejora en la resistencia a la ruptura

por tensión, con valores cercanos a los 20 MPa. El análisis de la interfase entre la fibra y la matriz por microscopía electrónica de barrido (SEM) reveló que no existe una buena adhesión entre la fibra y la matriz. Sin embargo, se encontró que esta adhesión puede ser incrementada por el aumento en la presión de moldeo durante la preparación del material.

Así también AMIGÓ et al. (2016), presentaron el estudio *“Aprovechamiento de residuos de fibras naturales como elementos de refuerzo de materiales poliméricos”*, el cual tuvo como objetivo comparar productos obtenidos por inyección de polietileno de alta densidad reciclado reforzado con fibras de algodón, cáñamo y sisal, donde se utilizaron 20 y 30% con las fibras de algodón, del 20, 30 y 40% para las fibras de cáñamo y del 30, 40 y 50% con las fibras de sisal, evaluándose su comportamiento mecánico mediante ensayos de tracción y flexión mediante un módulo de tracción MTEST2000 de Gatan Inc. En conclusión los materiales procesados con fibras de cáñamo, algodón y sisal presentan una resistencia a la tracción de 285, 264-654 y 444-552 MPa, pero son los compuestos de algodón los que presentan mejor plasticidad. En todos los casos se aprecia una buena adherencia matriz/fibras lo que supone buena procesabilidad.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. MATERIALES BIOCOPUESTOS

Los materiales biocompuestos son materiales formados por una matriz y un refuerzo de fibras naturales. La matriz está formada por derivados de recursos renovables y recursos no renovables. La matriz es importante para proteger las fibras de degradación ambiental y daños mecánicos, para sujetar las fibras y transferir las cargas sobre el mismo. Las fibras son los componentes principales de los biocompuestos, que se derivan de orígenes biológicos tales como las fibras de algodón, lino, cáñamo, madera reciclada, papel usado, subproductos de procesamiento de cultivos o fibra de celulosa regenerada.

Muchas ventajas están asociadas con el uso de fibras naturales, incluyendo el bajo costo, abundancia, baja densidad, altas propiedades específicas y el uso de residuos que son incinerados. Así, la combinación

de la fibra natural con una matriz ofrece una respuesta para mantener el desarrollo sostenible de la tecnología económica y ecológica.

FIBRAS NATURALES COMO REFUERZO

Las fibras naturales son un recurso renovable por excelencia. No contribuyen al aumento de las emisiones de dióxido de carbono y al final de su ciclo de vida, las fibras naturales son 100% biodegradables. AIMPLAS. Instituto Tecnológico del Plástico (2009).

Las fibras naturales tienen una buena resistencia mecánica, poco peso y bajo costo. Esto las ha hecho especialmente atractivas a la industria del automóvil. En Europa se estima que los fabricantes de automóviles están utilizando unas 80 000 toneladas de fibras naturales al año para reforzar los paneles termoplásticos. AIMPLAS. Instituto Tecnológico del Plástico (2009).

Clasificación de las Fibras Naturales

Los materiales biocompuestos se dividen en fibras no madereras y fibras de madera. Las fibras no madereras son las más atractivas para la industria debido a las propiedades físicas y mecánicas que presentan. Las fibras de madera tienen este nombre porque casi el 60% de su masa es elementos de madera. Presenta fibras de madera blanda (larga y flexible) y fibras de madera dura (más cortas y más rígidas).

Tabla N° 1. Clasificación de las Fibras Naturales

FIBRAS NATURALES NO MADERERAS					FIBRAS DE MADERA
Fibras de paja	Líber	Hoja	Semillas / Frutas	Fibras de hierba	
Arroz, Trigo, Paja de maíz	Kenaf, lino, yute, cáñamo	Henequén, sisal, fibra de hoja de piña	Algodón, coco	Bambú, hierba del elefante	Maderas suaves y duras

Fuente: AIMPLAS. Instituto Tecnológico del Plástico (2009).

MODIFICACIÓN DE LA SUPERFICIE DE FIBRAS

Las principales desventajas de las fibras naturales en el refuerzo de los materiales compuestos son la escasa compatibilidad entre la fibra y la matriz y su relativa alta absorción de humedad. Por lo tanto, las modificaciones de la fibra natural se consideran modificando las propiedades superficiales de la fibra para mejorar su adhesión con diferentes matrices. Se podría conseguir una resistencia y rigidez ejemplares con una interfaz fuerte que es de naturaleza muy frágil con una fácil propagación de grietas a través de la matriz y la fibra. La eficiencia de la transferencia de tensión de la matriz a la fibra podría reducirse con una interfaz más débil. FARUCK et al. (2012).

Tratamiento alcalino

El tratamiento alcalino o la mercerización es uno de los métodos químicos más utilizados (elimina una cierta cantidad de lignina, cera y aceites que cubren la superficie externa de la pared celular de la fibra) para fibras naturales cuando se usa para reforzar termoplásticos y termoendurecibles. La modificación importante conseguida con el tratamiento alcalino es la interrupción del enlace de hidrógeno en la estructura de la red, aumentando así la rugosidad de la superficie. FARUCK et al. (2012).

Tratamiento de silano

La energía superficial de las fibras está estrechamente relacionada con la naturaleza hidrófila de la fibra. Algunas investigaciones se refieren a métodos para disminuir la hidrofiliidad. Los agentes de acoplamiento de silano pueden aportar propiedades hidrófilas a la interfase, especialmente cuando se usan silanos amino-funcionales, tales como epoxis y uretanos silanos, como imprimaciones para polímeros reactivos. FARUCK et al. (2012).

Tratamiento de Acetilación

La acetilación es otro método para modificar la superficie de las fibras naturales y hacerlas más hidrófobas. Describe la introducción de un

grupo funcional acetilo en un compuesto orgánico. La idea principal de la acetilación es revestir los grupos OH de fibras que son responsables de su carácter hidrófilo con moléculas que tienen una naturaleza más hidrófoba. FARUCK et al. (2012).

MATRIZ

La forma de los compuestos, la apariencia superficial, la tolerancia ambiental y la durabilidad general están dominadas por la matriz mientras que el refuerzo fibroso lleva la mayoría de las cargas estructurales, proporcionando así rigidez y resistencia macroscópicas.

MATRICES POLIMÉRICAS

Los materiales compuestos de matriz polimérica son los más empleados. Los polímeros se pueden clasificar atendiendo a diversos criterios como su origen, morfología, comportamiento térmico, grado de reticulación, etc. En relación a su grado de reticulación, los polímeros más frecuentemente empleados como matriz en materiales compuestos son los termoplásticos y los termoestables, cuyas características se describen a continuación. CASELLES et al. (2015).

Matrices Termoplásticas. Son los polímeros que a temperatura ambiente son deformables y que al calentarse se funden, endureciéndose cuando se enfrían lo suficiente para alcanzar un estado vítreo. No tienen enlaces cruzados y obtienen su resistencia y rigidez de las propiedades inherentes a las unidades monoméricas y de su elevado peso molecular. CASELLES et al. (2015).

Las más utilizadas en fabricación de materiales compuestos son las de: polipropileno, poliamidas, como el nylon 6-6, policarbonatos, poliésteres saturados, poliacetales, polisulfonas, polieterimidias y poliariletercetonas. CASELLES et al. (2015).

Matrices Termoestables. Existe una amplia variedad, destacando las resinas fenólicas, resinas de vinilester y resinas epoxi. CASELLES et al. (2015).

Las resinas epoxi son las más utilizadas cuando se utilizan fibras de carbono como refuerzo y son que ofrecen mayores prestaciones. Las resinas de poliéster, siendo más baratas y no tan fuertes como la resina epoxi suelen reforzarse con fibra de vidrio. CASELLES et al. (2015).

METODOS DE FABRICACIÓN

Moldeo por compresión

El método de presión es muy popular en la fabricación de materiales compuestos de fibras naturales debido a su alta reproducibilidad y bajo tiempo de ciclo. Los dos métodos en uso son la compresión y el moldeo por compresión de flujo. FARUCK et al. (2012).

Se colocan en la prensa el molde y su contra-molde metálicos, entre los que se cargan las materias primas (resina y fibras) y se aplica calor y presión para favorecer la polimerización del material. Después del curado del mismo se retira la presión hidráulica aplicada y se extrae la pieza del molde. ROJO (2011)

Moldeo por extrusión

El proceso de extrusión es utilizado por la industria de plásticos para la producción de gránulos y también en la producción continua de productos semi- acabado o componentes. Para este proceso se pueden utilizar tornillos sinfín así como extrusores de doble husillo que funcionan con o sin contra-rotación. Los extrusores de tornillo único se utilizan cuando el efecto de mezcla no tiene que ser muy alto. Debido al excelente efecto de mezcla de la extrusora de doble husillo, los materiales de fibra naturales pueden ser distribuidos homogéneamente y humedecidos en la masa fundida termoplástica. FARUCK et al. (2012).

Moldeo por inyección

Es posible producir componentes geométricos complejos con elementos funcionales rápidos y también en gran número mediante moldeo por inyección. Ofrece una serie de ventajas (economía de escala, mínimo deformación y encogimiento, integración de alta función, uso de

materiales reciclados) en comparación con el moldeo por compresión. FARUCK et al. (2012).

Método de fibra óptica termoplástica directa (LFT-D)

Diferentes métodos para procesar directamente las fibras naturales con el proceso LFT-D. Express, que es el pensamiento básico del método combinado de extrusión y prensado para combinar las esteras de fibras naturales con el polímero fundido directamente en la herramienta de prensado. Una película de polímero fundido se coloca en la herramienta de prensado con la ayuda de un extrusor ajustable y se añade una fibra natural a la masa fundida y las capas se presionan juntas. Otra posibilidad de procesar las fibras naturales con el método LFT-D consiste en alimentar directamente los hilos de fibra o los laminadores en una extrusora de doble husillo o directamente en una máquina de moldeo por inyección. La investigación ha demostrado que es posible retener la estructura de fibra larga a través de una configuración óptima de los tornillos; Sin embargo, la manipulación de hilos es bastante problemática en una aplicación industrial (extrusión con alto rendimiento). FARUCK et al. (2012).

PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas más importantes de las composiciones plásticas reforzadas con fibras naturales son las propiedades de tracción y flexión.

Tracción

Las propiedades de tracción indican cómo reaccionará el material a las fuerzas aplicadas en tensión. Un ensayo de tracción es un ensayo mecánico fundamental en el que una muestra cuidadosamente preparada se carga de manera muy controlada mientras se mide la carga aplicada y la elongación de la muestra a cierta distancia. Se usan ensayos de tracción para determinar el módulo de elasticidad, el límite elástico, el alargamiento, el límite proporcional, la reducción de área, la

resistencia a la tracción, el límite de elasticidad, el límite de elasticidad y otras propiedades de tracción. MIRAVETE (2007).

Resistencia a la tracción

$$\sigma_e = \frac{F}{A_0}$$

σ_e =Tensión

F =Fuerza Aplicada

A_0 =Sección Inicial

Alargamiento a la tracción

El alargamiento final de un material de ingeniería es el aumento porcentual en longitud que ocurre antes de que se rompa bajo tensión. Valores finales de elongación de varios cientos por ciento son comunes para elastómeros y poliolefinas de película / empaquetado. Los plásticos rígidos, especialmente los reforzados con fibras, suelen presentar valores inferiores al 5%. La combinación de alta resistencia a la tracción final y alta elongación conduce a materiales de alta tenacidad. MIRAVETE (2007).

Alargamiento Porcentual a Rotura

$$\%EL = \left(\frac{l_f - l_0}{l_0} \right) \times 100$$

l_f = Longitud en el momento de la fractura

l_0 =La longitud de prueba original

La siguiente tabla muestra los valores medios de resistencia a la tracción, el alargamiento a la rotura y los valores de módulo de tracción para algunos polímeros. MIRAVETE (2007).

Tabla N° 2. Módulo típico de resistencia a la tracción, elongación y tracción de polímeros

Tipo de polímero	Resistencia a la tracción Mpa	Elongación (%)	Módulo de tracción GPA
ABS	40	30	2.3
ABS + 30% fibra de vidrio	6	2	9
Acetal Copolymer	6	45	2.7
Acetal Copolymer + 30% fibra de vidrio	110	3	9.5
Acrílico	70	5	3.2
Nylon	70	90	1.8
Poliamida-imida	110	6	4.5
Policarbonato	70	100	2.6
Polietileno, HDPE	15	500	0.8
Tereftalato de polietileno (PET)	55	125	2.7
Poliimida	85	7	2.5
Poliimida + fibra de vidrio	150	2	12
Polipropileno	40	100	1.9
Poliestireno	40	7	3

Fuente: MATWEB (2017).

Flexión

La resistencia a la flexión de un material se define como su capacidad para resistir la deformación bajo carga. Para materiales que se deforman significativamente pero no se rompen, la carga a rendimiento, medida típicamente a 5% de deformación/ deformación de la superficie externa, se indica como la resistencia a la flexión o la resistencia a la flexión.

El ensayo de flexión transversal se emplea con mayor frecuencia, en un espécimen que tiene una sección transversal circular o rectangular, mediante la prueba de flexión con la técnica de tres puntos se dobla y se produce la fractura. La resistencia a la flexión representa la tensión más alta experimentada en el material en su momento de rendimiento. ROMERO et al. (2002).

Fuerza de Rotura

Fuerza de rotura expresada en Newtons (N), obtenida al multiplicar la carga de rotura (F) por la relación entre la separación de los rodillos de apoyo (L) y la anchura de la probeta (b) expresadas en milímetros (mm). (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2015)

$$S = F \times \frac{L}{b}$$

Resistencia a la flexión

Magnitud expresada en Newtons por milímetro cuadrado (N/mm²), obtenida al dividir la fuerza de rotura por el cuadrado del grosor mínimo en la sección de rotura.

(Asociación Española de Normalización y Certificación, 2015)

$$R = \frac{3FL}{2bh^2} = \frac{3S}{2h^2}$$

Tabla N° 3. Módulo típico de resistencia a la flexión

Tipo de polímero	Resistencia a la Flexión (MPa)	Módulo de Flexión (GPa)
ABS	75	2.5
ABS + 30% fibra de vidrio	120	7
Acetal Copolymer	8	2.5
Acetal Copolymer + 30% fibra de vidrio	150	7.5
Acrílico	100	3
Nylon	85	2.3

Tipo de polímero	Resistencia a la Flexión (MPa)	Módulo de Flexión (GPa)
Poliamida-imida	174	5
Policarbonato	90	2.3
Polietileno, MDPE	40	0.7
Tereftalato de polietileno (PET)	80	1
Poliimida	140	3
Poliimida + fibra de vidrio	270	12
Polipropileno	40	1.5
Poliestireno	70	2.5

Fuente: MATWEB (2017).

1.3.2. BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR

El bagazo de la caña de azúcar es el residuo sólido que queda después de que la caña de azúcar se haya triturado y el jugo haya sido removido. En un molino de azúcar ideal, la cantidad máxima de sacarosa es extraída durante el proceso de molienda quedando el bagazo de caña de azúcar. El bagazo representa una materia prima predominantemente lignocelulósica. El bagazo es un material heterogéneo que contiene alrededor de 30% a 40% de fibra, que se deriva del núcleo de la planta y es principalmente material de parénquima, y fibra de bastón, corteza, o vástago, el equilibrio y se deriva en gran medida de material de esclerénquima. BASANTA et al. (2007).

Por cada 10 toneladas de caña de azúcar triturada, una fábrica de azúcar produce casi tres toneladas de bagazo húmedo. Como el bagazo es un subproducto de la industria del azúcar de caña, la cantidad de producción en cada país está en línea con la cantidad de caña producida. Alrededor de 54 millones de toneladas de bagazo seco se producen anualmente en todo el mundo. VALDERRAMA (2002).

Composición del Bagazo

El bagazo de caña de azúcar está compuesto de 48.7% de fibras, 2.3% de solidos solubles, 49% de humedad, 45-55% de celulosa, 18-24% de lignina, 0.6-0.8% de pectina y 1-4% de cenizas. PRABAKARAN (2017).

Tabla N° 4. Composición del Bagazo

Propiedades	Porcentaje (%)
Humedad	49%
Solidos Solubles	2.3%
Fibra	48.7%
Celulosa	45-55
Hemi Celulosa	20-25
Lignina	18-24
Pectina	0.6-0.8
Ceniza	1-4

Fuente: PRABAKARAN (2017).

Usos del bagazo de caña de azúcar

Combustible

El primer uso de este recurso es como proveedor de calor y vapor para satisfacer las necesidades energéticas de los procesos de producción o fermentación del azúcar. Se ha estimado que para ello se requiere un mínimo del 50% del bagazo.

El alto contenido de humedad del bagazo, típicamente de 40% a 50%, es perjudicial para su uso como combustible. En general, el bagazo se almacena antes de su posterior procesamiento. Para la producción de electricidad, se almacena en condiciones húmedas, proceso exotérmico que resulta de la degradación de los azúcares residuales, seca la pila de bagazo ligeramente.

El etanol producido a partir del azúcar en la caña de azúcar es un combustible popular en Brasil .El bagazo rico en celulosa está siendo

ampliamente investigado por su potencial para producir cantidades comerciales de Etanol celulósico. VALDERRAMA (2002).

Papel

Para la producción de papel y pulpa, normalmente se almacena en húmedo para ayudar a eliminar la médula de la fibra, que impiden el proceso de fabricación del papel, así como para eliminar cualquier azúcar restante.

El bagazo se utiliza comúnmente como sustituto de la madera en muchos países tropicales y subtropicales para la producción de pulpa, papel y cartón, como India, China, Colombia, Irán, Tailandia y Argentina. Produce pulpa con propiedades físicas que son bien adecuadas para la impresión genérica y papeles de escritura, así como productos de papel tisú, pero también es ampliamente utilizado para las cajas y la producción de periódicos. También se puede utilizar para hacer tablas parecidas a madera contrachapada o tableros de partículas, llamado tablero de bagazo y se considera un buen sustituto para la madera contrachapada. Tiene amplio uso para la fabricación de particiones y muebles. BASANTA et al. (2007).

1.3.3. CAUCHO NATURAL

El caucho natural proviene de la corteza del árbol *Hevea Brasiliensis* llamado también el árbol de caucho. El género Hevea etimológicamente deriva del indígena Hevé, que significa goma, pertenece a la familia Euphorbiaceae, clase Dicotyledoneae, división Angiospermae. VALVERDE (2010).

Existen un gran número de especies de las que se puede obtener el látex como el *Hevea benthamiana* Muell.-Arg., *Hevea brasiliensis* Muell.-Arg., *Hevea camargoana* Pires., *Hevea camporum* Ducke., *Hevea guianensis* Aublet., *Hevea microphylla* Ule, *Hevea nitida* Mart. ex Muell.-Arg., *Hevea pauciflora* (Spr. ex Benth.) Muell.-Arg., *Hevea rigidifolia* (Spr. ex Benth.) Muell.-Arg., *Hevea spruceana* (Benth.) Muell.-Arg. y *Hevea paludosa* Ule que se encuentran en América tropical. VALVERDE (2010).

La *Hevea brasiliensis* es la de mayor capacidad productiva, variabilidad genética y es responsable de cerca de 99% de todo el jébe o caucho natural producido en el mundo, produce un jébe de buenas propiedades físicas por lo que es conocido como jébe fino, en tanto que las otras especies producen un jébe de inferior calidad en sus propiedades físicas y es conocido como jébe débil. VALVERDE (2010).

Perú posee cinco especies de árbol de caucho: *Hevea guianensis*; *Hevea nítida*, *Hevea pauciflora*, *Hevea brasiliensis*, *Hevea paludosa* y una variedad de *Hevea guianensis var. lutea*. En Madre de Dios se han encontrado árboles silvestres de shiringa (*Hevea brasiliensis*) que producen mucho más que el promedio de lo que se obtiene en las grandes plantaciones de Asia y que los mejores clones que ya están probados. VALVERDE (2010).

El árbol de caucho llega a medir entre 10 y 20 metros de alto, posee un tallo de forma cónica en la base cuando la planta es procedente de la semilla y de forma cilíndrica en plantas injertadas, las plantaciones se dejan ramificar a partir de los 2.5 metros de altura con el fin de obtener un tronco liso que permita una buena sangría. ESPINAL et al. (2005).

El cultivo del árbol de caucho se presenta en las tierras bajas tropicales, entre 0 y 1.200 metros sobre el nivel del mar, entre los 10 grados norte y 10 grados sur, con algunas excepciones. La producción de la plantación depende de la cantidad de días lluviosos, lo ideal es que se encuentre entre los 100 y 150 días al año, la precipitación pluvial ideal va desde los 1.500 y 2.500 mm anuales, la humedad relativa oscila entre un 60% y un 80%, la temperatura media anual óptima es de 25 °C. Las áreas de cultivo deben contar con más de 1.500 horas de sol por año y vientos máximos de 50 Km/h. ESPINAL et al. (2005).

El árbol de caucho puede desarrollarse en suelos que varíen en su reacción química desde muy ácida (pH 4) hasta ligeramente alcalina (pH 7,5) con un rango óptimo entre 4,5 y 6. ESPINAL et al. (2005).

La corteza es la parte más importante del árbol de caucho, donde se encuentran los órganos productores de látex. El látex es una sustancia coloidal de color blanco o crema que contiene las partículas de caucho que se extrae de una pequeña porción de corteza con un corte diagonal descendente a la derecha, mediante un cuchillo especial conocido como gubia, este procedimiento se llama sangría. ESPINAL et al. (2005).

La sangría del árbol de caucho es la práctica más importante en la explotación del cultivo, este determina la vida útil del árbol y su producción es la responsable de gran parte de los costos de producción. ESPINAL et al. (2005).

La mejor época para iniciar la sangría es al final de un período seco. La primera sangría puede realizarse a los cinco años, cuando se tienen 50 árboles por hectárea con una circunferencia superior a los 45 cm a un metro del suelo. La sangría debe ser suspendida durante la época de defoliación–refoliación para tener unos árboles sanos. ESPINAL et al. (2005).

Después de la recolección, el látex es tratado de dos formas, ya sea el látex concentrado al 60% o en forma sólida. El primer tratamiento consiste en mantener el látex en estado líquido agregándole una sustancia anticoagulante a base de amoníaco. El segundo tratamiento consiste en la dilución y la desestabilización coloidal basada en la adición de ácido acético al látex. Posteriormente se calienta en un baño de vapor durante 15 a 30 minutos. El caucho coagulado obtenido, es lavado con agua hasta que desaparece cualquier resto de ácido. La lámina de caucho coagulado se prensa para eliminar toda el agua que contenga. ESPINAL et al. (2005)

Propiedades Físico Químicas

El caucho natural es un polímero 2-metil-1,3-butadieno o isopreno con fórmula C_5H_8 cuyo grado de polimerización es de 2.500 a 4.500, y se caracteriza por su insolubilidad en agua, su resistencia eléctrica y su elasticidad. RAMOS y SANCHEZ (2003)

El caucho puro es insoluble en agua, álcalis y ácidos débiles, pero soluble en benceno, petróleo, hidrocarburos clorados y disulfuro de carbono. Se oxida rápidamente con agentes oxidantes químicos, pero la oxidación es mucho más lenta con el oxígeno de la atmósfera. RAMOS y SANCHEZ (2003)

Las propiedades físicas del caucho bruto varían con la temperatura. A bajas temperaturas, se vuelve rígido, y cuando se congela en estado de extensión adquiere estructura fibrosa. Calentando a más de 100 °C, se ablanda y sufre alteraciones permanentes. RAMOS y SANCHEZ (2003)

Las partículas en el látex de caucho natural son polidispersas y tienen un amplio rango de diámetros, desde 0.01 a 5 micras. El tamaño medio está considerado usualmente de entre 0.25 a 0.8 micras, dependiendo del método utilizado para calcular la media. La mayoría de las partículas en látex son menores de 0.5 micras pero mucha de la masa de caucho reside en partículas mayores de 0.6 micras. BRASERO (2017)

El caucho natural tiene conductividad eléctrica debido a las sales disueltas de la fase acuosa. Los valores de conductividad de muchos látex centrifugados están en el rango de 3 a 5 mS medida a 25°C, pero existen muchos látex centrifugados que exhiben valores mayores. BRASERO (2017)

VULCANIZACIÓN

La vulcanización es un proceso químico para convertir caucho o polímeros relacionados en materiales más duraderos mediante la adición de azufre u otros agentes de curado o aceleradores equivalentes. Estos aditivos modifican el polímero formando puentes entre cadenas poliméricas individuales. Los materiales vulcanizados son menos pegajosos y tienen propiedades mecánicas superiores. MARK y ERMAN (2005)

Aunque el curado del caucho se ha llevado a cabo desde tiempos prehistóricos, el proceso moderno de la vulcanización, nombrado así por el Dios romano del fuego Vulcan, no fue desarrollado hasta el siglo XIX,

principalmente por Charles Goodyear. Hoy en día, una amplia gama de productos se fabrican con caucho vulcanizado, incluidos neumáticos, suelas de zapatos, mangueras y correas transportadoras. MARK y ERMAN (2005)

Métodos

Existe una variedad de métodos para la vulcanización. El método económicamente más importante utiliza alta presión y temperatura después de que el agente de curado se ha añadido al caucho. Una temperatura de vulcanización típica para un neumático de vehículo de calle es de 10 minutos a 177 °C. Este proceso emplea la técnica conocida como moldeo por compresión, donde el artículo de caucho está destinado a adoptar la forma del molde. Otros métodos usan la vulcanización con aire caliente o vulcanización calentada por microondas (ambos procesos continuos) como es el caso para fabricar perfiles de puertas para automóviles. SACCOMANDI y OGDEN (2004)

Cinco tipos de sistemas de curado son de uso común. Ellas son:

- Sistemas de azufre
- Peróxidos
- Óxidos metálicos
- Acetoxisilano
- Reticulantes de uretano

Vulcanización con azufre

Los métodos de vulcanización más comunes dependen del azufre. El azufre, por sí mismo, es un agente de vulcanización lento y no vulcaniza poliolefinas sintéticas. Incluso con caucho natural, son necesarias grandes cantidades de azufre, así como altas temperaturas y largos periodos de calentamiento y se obtiene una eficacia de reticulación insatisfactoria con propiedades de resistencia y envejecimiento insatisfactorias. Sólo con aceleradores de vulcanización se puede lograr la calidad correspondiente al nivel actual de tecnología. El paquete de curado combinado en un compuesto de caucho típico consiste en azufre

junto con un surtido de compuestos que modifican la cinética de reticulación y estabilizan el producto final. Estos aditivos incluyen aceleradores, activadores como óxido de zinc y ácido esteárico y antidegradantes. Los aceleradores y activadores son catalizadores. Se logra un nivel adicional de control retardando agentes que inhiben la vulcanización hasta algún tiempo o temperatura óptimos. Los antidegradantes se utilizan para prevenir la degradación del producto vulcanizado por calor, oxígeno y ozono. SACCOMANDI y OGDEN (2004)

Vulcanización de policloropreno

La vulcanización del caucho se lleva a cabo utilizando óxidos metálicos (específicamente MgO y ZnO, a veces PbO) en lugar de compuestos de azufre que se utilizan actualmente con muchos cauchos naturales y sintéticos. Además, debido a diversos factores de procesamiento, la mayoría de los aceleradores usados convencionalmente son problemáticos cuando los cauchos son curados. Se ha descubierto que el acelerante etenotiourea (ETU), que, aunque es un acelerador excelente, ha sido clasificado como tóxico. La industria europea del caucho ha iniciado un proyecto de investigación para desarrollar una alternativa más segura al uso de ETU. SACCOMANDI, y OGDEN (2004)

Vulcanización de siliconas

La silicona de vulcanización a temperatura ambiente está construida con polímeros reactivos a base de aceite combinados con cargas minerales de refuerzo. Hay dos tipos de silicona vulcanizante a temperatura ambiente:

- RTV-1 (Sistemas de un componente); Endurece debido a la acción de la humedad atmosférica, un catalizador y acetoxisilano. El acetoxisilano, cuando se expone a condiciones húmedas. El proceso de curado comienza en la superficie exterior y progresa hasta su núcleo. El producto se embala en cartuchos herméticos y está en una forma fluida o de la goma. La silicona RTV-1 tiene buenas

características de adhesión, elasticidad y durabilidad. La elongación en la rotura puede variar desde 150% hasta 700%. Tienen una excelente resistencia al envejecimiento debido a una resistencia superior a la radiación UV y a la intemperie. SACCOMANDI y OGDEN (2004)

- RTV-2 (sistemas de dos componentes); Productos de dos componentes que, cuando se mezclan, curan a temperatura ambiente hasta un elastómero sólido, un gel o una espuma flexible. RTV-2 permanece flexible de -80 °C a +250 °C. La descomposición se produce a temperaturas superiores a 350 °C, dejando un depósito de sílice inerte que no es inflamable y no es combustible. Pueden utilizarse para el aislamiento eléctrico debido a sus propiedades dieléctricas. Las propiedades mecánicas son satisfactorias. RTV-2 se utiliza para hacer moldes flexibles, así como muchas piezas técnicas para la industria y aplicaciones paramédicas. SACCOMANDI, y OGDEN (2004)

1.3.4. PLASTICO

El plástico es un material que consiste de una amplia gama de compuestos orgánicos sintéticos o semisintéticos que son maleables y por lo tanto se pueden moldear en objetos sólidos. Consejo Químico Americano (2010)

La plasticidad es la propiedad general de todos los materiales que pueden deformarse irreversiblemente sin romperse, pero en la clase de los polímeros moldeables esto ocurre hasta tal punto que su nombre real deriva de esta capacidad. Consejo Químico Americano (2010)

Los plásticos son típicamente polímeros orgánicos de alta masa molecular, pero a menudo contienen otras sustancias. Son generalmente sintéticos, comúnmente derivados de petroquímicos, pero muchos están hechos de materiales renovables tales como ácido poliláctico de maíz o celulósicos de linters de algodón. Consejo Químico Americano (2010)

Debido a su costo relativamente bajo, facilidad de fabricación, versatilidad e impermeabilidad al agua, los plásticos se utilizan en una gama enorme y creciente de productos, desde clips de papel hasta naves espaciales. Ya han desplazado muchos materiales tradicionales, como la madera, piedra, cuero, papel, metal, vidrio y cerámica. ANDRADY y NEAL (2009)

En los países desarrollados, alrededor de un tercio del plástico se utiliza en envases y otro tercio en edificios como las tuberías utilizadas en plomería o revestimiento de vinilo. Otros usos incluyen automóviles (hasta 20% de plástico), muebles y juguetes. En el mundo en desarrollo, las proporciones pueden ser diferentes; por ejemplo, según se informa, el 42% del consumo de la India se utiliza en envases. ANDRADY y NEAL (2009)

Propiedades y características

Las propiedades y características de la mayoría de los plásticos (aunque no siempre se cumplen en determinados plásticos especiales) son estas:

- Fáciles de trabajar y moldear.
- Tienen un bajo costo de producción.
- Poseen baja densidad.
- Suelen ser impermeables.
- Buenos aislantes eléctricos.
- Aceptables aislantes acústicos.
- Buenos aislantes térmicos, aunque la mayoría no resisten temperaturas muy elevadas,
- Resistentes a la corrosión y a muchos factores químicos.
- Algunos no son biodegradables ni fáciles de reciclar, y si se queman, son muy contaminantes.

Clasificación de los plásticos

Según el monómero base:

En esta clasificación se considera el origen del monómero del cual parte la producción del polímero.

- Naturales: Son los polímeros cuyos monómeros son derivados de productos de origen natural como la celulosa, la caseína y el caucho.
- Sintéticos: Son aquellos que tienen origen principalmente de los derivados del petróleo.

Según su comportamiento frente al calor:

- Termoplásticos. Los termoplásticos son los plásticos que cuando se calientan, no sufren cambios químicos en su composición y por lo tanto pueden ser moldeados una y otra vez. Los ejemplos incluyen: polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y cloruro de polivinilo (PVC). Los termoplásticos comunes oscilan entre 20.000 y 500.000 amu, mientras que los termoendurecibles tienen un peso molecular infinito.
- Termoestables. Los plásticos termoestables son materiales que, una vez que han sufrido el proceso de calentamiento-fusión y formación-solidificación, se convierten en materiales rígidos que no vuelven a fundirse. Generalmente para su obtención se parte de un aldehído.
 - ✓ Polímeros del fenol: Son plásticos duros, insolubles e infusibles pero, si durante su fabricación se emplea un exceso de fenol, se obtienen termoplásticos.
 - ✓ Resinas epoxi.
 - ✓ Resinas melamínicas.
 - ✓ Baquelita.
 - ✓ Aminoplásticos: Polímeros de urea y derivados. Pertenece a este grupo la melamina.
 - ✓ Poliésteres: Resinas procedentes de la esterificación de polialcoholes que suelen emplearse en barnices. Si contienen ácido en exceso, se obtienen termoplásticos.

Según la reacción de síntesis:

También pueden clasificarse según la reacción que produjo el polímero:

- **Polímeros de adición**
Implican siempre la ruptura o apertura de una unión del monómero para permitir la formación de una cadena. En la medida que las moléculas son más largas y pesadas, la cera parafínica se vuelve más dura y más tenaz.
- **Polímeros de condensación**
Son aquellos donde los monómeros deben tener, por lo menos, dos grupos reactivos por monómero para darle continuidad a la cadena.
- **Polímeros formados por etapas**
La cadena de polímero va creciendo gradualmente mientras haya monómeros disponibles, añadiendo un monómero cada vez. Esta categoría incluye todos los polímeros de condensación de Carothers y además algunos otros que no liberan moléculas pequeñas pero sí se forman gradualmente, como por ejemplo los poliuretanos.

Según su estructura molecular

- **Amorfos.** Muchos plásticos son completamente amorfos, tales como: todos los termoendurecibles; Poliestireno y sus copolímeros; y poli (metacrilato de metilo).
- **Semicristalinos y Cristalinos.** Algunos plásticos son parcialmente cristalinos y parcialmente amorfos en estructura molecular, dándoles tanto un punto de fusión, la temperatura a la que las fuerzas intermoleculares atractivas se superan, y también una o más transiciones de vidrio, las temperaturas por encima de las cuales el grado de flexibilidad molecular localizada se incrementa sustancialmente. Los plásticos semicristalinos incluyen: polietileno, polipropileno, cloruro de polivinilo, poliamidas (nilones), poliésteres y algunos poliuretanos.

Tipos de plásticos

- Poliamidas (PA) o (nylons) - fibras, cerdas de cepillos de dientes, tubos, líneas de pesca y piezas de máquina de baja resistencia tales como partes de motores o bastidores.
- Policarbonato (PC) - discos compactos, anteojos, escudos contra disturbios , ventanas de seguridad, semáforos y lentes.
- Poliéster (PES) - fibras y textiles.
- Polietileno (PE) - una amplia gama de usos económicos incluyendo bolsas de supermercado y botellas de plástico.
- Polietileno de alta densidad (HDPE) - botellas de detergente, jarras de leche y cajas de plástico moldeadas.
- Polietileno de baja densidad (LDPE) - mobiliario de exterior, revestimiento, baldosas de suelo, cortinas de ducha y embalaje de clamshell.
- Tereftalato de polietileno (PET) - botellas de bebidas carbonatadas, tarros de mantequilla de maní, film plástico y embalaje para microondas.
- Polipropileno (PP) - tapas de botellas, pajitas, contenedores de yogur, aparatos, defensas de coches (topes) y sistemas de tuberías de presión de plástico.
- Poliestireno (PS) - cacahuetes de espuma, recipientes para alimentos, vajillas de plástico, vasos desechables, platos, cubiertos, discos compactos (CD) y cajas de casete.
- Poliestireno de alto impacto (HIPS) - revestimientos para refrigeradores, envasado de alimentos y tazas de venta.
- Poliuretanos (PU): espumas amortiguadoras, espumas aislantes térmicas, revestimientos superficiales y rodillos de impresión: actualmente el sexto o séptimo plástico más utilizado, por ejemplo, el plástico más utilizado en los automóviles.
- Cloruro de polivinilo (PVC) - tuberías y canalones de plomería, cortinas de ducha, marcos de ventanas y suelos.

- Cloruro de polivinilideno (PVDC) - envasado de alimentos, tales como: Saran
- Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) - equipos electrónicos (por ejemplo, monitores de ordenador, impresoras, teclados) y tubos de drenaje.
- Policarbonato/Acrilonitrilo Butadieno Estireno (PC/ABS) - una mezcla de PC y ABS que crea un plástico más fuerte utilizado en el interior del coche y piezas exteriores, y cuerpos de teléfono móvil.
- Polietileno/Acrilonitrilo Butadieno Estireno (PE/ABS) - una mezcla resbaladiza de PE y ABS utilizados en rodamientos de baja presión seca.

Tabla N° 5. Codificación internacional para los distintos plásticos.

Tipo de plástico	Polietileno Tereftalato	Polietileno de alta densidad	Policloruro de vinilo	Polietileno de baja densidad	Polipropileno	Poliestireno	Otros
Acrónimo	PET	PEAD/HDPE	PVC	PEBD/LDPE	PP	PS	Otros
Código	1	2	3	4	5	6	7

Fuente: MYER (2002)

Plásticos biodegradables y bioplásticos

Los plásticos biodegradables son plásticos que se degradan o se descomponen por exposición a: radiación solar o ultravioleta, agua o humedad, bacterias, enzimas o abrasión del viento. En algunos casos, el ataque de roedores, plagas o insectos también puede considerarse como formas de biodegradación o degradación ambiental. (MYER, 2002)

Algunos modos de degradación requieren que el plástico sea expuesto en la superficie (aeróbico), mientras que otros modos sólo serán efectivos si existen ciertas condiciones en sistemas de relleno sanitario o de compostaje (anaeróbicos).

Algunas empresas producen aditivos biodegradables, para mejorar la biodegradación. El plástico puede tener almidón en polvo añadido como un relleno para permitir que se degraden más fácilmente, pero esto todavía no conduce a la completa descomposición del plástico. (MYER, 2002)

Algunos investigadores han manipulado genéticamente bacterias para sintetizar plásticos completamente biodegradables, como Biopol; Sin embargo, estos son caros en la actualidad. MYER (2002)

Bioplásticos

Mientras que la mayoría de los plásticos se producen a partir de productos petroquímicos, los bioplásticos se hacen sustancialmente a partir de materiales vegetales renovables tales como la celulosa y el almidón. Debido a los límites finitos de las reservas petroquímicas ya la amenaza del calentamiento global, el desarrollo de bioplásticos es un campo en crecimiento. YUTAKA et al. (2009)

Sin embargo, el desarrollo bioplástico comienza desde una base muy baja y, hasta el momento, no se compara significativamente con la producción petroquímica. Las estimaciones de la capacidad de producción mundial de materiales derivados de la biomasa se sitúan en 327.000 toneladas / año, de un consumo mundial, de todos los envases flexibles, estimados en 12,3 millones de toneladas anuales. YUTAKA et al. (2009)

Contaminación por plásticos

Desde los años cincuenta, se han descartado mil millones de toneladas de plástico y parte de ese material puede persistir durante siglos o mucho más, como lo demuestra la persistencia de materiales naturales como el ámbar. CAPPITELLI, PRINCIPI y SORLINI (2006)

Se han sugerido serias amenazas ambientales por el plástico a la luz de la creciente presencia de microplásticos en la cadena alimentaria marina junto con muchos contaminantes químicos altamente tóxicos que

se acumulan en los plásticos. También se acumulan en fragmentos de plástico más grandes, llamados Nurdles. En los años sesenta, estos últimos se observaron en las entrañas de las aves marinas, y desde entonces se han encontrado en creciente concentración. En 2009, se estimó que el 10% de los residuos modernos eran plásticos, aunque las estimaciones varían según la región. Mientras tanto, el 50-80% de los escombros en áreas marinas son de plástico. WEISMAN (2007)

Antes de la prohibición del uso de CFC en la extrusión de poliestireno (y en uso general, excepto en sistemas de extinción de incendios vitales, véase el Protocolo de Montreal), la producción de poliestireno contribuyó al agotamiento de la capa de ozono, No CFC. WEISMAN (2007)

La producción de plásticos a partir de petróleo crudo requiere de 62 a 108 MJ / Kg (teniendo en cuenta la eficiencia promedio de las estaciones de servicios públicos estadounidenses del 35%). La producción de silicio y semiconductores para equipos electrónicos modernos es aún más energética: 230 a 235 MJ/Kg de silicio y unos 3.000 MJ/Kg de semiconductores. Esto es mucho más alto que la energía necesaria para producir muchos otros materiales, por ejemplo, hierro (de mineral de hierro) requiere 20-25 MJ/Kg de energía, vidrio (de arena, etc.) 18-35 MJ/Kg, acero (de hierro) 20-50 MJ/Kg, papel (de madera) 25-50 MJ / Kg. WEISMAN (2007)

El efecto de los plásticos sobre el calentamiento global es mixto. Los plásticos son generalmente hechos de petróleo. Si el plástico es incinerado, aumenta las emisiones de carbono; Si se coloca en un vertedero, se convierte en un sumidero de carbono aunque los plásticos biodegradables han causado emisiones de metano. Debido a la ligereza del plástico frente al vidrio o al metal, el plástico puede reducir el consumo de energía. Por ejemplo, se estima que el envasado de bebidas en plástico PET en lugar de vidrio o metal ahorra un 52% en energía de transporte.

La incineración incontrolada de plásticos produce dibenzo -p-dioxinas policloradas, un carcinógeno (cancerígeno químico). El problema se produce porque el contenido de calor de la corriente de residuos varía. La quema al aire libre de plástico ocurre a temperaturas más bajas, y normalmente libera tales humos tóxicos. WEISMAN (2007)

1.3.5. METODOLOGÍA DE SUPERFICIE RESPUESTA

La metodología de superficie respuesta (MSR), es un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas útiles en el modelado y el análisis de problemas en los que una respuesta de interés recibe la influencia de diversas variables y donde el objetivo es optimizar esta respuesta.

En la mayoría de los problemas MSR, la forma de la relación entre la respuesta y las variables independientes es desconocida. Por lo tanto el primer paso de la MSR es encontrar una aproximación adecuada de la verdadera relación funcional entre “y” y el conjunto de variables independientes. Por lo general se emplea un polinomio de orden inferior en alguna región de las variables independientes, entonces la función de aproximación es el Modelo de Primer Orden.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

Si hay curvatura en el sistema, entonces debe usarse un polinomio de orden superior, tal como el Modelo de Segundo Orden.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

La MSR es un proceso secuencial. Muchas veces, cuando se está en un punto de la superficie de respuesta que esta apartado del óptimo. El objetivo es llevar al experimentador de manera rápida y eficiente por la trayectoria del mejoramiento hasta la vecindad general del óptimo. Una vez que se ha encontrado la región del óptimo, puede emplearse un modelo más elaborado, como el de segundo orden, y llevarse a cabo un análisis para localizar el óptimo.

El enfoque correcto para trabajar con varios factores es conducir un experimento factorial. Se trata de una estrategia experimental en la que los factores se hacen variar en conjunto en lugar de uno a la vez.

Diseño Factorial 2^k . Este diseño es de particular utilidad en las etapas iniciales de un trabajo experimental, cuando probablemente se estén investigando muchos factores. Este diseño proporciona el menor número de experimentos con las que pueden estudiarse k factores de un diseño factorial completo. Por consiguiente estos diseños se usan ampliamente en los experimentos de tamizado y selección de factores.

Un diseño factorial 2^2 aumentado con cinco puntos centrales, se usan para estimar el error experimental y permitir la verificación de la adecuación del modelo de primer orden. MONTGOMERY (2004)

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Problema general

¿Cómo obtener un material biocompuesto a partir de bagazo de caña de azúcar y caucho natural que sustituya al plástico (PEAD)?

1.4.2. Problema Específicos

Problema específico 1:

¿Cuál es la composición óptima de bagazo de caña de azúcar y caucho natural para obtener un material biocompuesto con mayor resistencia a la tracción que sustituya al plástico (PEAD)?

Problema específico 2:

¿Cuál es la composición óptima de bagazo de caña de azúcar y caucho natural para obtener un material biocompuesto con mayor resistencia a la flexión que sustituya al plástico (PEAD)?

1.5. Justificación del estudio

La investigación tiene un propósito académico y de utilidad, por abarcar un tema de gran interés como es el de los materiales biocompuestos, el cual puede abrirse a nuevas investigaciones y se elaboren materiales los cuales podrían utilizarse en la fabricación de diferentes productos como reemplazo del plástico.

El estudio de un recurso natural como el caucho es de gran interés e importancia, sus propiedades son un servicio para la humanidad y depende de esta aprovecharlas de manera sostenible así como el aprovechamiento de un residuo como el bagazo de caña de azúcar.

La elaboración de un material biocompuesto a base de bagazo de caña de azúcar y caucho natural es una nueva alternativa para sustituir la gran mayoría de los objetos y materiales comunes que son sintéticos derivados del petróleo, una nueva alternativa que genera menor impacto negativo al ambiente.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general:

Un material biocompuesto que sustituya al plástico (PEAD) se puede obtener a partir de las cantidades óptimas de bagazo de caña de azúcar y caucho natural.

1.6.2. Hipótesis específica:

Hipótesis específica 1:

La composición de 60 g de bagazo de caña de azúcar y 50 g de caucho natural es óptima para obtener un material biocompuesto con mayor resistencia a la tracción que sustituya al plástico (PEAD).

Hipótesis específica 2:

La composición de 60 g de bagazo de caña de azúcar y 50 g de caucho natural es óptima para obtener un material biocompuesto con mayor resistencia a la flexión que sustituya al plástico (PEAD).

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

Obtener un material biocompuesto a partir de bagazo de caña de azúcar y caucho natural que sustituya al plástico (PEAD).

1.7.2. Objetivos específicos

Objetivo específico 1:

Determinar la composición óptima de bagazo de caña de azúcar y caucho natural para obtener un material biocompuesto con mayor resistencia a la tracción que sustituya al plástico (PEAD).

Objetivo específico 2:

Determinar la composición óptima de bagazo de caña de azúcar y caucho natural para obtener un material biocompuesto con mayor resistencia a la flexión que sustituya al plástico (PEAD).

II. MÉTODO

2.1. Diseño experimental

Tipo de estudio:

El tipo de investigación es aplicada puesto que se pasó a la parte experimental después de la información recabada.

Clasificación de la investigación:

De acuerdo a la variable de estudio y a los objetivos planteados la investigación corresponde al diseño cuantitativo experimental. Los datos serán obtenidos a partir de la experimentación y las propiedades del producto final serán analizadas en laboratorio.

Metodología experimental para la obtención de datos:

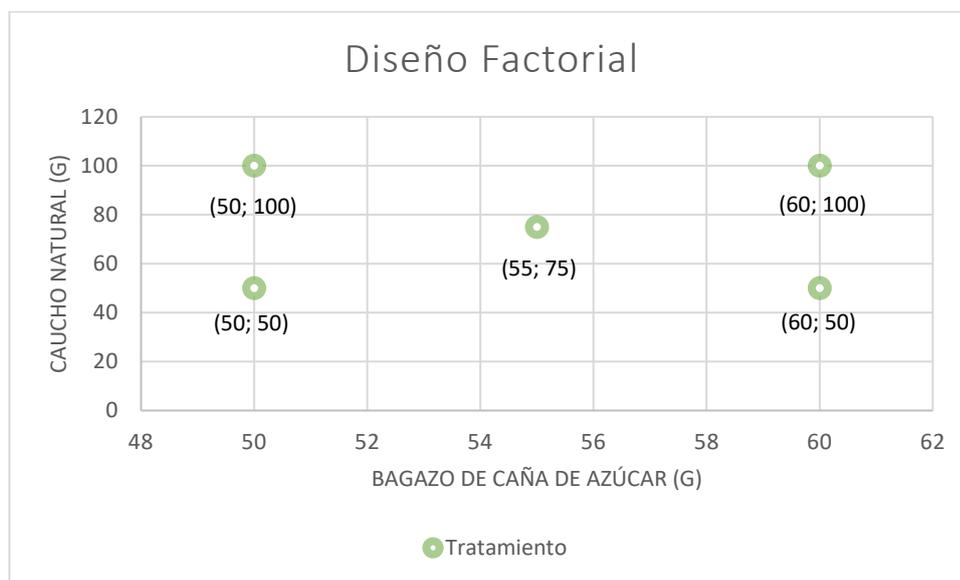
El presente trabajo de investigación propone el uso de la Metodología de Superficie Respuesta (MSR). El MSR nos permite obtener la mayor información de los procesos con datos experimentales limitados.

Para la obtención de datos se ha empleado el Diseño Factorial 2^k . En este diseño representado por 2^k , se evaluará dos factores o variables controlables ($k=2$); estas variables se modificaran en magnitud a dos niveles individualmente.

Las respuestas obtenidas son cuatro las cuales provienen de la combinación de las variables independientes.

El Método de Superficie Respuesta recomienda realizar cinco replicas en el punto central para estimar el error experimental y permitir la verificación de la adecuación del modelo de primer orden, según se muestra en la Figura N°1.

Figura N°1: Diseño Factorial 2²



Elaboración propia, 2017.

Para el proceso propuesto los dos factores son la cantidad de caucho natural y la cantidad de bagazo de caña de azúcar ambas expresadas en gramos.

Cada factor tiene dos niveles; los dos niveles de la cantidad de caucho natural son 50 g y 100 g y de la cantidad de bagazo de caña de azúcar son 50 g y 60 g.

Los valores intermedios de los factores son 75 g de caucho natural y 55 g de bagazo de caña de azúcar de los cuales se realiza cinco repeticiones.

Tabla N° 6. Tratamientos para la obtención del material biocompuesto

Tratamientos	Bagazo de caña de azúcar (g)	Caucho natural (g)	Proporción	Repeticiones
T1	50	100	1/2	1
T2	50	50	1/1	1
T3	60	100	3/5	1
T4	60	50	6/5	1
T5	55	75	11/15	5

Elaboración propia, 2017.

La respuesta o variable dependiente son las resistencias del material biocompuesto en términos de tracción y flexión ambas expresadas en MPa. Se obtuvieron 9 resultados experimentales como puede apreciarse en las Tablas N°9 y N°10.

2.1.1. Experimentación

Para el desarrollo del trabajo de investigación se emplearon los siguientes equipos, materiales, insumos y reactivos:

Tabla N° 8. Equipos, materiales, insumos y reactivos utilizados en la investigación.

EQUIPOS	
Descripción	Cantidad
Molino manual	1 unid
Balanza Analítica	1 unid
Horno	1 unid
Desecador	1 unid
Laminadora	1 unid
Prensa hidráulica	1 unid
MATERIALES	
Descripción	Cantidad
Vaso precipitado de 2L	1 unid
Agitador	1 unid
Tamizador Malla 60	1 unid
Espátula	1 unid
Luna de reloj	1 unid
Guantes	1 par
Naso bucal	1 unid
pHmetro	1 unid
REACTIVOS E INSUMOS	
Descripción	Cantidad
Bagazo de caña de azúcar	495 g

Caucho natural procesado	675 g
Agua destilada	20 L
NaOH	50 g
Ácido clorhídrico	0.0015 L
Silica	600.3 g
Tiza	50.4 g
Óxido de zinc	25.2 g
Azufre	19.8 g
Acido esteárico	15.3 g
MBTS	9.9 g
ZDMC	2.7 g
PEG	24.3 g
Aceite	0.3006 L

Elaboración propia, 2017.

El desarrollo de la investigación consta de tres etapas:

A. Tratamiento del bagazo de caña de azúcar

Pre tratamiento del bagazo de caña de azúcar

El bagazo de caña de azúcar ya exprimido se obtuvo de los residuos de las carretillas comercializadoras de jugo de caña de azúcar. El bagazo ya exprimido se descascaró y luego se lavó para eliminar las impurezas adheridas a la fibra de origen.



Foto N°1: Lavado del bagazo de caña de azúcar.

El bagazo de caña de azúcar lavado se dejó secar en mantos de plástico a temperatura ambiente durante 24 horas.



Foto N°2: Secado del bagazo de caña de azúcar.

El bagazo de caña de azúcar seco se molió, previamente se deshilachó el bagazo para facilitar la molienda, para lo cual se utilizó un molino manual.



Foto N°3: Bagazo de caña de azúcar deshilachado.

Modificación de la superficie del bagazo

Después de realizar el pre tratamiento se modificó la superficie del bagazo de caña de azúcar mediante un tratamiento alcalino. SALGADO et al. (2010)

Se tomaron proporciones de 100 g de fibra de bagazo de caña molida para realizar el tratamiento.

Se preparó la solución alcalina en un vaso precipitado con una capacidad de 2 L a la que se le añadió 10 g de NaOH y 2 L de agua destilada.



Foto N°5: Pesaje del Hidróxido de Sodio



Foto N°6: Preparación de la solución alcalina.

Luego de tener la solución preparada se le añadió los 100 g de bagazo de caña de azúcar molida y se dejó reposar por 2 horas.



Foto N°7: Tratamiento alcalino del bagazo de caña de azúcar.

Luego de haber transcurrido 2 h, se le añadió 1.5 ml de ácido clorhídrico para alcanzar un pH neutro de la solución.

Al final el bagazo de caña de azúcar se filtró y se secó en una estufa a 90 °C por 24 h.



Foto N°8: Secado del bagazo tratado en la estufa.



Foto N°9: Muestras de bagazo de caña de azúcar tratadas.

B. Laminado

Previamente al laminado se realizó el tamizado y el pesaje de los componentes del tratamiento. El tamizado del bagazo de caña de azúcar se realizó con el tamiz de malla N°60. Tamaño de partícula del bagazo de caña de azúcar = 0.250 mm.



Foto N°10: Tamizado del bagazo de caña de azúcar tratada.



Foto N°10: Pesaje del bagazo de caña de azúcar tratada.



Foto N°11: Pesaje del caucho natural

Para realizar el laminado se utilizó una laminadora convencional, la cual consiste en dos rodillos que se encuentran en movimiento donde se mezclan el bagazo de caña de azúcar, caucho natural procesado, cuyas cantidades van a variar en los diferentes tratamientos a lo que se le añadirá los siguientes aditivos: 67 g de sílice, 6 g de tiza, 3 g de óxido de zinc, 2 g de azufre, 1 g de ácido esteárico, 1 g de MBTS, 1 g ZDMC, 3 g

de PEG y 33.4 ml de aceite NAFTENICO 22, obteniendo así el laminado con los diferentes componentes.



Foto N°12: Laminado de las muestras

Al final del laminado se obtuvo 9 muestras, 5 muestras con diferentes proporciones de bagazo de caña de azúcar y caucho natural, siendo el Tratamiento 5 el que se repitió 5 veces.



Foto N°13: Material biocompuesto laminado

C. Moldeo por compresión en caliente

El moldeo por compresión en caliente es la etapa final para la obtención del material biocompuesto para lo cual se utilizó una prensa hidráulica donde se colocaron los moldes metálicos, entre los que se colocaron los materiales laminados y se aplicó calor a una temperatura de 164°C y presión de 2000 psi en un tiempo de 5 minutos.

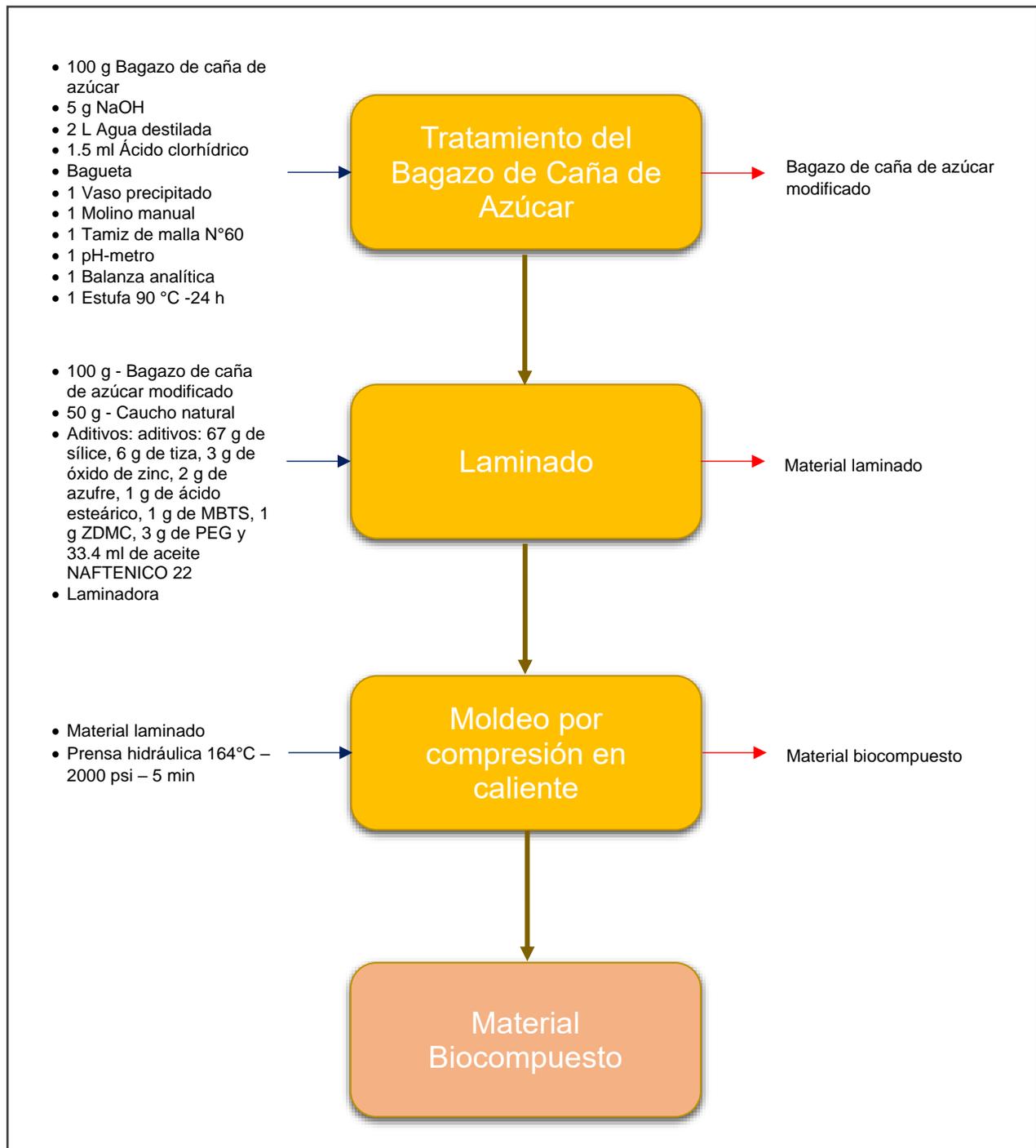


Foto N°14: Colocación del material laminado en los moldes de hierro.



Foto N°16: Prensa hidráulica.

Figura N° 2. Diagrama de Elaboración del Material Biocompuesto



Elaboración propia, 2017.

2.2. Variables, operacionalización

2.2.1. Variables

Univariable:

Obtención de un material biocompuesto resistente

2.2.2. Operacionalización de variables

Tabla N° 7. Operacionalización de la Univariable

Univariable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Obtención de un material biocompuesto resistente	Los materiales biocompuestos son materiales formados por una matriz y un refuerzo de fibras naturales. AIMPLAS. Instituto Tecnológico del Plástico (2009).	El material biocompuesto será medido con equipos de tensión para medir sus principales propiedades mecánicas: tracción y flexión.	Composición	Cantidad de bagazo de caña de azúcar	g x/y
				Cantidad de caucho natural	g x/y
			Propiedades mecánicas	Resistencia a la tracción	MPa
				Resistencia a la flexión	N/mm ²

Elaboración propia, 2017.

2.3. Población y muestra

La siguiente investigación no aplica a una población ni a una muestra puesto que no se está evaluando una parte de un conglomerado.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

2.4.1. Técnicas

Experimentación

Esta técnica se desarrollará en el trabajo de investigación, una vez formulada la teoría se comprobará si la hipótesis es verdadera manipulando las variables. Se experimentará con nueve tratamientos compuestos de bagazo de caña de azúcar, caucho natural procesado, silica, tiza, óxido de zinc, azufre, ácido esteárico, MBTS, ZDMC, PEG y aceite, obteniendo así el laminado con los diferentes componentes, las cuales pasarán por un proceso de laminado y prensado para la obtención del material biocompuesto como producto final.

Análisis de laboratorio

Esta técnica se realizará en la última etapa del estudio. El material biocompuesto obtenido como resultado será llevado al laboratorio para ser analizado por ensayos de tracción y flexión para el conocimiento de la resistencia del material biocompuesto final.

2.4.2. Instrumentos

Ficha de evaluación

Mediante la ficha de evaluación se recogerán los datos obtenidos en la experimentación como las proporciones de bagazo de caña de azúcar y caucho natural y demás componentes empleadas en el tratamiento para generar un material biocompuesto resistente.

Cuadro comparativo

Se hará uso de un cuadro comparativo para diferenciar los resultados de los ensayos de tracción y flexión de los nueve tratamientos del material biocompuesto obtenidos.

2.4.3. Validación y confiabilidad

La validación de los instrumentos se realizará por medio de la técnica de Criterio de Jueces, tres profesionales colegiados validarán cada instrumento, los cuales se mencionan a continuación:

- Ficha de evaluación
- Cuadro comparativo

2.5. Métodos de análisis de datos

- Los datos serán procesados por el programa Mathcad.
- Análisis comparativo de los resultados de laboratorio de fuerzas de tracción y flexión.

2.6. Aspectos éticos

Las fuentes y referencias a utilizar en este proyecto serán debidamente consignadas, esta investigación será inédita y los resultados serán el reflejo de los datos obtenidos en la experimentación del trabajo de investigación.

III. RESULTADOS

3.1. Datos Experimentales

3.1.1. Prueba de Tracción

La prueba de tracción fue realizada en la Máquina de tracción ZWICK ROELL Z010 Vernier digital Mitutoyo Corporation, CD-6" BS. Las muestras de cada tipo fueron preparadas de acuerdo con la norma técnica ASTM D412. Los resultados promedio obtenidos fueron la fuerza de ruptura, la resistencia a la tracción y la elongación de ruptura. (Laboratorio LABICER - UNI).

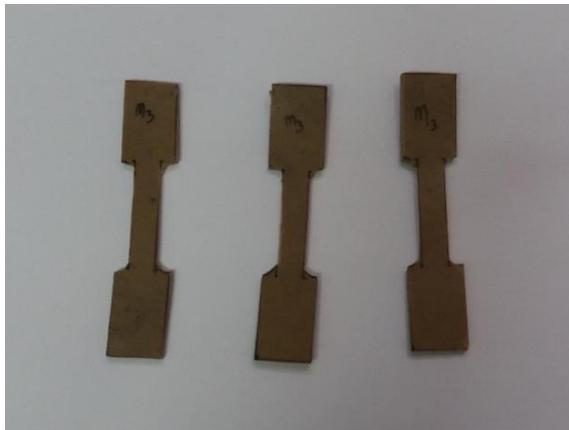


Foto N°14: Probetas de tracción



Foto N°15: Prueba de tracción



Foto N°16: Probetas de tracción después del ensayo.

Resultados de la Prueba de Tracción

Tabla N° 9. Resultados de la Prueba de Tracción

Tratamientos	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza de ruptura (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación de ruptura (%)	Norma Técnica
T1	9.59	3.69	106.7	3.01	490.5	ASTM D412
T2	10.16	4.52	1.47.7	3.21	22.3	
T3	9.73	3.43	86.6	2.59	148.0	
T4	10.54	3.87	147.7	3.61	21.4	
T5₁	10.09	3.89	134	3.41	31.9	
T5₂	10.39	3.79	116	2.95	55.0	
T5₃	10.59	4.01	125	2.94	30.3	
T5₄	10.30	3.87	117	2.94	39.0	
T5₅	10.32	3.79	135	3.45	32.4	

Elaboración propia, 2017.

3.1.2. Prueba de Flexión

La prueba de flexión fue realizada en la Máquina de tracción ZWICK ROELL Z010 Vernier digital Mitutoyo Corporation, CD-6" BS. Las muestras fueron preparadas y adaptadas de acuerdo con la norma técnica ASTM D790. Los resultados promedio obtenidos fueron la fuerza máxima y la resistencia a la flexión. (Laboratorio LABICER - UNI).

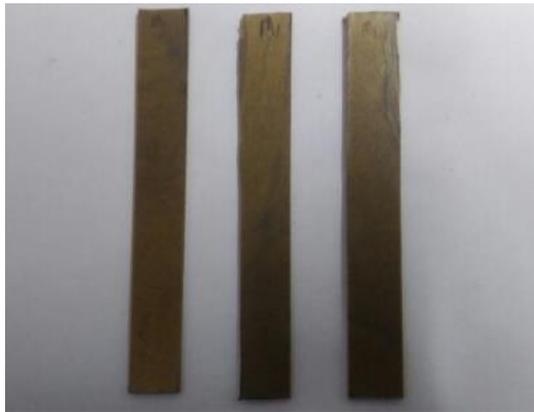


Foto N°17: Probetas de flexión



Foto N°18: Prueba de flexión



Foto N°19: Probetas de flexión después del ensayo.

Resultados de Prueba de Flexión

Tabla N° 10. Resultados de la Prueba de Flexión

Tratamientos	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Resistencia a la flexión (N/mm ²)	Norma Técnica
T1	20.25	3.55	71.98	2.15	1.258	Adaptación ASTM D790
T2	20.52	4.72	96.91	14.2	4.667	
T3	20.35	3.69	75.01	1.85	1.001	
T4	20.62	3.50	72.17	9.05	5.383	
T5₁	21.13	3.77	76.66	5.38	2.69	
T5₂	20.34	3.52	71.60	4.78	2.85	
T5₃	20.57	3.48	71.58	5.21	3.14	
T5₄	19.89	3.92	77.97	6.82	3.35	
T5₅	21.05	4.12	86.73	7.83	3.29	

Elaboración propia, 2017.

3.2. Influencia de la cantidad del bagazo de caña de azúcar y caucho natural en la resistencia a la tracción.

Modelo de Regresión de Primer Orden para el Diseño Factorial Propuesto

X1: Bagazo de caña de azúcar

$$X1 := (50 \ 50 \ 60 \ 60 \ 55 \ 55 \ 55 \ 55 \ 55)$$

X2: Caucho natural

$$X2 := (100 \ 50 \ 100 \ 50 \ 75 \ 75 \ 75 \ 75 \ 75)$$

Y: Resistencia a la tracción

$$Y := (3.01 \ 3.21 \ 2.59 \ 3.61 \ 3.41 \ 2.94 \ 2.94 \ 2.94 \ 3.45)$$

$$x1 := X1^T, \ x2 := X2^T, \ y := Y^T, \ n := 9$$

$$X1 := \begin{bmatrix} n & \sum_{i=0}^8 x1_i & \sum_{i=0}^8 x2_i \\ \sum_{i=0}^8 x1_i & \sum_{i=0}^8 (x1_i)^2 & \sum_{i=0}^8 (x1_i \cdot x2_i) \\ \sum_{i=0}^8 x2_i & \sum_{i=0}^8 (x1_i \cdot x2_i) & \sum_{i=0}^8 (x2_i)^2 \end{bmatrix} \quad Y1 := \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^8 y_i \\ \sum_{i=0}^8 (x1_i \cdot y_i) \\ \sum_{i=0}^8 (x2_i \cdot y_i) \end{bmatrix}$$

$$X1 = \begin{pmatrix} 9 & 495 & 675 \\ 495 & 2.732 \times 10^4 & 3.712 \times 10^4 \\ 675 & 3.712 \times 10^4 & 5.313 \times 10^4 \end{pmatrix} \quad Y1 = \begin{pmatrix} 28.1 \\ 1.545 \times 10^3 \\ 2.077 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

$$\beta := X1^{-1} \cdot Y1$$

$$\beta = \begin{pmatrix} 4.092 \\ -10 \times 10^{-4} \\ -0.012 \end{pmatrix}$$

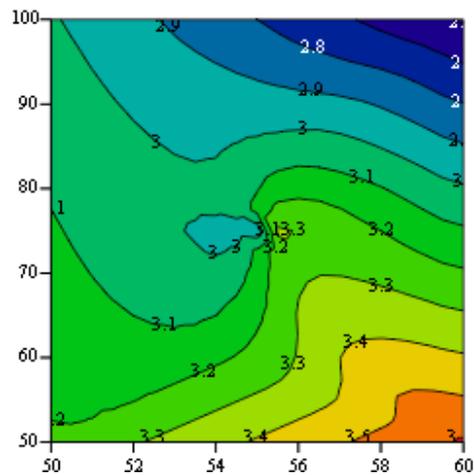
Modelo de Regresión

$$y_1(x_1, x_2) := 4.092 - 10 \times 10^{-4} \cdot x_1 - 0.012 \cdot x_2$$

$$y_1(60, 50) = 3.432$$

$$y_2 := \begin{pmatrix} 2.842 \\ 3.442 \\ 2.832 \\ 3.432 \\ 3.137 \\ 3.137 \\ 3.137 \\ 3.137 \\ 3.137 \\ 3.137 \end{pmatrix}$$

Figura N°3. Gráfica de contorno de superficie de resistencias constantes



(X1, X2, Y)

Elaboración propia, 2017.

X1 = Bagazo de caña de azúcar

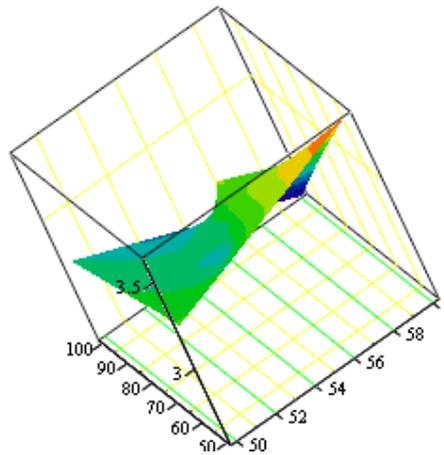
X2 = caucho natural

Y = Resistencia a la tracción

Entre el rango de 50 g y 100 g de caucho natural y el rango de 50 g y 60 g de bagazo de caña de azúcar, la mayor resistencia a la tracción se encuentra entre la cantidad de 50 g de caucho natural y 60 g bagazo de caña de azúcar.

A continuación se puede apreciar la gráfica de forma tridimensional.

Figura N°4. Gráfica de superficie respuesta tridimensional del rendimiento del modelo de regresión



(X1, X2, Y)

Elaboración propia, 2017.

X1 = Bagazo de caña de azúcar

X2 = caucho natural

Y = Resistencia a la tracción

Calculo para el análisis de varianza

$$SST := \sum_{i=0}^8 (y_i - \text{mean}(y))^2$$

$$SST = 0.831$$

$$SSREG := \sum_{i=0}^8 (y_{2i} - \text{mean}(y))^2$$

$$SSREG = 0.362$$

$$SSE := SST - SSREG$$

$$SSE = 0.469$$

$$m := 3$$

$$\frac{SST}{n-1} = 0.104 ; \frac{SSREG}{m-1} = 0.181 ; \frac{\frac{SSREG}{m-1}}{\frac{SSE}{n-m}} = 2.315$$

$$\alpha := 0.05$$

$$qF(1-\alpha, m-1, n-m) = 5.143$$

Tabla N°11 - 1. Análisis de Varianza para el modelo de 1er orden

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Media de los cuadrados	Razón de F	Probabilidad > F
Modelo de regresión	m-1	SSreg	$\frac{SSreg}{m-1}$	$\frac{SSreg/(m-1)}{SSE/(n-m)}$	qF(1- α , m-1, n-m)
Error	n-m	SSE	$\frac{SSE}{n-m}$		
Total	n-1	SST			

Elaboración propia, 2017.

Tabla N°11 - 2. Análisis de Varianza para el modelo de 1er orden

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de los Cuadrados	Razón de F	Probabilidad > F
Modelo de regresión	2	0.362	0.181	2.26	qF(1-0.05, 2, 6) = 5.14
Error	6	0.466	0.08		
Total	8	0.828			

Elaboración propia, 2017.

$$\text{Coeficiente de correlación} = 0.362/0.181=2$$

Las hipótesis Nula y Alternativa son:

Ho: Los parámetros $\beta_i = 0$ para $i = (1, 3)$

H1: $\beta_1 \neq 0$, o $\beta_2 \neq 0$, o $\beta_3 \neq 0$

3.3. Influencia de la cantidad del bagazo de caña de azúcar y caucho natural en la resistencia a la flexión.

Modelo de Regresión de Primer Orden para el Diseño Factorial Propuesto

x1: Bagazo de caña de azúcar

x2: Caucho natural

y: Resistencia a la flexión

$$x1 := \begin{pmatrix} 50 \\ 50 \\ 60 \\ 60 \\ 55 \\ 55 \\ 55 \\ 55 \\ 55 \end{pmatrix} \quad x2 := \begin{pmatrix} 100 \\ 50 \\ 100 \\ 50 \\ 75 \\ 75 \\ 75 \\ 75 \\ 75 \end{pmatrix} \quad y := \begin{pmatrix} 1.258 \\ 4.667 \\ 1.001 \\ 5.383 \\ 2.69 \\ 2.85 \\ 3.14 \\ 3.35 \\ 3.29 \end{pmatrix}$$

$$x1 := X1^T, \quad x2 := X2^T, \quad y := Y^T, \quad n := 9$$

$$X1 := \begin{bmatrix} n & \sum_{i=0}^8 x1_i & \sum_{i=0}^8 x2_i \\ \sum_{i=0}^8 x1_i & \sum_{i=0}^8 (x1_i)^2 & \sum_{i=0}^8 (x1_i \cdot x2_i) \\ \sum_{i=0}^8 x2_i & \sum_{i=0}^8 (x1_i \cdot x2_i) & \sum_{i=0}^8 (x2_i)^2 \end{bmatrix} \quad Y1 := \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^8 y_i \\ \sum_{i=0}^8 (x1_i \cdot y_i) \\ \sum_{i=0}^8 (x2_i \cdot y_i) \end{bmatrix}$$

$$X1 = \begin{pmatrix} 9 & 495 & 675 \\ 495 & 2.732 \times 10^4 & 3.712 \times 10^4 \\ 675 & 3.712 \times 10^4 & 5.313 \times 10^4 \end{pmatrix} \quad Y1 = \begin{pmatrix} 27.629 \\ 1.522 \times 10^3 \\ 1.877 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

$$\beta := X1^{-1} \cdot Y1$$

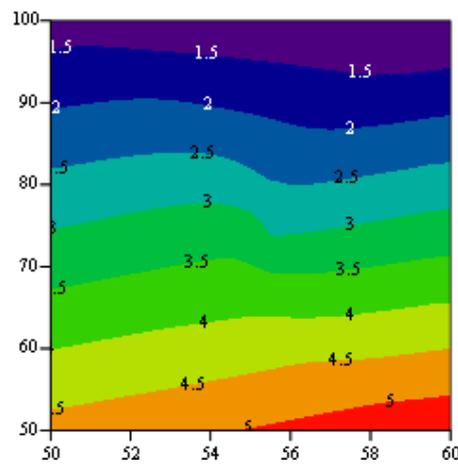
$$\beta = \begin{pmatrix} 7.651 \\ 0.023 \\ -0.078 \end{pmatrix}$$

Modelo de Regresión

$$Y(x_1, x_2) := 7.651 + 0.023 \cdot x_1 - 0.078 \cdot x_2$$

$$y_2 := \begin{pmatrix} 1.001 \\ 4.901 \\ 1.231 \\ 5.131 \\ 3.066 \\ 3.066 \\ 3.066 \\ 3.066 \\ 3.066 \end{pmatrix}$$

Figura N°5. Gráfica de contorno de superficie de resistencias constantes



(x1, x2, y)

Elaboración propia, 2017.

x1 = Bagazo de caña de azúcar

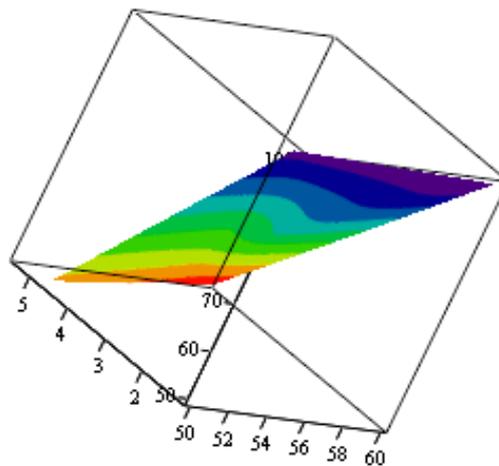
x2 = caucho natural

y = Resistencia a la tracción

Entre el rango de 50 g y 100 g de caucho natural y el rango de 50 g y 60 g de bagazo de caña de azúcar, la mayor resistencia a la flexión se encuentra entre la cantidad de 50 g de caucho natural y bagazo de caña de azúcar.

A continuación se puede apreciar la gráfica de forma tridimensional.

Figura N°6. Gráfica de superficie respuesta tridimensional del rendimiento del modelo de regresión



(x1, x2, y)

Elaboración propia, 2017.

x1 = Bagazo de caña de azúcar

x2 = caucho natural

y = Resistencia a la tracción

Calculo para el análisis de varianza

$$SST := \sum_{i=0}^8 (y_i - \text{mean}(y))^2$$

$$SST = 15.789$$

$$SSREG := \sum_{i=0}^8 (y_{2i} - \text{mean}(y))^2$$

$$SSreg = 15.263$$

$$SSE := SST - SSREG$$

$$SSE = 0.526$$

$$m := 3$$

$$MSSreg := \frac{SSreg}{m-1}; MSSE := \frac{SSE}{n-m}; \frac{MSSreg}{MSSE} = 87.06$$

$$\alpha := 0.05$$

$$qF(1-\alpha, m-1, n-m) = 5.143$$

Tabla N°12 - 1. Análisis de Varianza para el modelo de 1er orden

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Media de los cuadrados	Razón de F	Probabilidad > F
Modelo de regresión	m-1	SSreg	$\frac{SSreg}{m-1}$	$\frac{SSreg/(m-1)}{SSE/(n-m)}$	qF(1-α, m-1, n-m)
Error	n-m	SSE	$\frac{SSE}{n-m}$		
Total	n-1	SST			

Elaboración propia, 2017.

Tabla N°12 - 2. Análisis de Varianza para el modelo de 1er orden

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de los Cuadrados	Razón de F	Probabilidad > F
Modelo de regresión	2	15.263	7.632	86.72	qF(1-0.05,2,6) = 5.14
Error	6	0.526	0.088		
Total	8	15.789	7.72		

Elaboración propia, 2017.

$$\text{Coeficiente de correlación} = 15.263/7.632=2$$

Las hipótesis Nula y Alternativa son:

Ho: Los parámetros $\beta_i = 0$ para $i = (1, 3)$

H1: $\beta_1 \neq 0$, o $\beta_2 \neq 0$, o $\beta_3 \neq 0$

3.4. Prueba de Hipótesis

Hipótesis específica 1:

H1: La composición de 60 g de bagazo de caña de azúcar y 50 g de caucho natural es óptima para obtener un material biocompuesto con mayor resistencia a la tracción que sustituya al plástico (PEAD).

H0: La composición de 60 g de bagazo de caña de azúcar y 50 g de caucho natural no es óptima para obtener un material biocompuesto con mayor resistencia a la tracción que sustituya al plástico (PEAD).

Según los resultados obtenidos por el Laboratorio LABICER – UNI, el material biocompuesto con las cantidades de 60 g de bagazo de caña de azúcar y 50 g de caucho natural obtuvo una resistencia a la tracción de 3.61 MPa, siendo este el mayor valor entre los nueve tratamientos.

Sin embargo, no alcanza al valor deseado para sustituir al plástico (PEAD).

Tabla N°13. Cuadro comparativo de la Resistencia a la Tracción del Material Biocompuesto y del Polietileno de alta densidad (PEAD)

Resistencia a la tracción (MPa)	
Material biocompuesto	Polietileno de alta densidad (PEAD)
3.61	15 MATWEB (2017)

Elaboración propia, 2017.

Por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

Hipótesis específica 2:

H1: La composición de 60 g de bagazo de caña de azúcar y 50 g de caucho natural es óptima para obtener un material biocompuesto con mayor resistencia a la flexión que sustituya al plástico (PEAD).

H0: La composición de 60 g de bagazo de caña de azúcar y 50 g de caucho natural no es óptima para obtener un material biocompuesto con mayor resistencia a la flexión que sustituya al plástico (PEAD).

Según los resultados obtenidos por el Laboratorio LABICER – UNI, el material biocompuesto con las cantidades de 60 g de bagazo de caña de azúcar y 50 g de caucho natural obtuvo una resistencia a la flexión de 5.383 N/mm², siendo este el mayor valor entre los nueve tratamientos.

Sin embargo, no alcanza al valor deseado para sustituir al plástico (PEAD).

Tabla N°13. Cuadro comparativo de la Resistencia a la Tracción del Material Biocompuesto y del Polietileno de alta densidad (PEAD)

Resistencia a la flexión (MPa)	
Material biocompuesto	Polietileno de alta densidad (PEAD)
5.383	31.72 Boedeker Plastics (2017)

Elaboración propia, 2017.

Por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

IV. DISCUSIÓN

En la presente investigación el material biocompuesto con la composición de 60 g de bagazo de caña de azúcar y 50 g de caucho natural obtuvo una resistencia a la tracción de 3.61 MPa y una resistencia a la flexión de 5.38 N/mm², siendo estos los mayores valores obtenidos, a diferencia de los valores obtenidos por **ROJO (2011)** en el estudio *“Formulación y caracterización de materiales compuestos de matriz fenólica reforzados con fibras celulósicas modificadas tipo viscosa”*, quien obtuvo valores de 16,65 MPa de resistencia a la tracción ASTM D 638 y 25,13 MPa de resistencia a la flexión ASTM D 790. Cabe recalcar que los procesos de elaboración de los materiales biocompuestos fueron diferentes, ROJO (2011) realizó la mezcla por el método de agitación mecánica y posteriormente el curado en prensa a diferencia del presente trabajo de investigación donde se utilizó el método de vulcanización y posteriormente el moldeo de compresión en caliente. Así mismo, ROJO (2011) utilizó una fibra de madera de eucalipto y una matriz fenólica en diferentes proporciones para la elaboración del material compuesto a diferencia del presente estudio donde se utilizó una fibra de bagazo de caña de azúcar y caucho natural en diferentes proporciones.

Por otro lado **GALLEGOS (2011)** en el estudio *“Obtención de un material compuesto de matriz elastomérica y fibra de coco”*, obtuvos los valores de resistencia a la tracción bajo la norma ASTM D 412 de 0.502 N/mm² para un porcentaje de 80% de fibra y 0.118 N/mm² para un porcentaje de 60% de fibra, valores que están por debajo al valor obtenido en la presente investigación cuyo valor de resistencia a la tracción fue de 3.61 MPa, esto se debería principalmente al método de acoplamiento empleado. Gallegos (2011) empleó el método de Aspersión del látex a diferencia de la presente investigación donde se utilizó el método de vulcanización y el moldeo de compresión en caliente, por lo que se concluye que el método de Aspersión del látex es menos eficiente que la vulcanización y el moldeo de compresión en caliente para la obtención de un material biocompuesto con mayor resistencia a la tracción. Así mismo, cabe recalcar que se utilizaron diferentes fibras y matrices en diferentes proporciones por ambos trabajos de investigación.

Así también, **CARRILLO (2016)** en el estudio “*Diseño de un Material Compuesto con Matriz de Resina Poliéster y Fibras de Aserrín y PET*”, obtuvo una resistencia a la tracción ASTM D630 con un valor de 18.58 MPa y una resistencia a la flexión ASTM D790 con el valor de 99.57 N/mm². Siendo estos valores mayores a los obtenidos en el presente trabajo de investigación, esto se debería principalmente a los componentes que utilizó en su mezcla: 1500 g de resina de poliéster, 150 g de estireno, 200 g de aserrín, 100 g de PET, 3 g de cobalto y 22 g de MEK-Peróxido. Carrillo (2016) utilizó una mayor cantidad de refuerzos además de utilizar una resina poliéster por lo que se concluye que el uso de las resinas sintéticas genera un mejor acoplamiento con los refuerzos a diferencia de un elastómero natural.

V. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en la investigación realizada se extraen las siguientes conclusiones:

El estudio de la influencia de la composición de bagazo de caña de azúcar y caucho natural en la resistencia a la tracción del material biocompuesto concluye que, no hay evidencia estadística que demuestre la influencia de la composición de bagazo de caña de azúcar y caucho natural en la resistencia a la tracción. Sin embargo, hay una evidencia experimental, los cuales se representan mediante los resultados obtenidos en laboratorio.

La diferencia más destacable en el ensayo de tracción es el porcentaje de deformación o elongación donde se observa que el material biocompuesto cuya composición es de 50 g de bagazo de caña de azúcar y 100 g de caucho natural (T1) tiene el mayor porcentaje de deformación 490% y el material biocompuesto cuya composición es de 60 g de bagazo de caña de azúcar y 50 g de caucho natural tiene el menor porcentaje de deformación, por lo que se concluye que, a menor cantidad de bagazo de caña de azúcar y mayor cantidad de caucho natural en la composición del material biocompuesto, mayor será el porcentaje de deformación.

El estudio de la influencia de la composición de bagazo de caña de azúcar y caucho natural en la resistencia a la flexión del material biocompuesto concluye que, a mayor cantidad de bagazo de caña de azúcar y menor cantidad de caucho natural en la composición del material biocompuesto, mayor será su resistencia a la flexión, por lo tanto, la cantidad de bagazo de caña de azúcar y caucho natural influyen en la composición del material biocompuesto.

Se concluye que, el material biocompuesto que en conjunto ofrece las mejores propiedades mecánicas es el que está compuesta de 60 g de bagazo de caña de azúcar y 50 g de caucho natural, los valores de las propiedades mecánicas de este material en los ensayos de tracción y flexión son: Resistencia a la tracción de 3.61 MPa, elongación a la ruptura de 21.4% y resistencia a la flexión de 5.38 MPa.

Se concluye que, la composición de 60 g de bagazo de caña de azúcar y 50 g de caucho natural del material biocompuesto cuya resistencia a la tracción es la mayor obtenida 3.61 MPa, no es la óptima para sustituir al plástico (PEAD) cuyo valor de resistencia a la tracción es de 15 MPa.

Se concluye que, la composición de 60 g de bagazo de caña de azúcar y 50 g de caucho natural del material biocompuesto cuya resistencia a la flexión es la mayor obtenida 5.38 MPa, no es la óptima para sustituir al plástico (PEAD) cuyo valor de resistencia a la tracción es de 31.72 MPa.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con la investigación variando los diferentes parámetros del proceso de elaboración del material biocompuesto como: la temperatura, el tiempo y la presión. Además del tamaño de partícula del bagazo de caña de azúcar y el método de modificación superficial de la fibra.

Se recomienda evaluar la modificación de la fibra bagazo de caña de azúcar con hidróxido sódico bajo las condiciones experimentales seleccionadas mediante las técnicas de Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), Difracción de Rayos - X (DRX), Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y Análisis Termogravimetría (TGA).

Se recomienda el empleo de nanopartículas de ZnO y óxidos metálicos como CaO, Mg, CdO, CuO, PbO y NiO para reducir la cantidad de óxido de zinc en la vulcanización con azufre.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIMPLAS, Instituto Tecnológico del Plástico. 2009. Año internacional de las fibras naturales. Valencia : AIMPLAS, Instituto Tecnológico del Plástico, 2009.

AMIGÓ, Vicente, y otros. 2016. Aprovechamiento de residuos de fibras naturales como elementos de refuerzo de materiales poliméricos. Valencia : s.n., 2016.

ANDRADY, Anthony y NEAL, Mike. 2009. Aplicaciones y beneficios sociales de los plásticos. *Aplicaciones y beneficios sociales de los plásticos*. [En línea] Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci., 27 de Julio de 2009. [Citado el: 2016 de Noviembre de 12.] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2873019/>.

Asociación Española de Normalización y Certificación. 2015. Baldosas cerámicas. Parte 4: Determinación de la resistencia a la flexión y de la fuerza de rotura. (ISO 10545-4:2014). Génova : AENOR, 2015.

BASANTA, R., y otros. 2007. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 2007. 1135-8122.

Boedeker Plastics. 2017. Boedeker Plastics. *Boedeker Plastics*. [En línea] 2017. http://www.boedeker.com/polye_p.htm.

BRASERO, Justo. 2017. Desarrollo de nuevas formulaciones de látex de caucho natural libres de n-nitrosaminas, hipoalergénicas y ecológicas, y su caracterización por RMN de campo bajo. Madrid : Universidad Complutense de Madrid, 2017.

CAPPITELLI, F, PRINCIPI, P y SORLINI, C. 2006. Biodeterioración de materiales modernos en colecciones contemporáneas: ¿puede ayudar la biotecnología? *Biodeterioración de materiales modernos en colecciones contemporáneas: ¿puede ayudar la biotecnología?* [En línea] Tendencias en Biotecnología, 2006. [Citado el: 12 de Noviembre de 2016.] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16782219>.

CASELLES, María, y otros. 2015. *Química Aplicada a la Ingeniería*. Madrid : UNED, 2015. 978-84-362-7031-0.

Consejo Químico Americano. 2010. Consejo Químico Americano (ACC). *Ciclo de vida de un producto plástico*. [En línea] 14 de Marzo de 2010. [Citado el: 12 de Noviembre de 2016.] https://web.archive.org/web/20100314205625/http://www.americanchemistry.com:80/s_acc/contact.asp?CID=16&DID=19.

Entrada de residuos de plástico de la tierra en el océano. **JAMBECK, Jenna, y otros. 2015.** California : Science, 2015, Vol. 347.

ESPINAL, Carlos, y otros. 2005. La cadena del caucho en Colombia: una mirada global de su estructura y dinamica 1991-2005. *Economía de la tierra, política fundiaria y políticas agrícolas.* [En línea] 2005. [Citado el: 12 de Noviembre de 2016.]

http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6109/1/200511215190_caracterizacion_caucho.pdf.

FARUCK, Omar, y otros. 2012. Biocompuestos reforzados con fibras naturales: 2000–2010. *Biocompuestos reforzados con fibras naturales: 2000–2010.* Toronto : Universidad de Toronto, 2012. 1562-1579.

GALLEGOS, Sylvia. 2011. *Obtención de un material compuesto de matriz elastomérica y fibra de coco.* Quito : Escuela Politécnica Nacional, 2011.

MARK, James y ERMAN, Burak. 2005. *Ciencia y tecnología del caucho.* 2005. 0-12-464786-3.

MATWEB. 2017. MatWeb. *MatWeb.* [En línea] 2017. [Citado el: 2 de Mayo de 2017.] <http://www.matweb.com/reference/tensilestrength.aspx>.

MIRAVETE, Antonio. 2007. *Materiales compuestos II.* Barcelona : Reverté S. A., 2007. 978-84-921349-9-1.

MONTGOMERY, Douglas. 2004. *Diseño y Análisis de Experimentos .* Arizona : LIMUSA, 2004. 968-18-6156-6.

MYER, Kutz. 2002. *Manual de Selección de Materiales.* New York : John Wiley & Sons, 2002. 9780471359241.

PRABAKARAN, R. 2017. Investigation in moisture characteristics of bagasse. *Investigation in moisture characteristics of bagasse.* [En línea] niversidad Ángeles de Ingeniería y Tecnología, 2017. [Citado el: 2016 de Noviembre de 12.] <http://textilelearner.blogspot.pe/2017/03/characteristics-sugarcane-bagasse.html>.

QUESADA, Karol, y otros. 2005. Utilización de las fibras del rastrojo de piña (ananas comusus, variedad champaka) como material de refuerzo en resinas de poliéster. Heredia : Revista Iberoamericana de Polímeros, 2005.

RODRÍGUEZ, Lady. 2014. *Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano.* Manizales : Universidad Nacional de Colombia, 2014.

RAMOS, L. y SÁNCHEZ, S. 2003. Vulcanización y formulación de hules. México : Limusa, 2003.

Reyes, Jorge, Perez, Raúl y Betancourt, Jesús. 2002. Uso de la biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental. Santa Clara : s.n., 2002.

ROJO, Ester. 2011. *Formulación y caracterización de materiales compuestos de matriz fenólica reforzados con fibras celulósicas modificadas tipo viscosa.* Madrid : s.n., 2011.

ROMERO, Manuel, y otros. 2002. *Resistencia de materiales.* Castellón de la Plana : s.n., 2002. 84-8021-384-1.

SACCOMANDI, Giuseppe y OGDEN, Raymond. 2004. *Mecánica y termomecánica de sólidos de caucho.* New York : s.n., 2004. 978-3-211-21251-6.

SALÁN, María. 2005. *Tecnología de proceso y transformación de materiales.* Barcelona : EDICIONES UPC, 2005.

SALGADO, René, y otros. 2010. Elaboración de materiales reforzados con carácter biodegradable a partir de polietileno de baja densidad y bagazo de caña modificado. Zacatepec : s.n., 2010.

VALDERRAMA, J. 2002. *Simulación de un Proceso Termoquímico para la Generación de Potencia a partir de Biomasa.* 2002. Vol. XIII. 0716-8756.

VALVERDE, Nimer, VÁSQUEZ, Telésforo, DEL CASTILLO, Dennis, MATTOS, Luz. 2010. El cultivo de la Shiringa en Madre de Dios - Perú. *El cultivo de la Shiringa en Madre de Dios - Perú.* [En línea] 2010. [Citado el: 12 de noviembre de 2016.] <http://www.inkanat.org/public/file/biodiversidad/cultivo-shiringa.pdf>.

WEISMAN, Alan. 2007. *El mundo sin nosotros*. New York : Thomas Dunne Books/St. Martin's Press, 2007. 1443400084.

YUTAKA, Tokiwa, y otros. 2009. Biodegradabilidad de Plásticos. *Revista Internacional de Ciencias Moleculares*. [En línea] 2009. [Citado el: 2016 de Noviembre de 12.]

ANEXOS

ANEXO N°1

MATRIZ CONSISTENCIA

Obtención de un material biocompuesto a partir de bagazo de caña de azúcar y caucho natural como sustituto del plástico

Problema General	Problemas Específicos	Objetivo General	Objetivos Específicos	Hipótesis General	Hipótesis Específicos	Variable	Indicadores
¿Cómo obtener un material biocompuesto a partir de bagazo de caña de azúcar y caucho natural que sustituya al plástico (PEAD)?	<p>Problema específico 1: ¿Cuál es la composición óptima de bagazo de caña de azúcar y caucho natural para obtener un material biocompuesto con mayor resistencia a la tracción que sustituya al plástico (PEAD)?</p>	Obtener un material biocompuesto a partir de bagazo de caña de azúcar y caucho natural que sustituya al plástico (PEAD).	<p>Objetivo específico 1: Determinar la composición óptima de bagazo de caña de azúcar y caucho natural para obtener un material biocompuesto con mayor resistencia a la tracción que sustituya al plástico (PEAD).</p>	Un material biocompuesto que sustituya al plástico (PEAD) se puede obtener a partir de las cantidades óptimas de bagazo de caña de azúcar y caucho natural.	<p>Hipótesis específica 1: La composición de 60 g de bagazo de caña de azúcar y 50 g de caucho natural es óptima para obtener un material biocompuesto con mayor resistencia a la tracción que sustituya al plástico (PEAD).</p>	Obtención de un material biocompuesto resistencia	Cantidad de bagazo de caña de azúcar
	<p>Problema específico 2: ¿Cuál es la composición</p>		<p>Objetivo específico 2: Determinar la</p>		<p>Hipótesis específica 2: La composición de 60 g</p>		Cantidad de caucho natural
							Resistencia a la tracción

	<p>óptima de bagazo de caña de azúcar y caucho natural para obtener un material biocompuesto con mayor resistencia a la flexión que sustituya al plástico (PEAD)?</p>		<p>composición óptima de bagazo de caña de azúcar y caucho natural para obtener un material biocompuesto con mayor resistencia a la flexión que sustituya al plástico (PEAD).</p>		<p>de bagazo de caña de azúcar y 50 g de caucho natural es óptima para obtener un material biocompuesto con mayor resistencia a la flexión que sustituya al plástico (PEAD).</p>		<p>Resistencia a la flexión</p>
--	---	--	---	--	--	--	---------------------------------

Elaboración propia, 2017.