

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

POTENCIAL DE RESIDUOS DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) PARA LA OBTENCIÓN DE MATERIAL DE EMPAQUE.

POR:

KAREN YISSELL VASQUEZ LAINES

INFORME DE TESIS FINAL



CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS, C.A

ABRIL 2024

POTENCIAL DE RESIDUOS DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) PARA LA OBTENCIÓN DE MATERIAL DE EMPAQUE.

POR:

KAREN YISSELL VASQUEZ LAINES

WILSON ALEXANDER MARTINEZ MARTÍNEZ, M. Sc.
ASESOR PRINCIPAL

INFORME DE TESIS FINAL PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL
DE AGRICULTURA COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN TECNOLOGÍA ALIMENTARIA

CATACAMAS, OLANCHO



HONDURAS, C.A

ABRIL 2024

DEDICATORIA

A Dios; por su presencia en mi vida, por ser mi guía y por darme la sabiduría y fortaleza necesaria cada día, ya que su presencia en mi vida ha sido una fuente de motivación para superar los desafíos y alcanzar mis metas.

A mis padres; Madre Odilia Adriana Laines y mi padre Alfredo Aceituno, y mis hermanos, su amor incondicional, apoyo y sacrificio han sido fundamentales en mi camino académico.

A mi esposo; Daniel Antonio Rodríguez, por su apoyo de manera incondicional y por estar siempre a mi lado durante todo este proceso académico, por su confianza en mí y por brindarme motivación, aliento y consejos valiosos en cada etapa, su presencia y apoyo constante han sido una fuente de inspiración para mí.

AGRADECIMIENTO

A Dios todo poderoso, por sus enormes bendiciones y sabiduría brindada a lo largo de mi vida y formación profesional.

A mis amados padres y hermanos, que con mucho sacrificio han logrado apoyarme de todas las maneras posibles para hacer de mí una persona digna, preparada y un profesional competente para la sociedad y mi madre Odilia Adriana Laines, le doy infinitas gracias por sus consejos y por siempre impulsarme a seguir adelante para alcanzar mis sueños. A mi padre Alfredo Aceituno, le agradezco por todo el sacrificio que hizo por mí, para que lograra ser una profesional y sobre todo una persona de bien y a mis hermanos Astry Aceituno, Livis Aceituno, Christopher Aceituno y Rodrigo Aceituno, gracias por siempre apoyarme y estar a mi lado.

A mis asesores, que me brindaron de su valioso tiempo y su preciado conocimiento con paciencia y esmero a lo largo de este trabajo de tesis. A pesar de ser mis mentores también se convirtieron en amigos. M.Sc. Wilson Alexander Martínez. M.Sc. Javier Osaías Betancourth y M.Sc. Ramón Antonio Herrera. Han inculcado en mí un sentido de seriedad, responsabilidad y rigor académico sin los cuales no podrá tener una formación completa.

A mis queridos amigos con quienes tuve el placer de compartir momentos tristes y alegres, pero siempre brindándonos apoyo mutuo. Bhrizz Sambola y Keiry Vásquez.

A mi alma mater (UNAG) Universidad Nacional de Agricultura y la Empresa Azucarera Tres Valles por formarme en todo este proceso he inculcarme valores que conllevan mi crecimiento personal y profesional.

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS.....	2
2.1.	Objetivo general	2
2.2.	Objetivos específicos.....	2
III.	REVISIÓN DE LITERARIA.....	3
3.1.	Plástico	3
3.2.	Bioplásticos.....	4
3.3.	Caña de azúcar	5
3.3.1.	Bagazo de caña de azúcar	6
3.3.1.1.	Propiedades del bagazo de caña de azúcar.....	7
3.4.	Polímeros biodegradables	10
3.5.	Biodegradabilidad	10
3.6.	Propiedades mecánicas	11
IV.	METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN	12
4.1.	Lugar de investigación.....	12
4.2.	Materiales y equipo	13
4.3.	Metodología de Investigación.....	15
4.3.1.	Fase 1. Determinación de la concentración adecuada de bagazo de caña de azúcar para la elaboración de material de empaque.....	15
4.3.2.	Fase 2. Elaboración de material biodegradable utilizando las mezclas adecuadas	16
	establecidas en las formulaciones.....	16
4.3.	Variables Independientes.....	19
4.4.	Variables Dependientes.....	20
4.5.	Diseño experimental	20
V.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	22
5.1.	Elaboración de material biodegradable con diferentes porcentajes de bagazo de caña de azúcar.....	22
VI.	CONCLUSIONES	25
VII.	RECOMENDACIONES	26
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	27
IX.	ANEXOS.....	29

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición morfológica del bagazo de caña de azúcar	9
Tabla 2. Descripción de los equipos.	13
Tabla 3. Descripción de la materia prima	14
Tabla 4. Tratamientos a base de 100 gramos	15
Tabla 5. Tratamientos	20

LISTAS DE FIGURAS

Figuras 1. Ubicación espacial de la Empresa Azucarera Tres Valles.	12
Figuras 2. Flujograma de proceso.	18
Figuras 3. Resultados de InfoStat.	21

RESUMEN

Los bioplásticos son una alternativa para disminuir la contaminación generada por componentes sintéticos, y se utilizan componentes biodegradables como el bagazo de caña de azúcar. El objetivo principal fue evaluar el potencial de residuos derivados de la caña de azúcar (bagazo) con el propósito de obtener un material de empaque biodegradable, contribuyendo a la promoción de prácticas sostenibles en la industria alimentaria. Se evaluaron distintos porcentajes de bagazo de caña con las siguientes formulaciones, (T1 20%, T2 25%, T3 30%, T4 35%) sometidos a un precalentado de 100 °C para proceder a un reposo a temperatura ambiente a 30°C, seguidamente se evaluaron las características de resistencia para las cuales se realizaron pruebas de humedad, temperatura, presión y peso. Los resultados obtenidos se evaluaron con el programa de diseño estadístico InfoStat, mediante el método de LSD con un nivel de significancia del 0.05%, se pudo observar que hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, en cuanto a la resistencia a la presión, temperatura y peso. El T4 tuvo mayor resistencia en todos los parámetros evaluados, contrario al T1 que mostró menor resistencia en todos los parámetros. En relación al estudio realizado se pudo demostrar que la utilización del bagazo de caña de azúcar tiene un gran potencial para la elaboración de un material de empaque biodegradable, además, es eficiente para la producción de bioplásticos. Los resultados indicaron que a mayor concentración de bagazo se puede producir materiales más resistentes a la presión, temperatura y peso.

Palabras claves: presión, resistencia, degradación, bioplástico, temperatura.

I. INTRODUCCIÓN

La acumulación indiscriminada de residuos puede convertir el agua en no apta para el consumo humano y el desarrollo de la vida acuática; la quema de residuos sólidos ocasiona deterioro del aire juntamente con los gases tóxicos generados por la quema de materiales plásticos, así como el metano emanado por la descomposición de los residuos sólidos (Sáez & Urdaneta 2014). El principal problema de los plásticos es que al estar compuestos por polímeros y moléculas de gran tamaño el tiempo que tardan en degradarse varía dependiendo del tipo de plástico (Dominguez, 2017).

Los bioplásticos son una alternativa para disminuir la contaminación generada por componentes sintéticos, estos son polímeros que provienen de fuentes naturales y renovables, todos son biodegradables por microorganismos como bacterias, hongos y algas. El almidón y la celulosa, polímeros de glucosa elaborados por las plantas, son la materia para obtener los bioplásticos vegetales (Salgado, 2014).

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad evaluar la factibilidad de materiales considerados como desperdicio y que a su vez pueden ser utilizados como biopolímeros naturales, para lo cual se utilizará el bagazo de la caña de azúcar como una solución a futuro para reducir la producción de plásticos, hoy considerados como uno de los más contaminantes más grandes del mundo, y así evitar que se libere un material que tarda años en descomponerse.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el principal residuo derivado de la caña de azúcar (bagazo) con el propósito de elaborar un material de empaque biodegradable, contribuyendo a la promoción de prácticas sostenibles en la industria alimentaria.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar la mezcla adecuada de los materiales orgánicos con el principal residuo de la caña de azúcar (bagazo) previo a la fabricación de material de empaque.
- Elaboración de material biodegradable utilizando las mezclas adecuadas establecidas en las formulaciones.
- Evaluar las características de resistencia a la temperatura, presión y peso del material biodegradable.

III. REVISIÓN DE LITERARIA

3.1. Plástico

Los plásticos son materiales poliméricos que se componen de moléculas químicas de gran tamaño en las que se repiten unidades de un compuesto denominado monómero. Dependiendo del método de polimerización y del monómero, los plásticos tienen estructuras químicas variadas que hacen que, en general, se clasifiquen en dos grandes grupos: los termoplásticos y los termoestables (Pedro R. , 2021).

Los termoplásticos son polímeros formados por cadenas lineales con ramificaciones. Esta propiedad les otorga la característica de ser reciclables. Los termoestables, por el contrario, son materiales cuya estructura molecular forma una red que no puede desligarse por medio de temperatura (característica que es posible con los termoplásticos) y que después de ser formados no pueden modificarse ni reciclarse (Francisco, 2022).

El plástico sintético es fabricados a partir de derivados del petróleo como el polietileno, polipropileno, policloruro de vinilo y el polietileno tereftalato, los cuales no son biodegradables y representan un serio problema de contaminación ambiental, siendo los causantes de problemas de salud al consumir alimentos y bebidas en este tipo de envases. (Marcos, 1998)

3.2. Bioplásticos

Los bioplásticos son fabricados a partir de recursos renovables de origen natural, como el almidón o la celulosa (caña de azúcar, maíz, yuca, remolacha, papa). Para crear un bioplástico, se buscan estructuras químicas que permitan la degradación del material por microorganismos, como hongos y bacterias, a diferencia del polipropileno y poliestireno expandido, cuya producción se basa de los derivados del petróleo (recurso que es no renovable) (Carlos, 1996).

Los bioplásticos son materiales obtenidos a partir de fuentes renovables o sintéticas. La obtención se puede dar a través de polisacáridos por su alto potencial para la formación de películas biodegradables como la papa, celulosa, quitasano. La obtención de bioplásticos por proteínas presenta una gran alternativa por ser hidrófilicas; también se pueden obtener a través de lípidos por sus propiedades hidrofobias que son utilizadas para poder formar un compuesto que actúe como barrera a la humedad, como las ceras, asimismo se puede usar otro tipo de polímeros como quitina y lignina. La síntesis a base de polímeros sintéticos es el resultado de la fermentación, donde como producto se obtiene al ácido poliláctico (PLA) y Los Polihidroxibutirano (PHB) (Rimac León, 2019).

Por otro lado, se puede sintetizar a partir de microorganismos como la *Pseudomonas aeruginosa* y la celulosa bacteriana las cuales presentan propiedades similares a los plásticos sintéticos que se comercializan actualmente. Las tecnologías usadas en la elaboración de bioplástico se realizan a través de la extrusión, inyección y termoformado para finalmente transforma el bioplástico en una lámina. Las propiedades mecánicas de flexión, tracción, comprensión, impacto son importantes debido a que estas van a definir la calidad del bioplástico. La propiedad más importante es la biodegradabilidad la cual es definida por la estructura química del material que ocurre a través de la acción enzimática

de microorganismos. La utilización de materiales biodegradables para la elaboración de bioplásticos, por sus propiedades mecánicas esta representa una alternativa de solución sostenible (Rimac León, 2019)

Los plásticos biodegradables procedentes del petróleo tienen aditivos que mejoran su capacidad de degradación, pero no satisfacen las normas internacionales de biodegradabilidad, mientras que los bioplásticos si lo hacen. Los productos desechables bioplásticos se degradan en un periodo menor a un año, donde el residuo final del proceso es la generación de CO₂, agua y biomasa. Al contrario de los productos desechables plásticos y de poliestireno expandido (durapax) que pueden tomar hasta 1.200 años en degradarse, generando una contaminación acumulativa al ecosistema (Carlos, 1996).

3.3. Caña de azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es un cultivo de elevada relevancia a nivel mundial, de sus tallos se extrae la sacarosa que es uno de los principales suplidores energéticos en la alimentación humana. Además, este cultivo permite una amplia diversidad productiva, que es mundialmente reconocida. Los subproductos obtenidos a partir de esta materia prima son totalmente aprovechados, con diversos fines; económico, alimenticio (Maria, 2012).

Debido a nuevos panoramas en el mercado mundial de los edulcorantes, así como a los desafíos que representa el cambio climático, la caña de azúcar debe diversificar su producción exclusivamente azucarera. En temas tecnológicos, uno de los mayores desarrollos pudiera ser el uso de este cultivo como biofábrica biotecnológica para la

producción de bioplásticos. La caña de azúcar también representa una fuente importante de residuos celulósicos e insumos para la producción de moldeados, abonos orgánicos, alimentos animales y otros productos de interés para la industria química y de los alimentos (Maria, 2012)

3.3.1. Bagazo de caña de azúcar

El bagazo del tallo de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) es un residuo fibroso que se obtiene de la extracción del jugo. La producción mundial del bagazo de caña es de 234 millones de toneladas anualmente, de las cuales 50% es usado en los ingenios como combustible para las calderas; sin embargo, su uso genera contaminación, pues la mayoría de los ingenios para alcanzar el poder calorífico que requiere la combustión incluyen en el proceso quema de combustóleo o llantas, lo que implica liberación de gases contaminantes como el bióxido de carbono (Bolio, 2016).

El bagazo, se encuentra disponible en grandes cantidades concentradas en los ingenios azucareros. Su manipulación, transportación y almacenamiento disminuyen los riesgos de inversión y lo hacen un material atractivo, en comparación con otras fuentes de materia prima lignocelulósicas, constituyendo un desecho importante de la industria azucarera que puede ser aprovechado, ya que por cada tonelada de azúcar refinada se producen dos de bagazo (Bolio, 2016).

Las materias primas fibrosas deben reunir determinados requisitos de índole técnica y económica. Entre los requisitos técnicos, los más importantes radican en la composición química del material, su reactividad frente a los agentes de pulpeado y sus propiedades anatómicas y morfológicas (Aguilar, 2011).

3.3.1.1. Propiedades del bagazo de caña de azúcar

Para hacer un uso óptimo del bagazo de la caña de azúcar es importante reconocer la importancia de la caña, su proceder y los efectos que tiene su producción, por lo cual se abordará cada uno de sus ámbitos para un mayor conocimiento de esta. *Saccharum officinarum* por su nombre científico y mundialmente conocida como caña de azúcar, pertenece a la familia de las gramíneas y al género *Saccharum*., en el cual existen seis especies: *S. spontaneum*, *S. robustum*, *S. barberi*, *S. sinense*, *S. edule* y *S. officinarum*. Los clones comerciales de caña de azúcar son derivados de las combinaciones entre las seis especies anteriores, predominando las características de *S. officinarum* como productora de azúcar (Moreno, 2011).

El bagazo es el residuo o remanente de los tallos de la caña de azúcar después que ésta ha sido sometida al proceso de extracción del jugo azucarado, saliendo del último molino con un 50% de humedad y un contenido residual de sacarosa de alrededor del 4 % (base seca). Es uno de los subproductos de la caña de azúcar, además de la miel final y la cachaza, entre otros, y representa entre un 23 - 27 % del total (11-13 % base seca) (Perez, 2015).

Desde el punto de vista general de su estructura, el bagazo se caracteriza por su elevada heterogeneidad morfológica y está formado por dos fracciones bien diferenciadas, la fibra, de estructura cristalina, estable químicamente, que brinda rigidez a la planta, y el meollo o parénquima de estructura amorfa y de un alto poder de absorción (Perez, 2015).

Físicamente el bagazo está constituido por cuatro fracciones cuya magnitud relativa está en dependencia del proceso agroindustrial azucarero, a saber, la designada como fibra o

bagazo en la terminología azucarera, con aproximadamente un 45 %; los sólidos no solubles entre el 2 y 3 %; los sólidos solubles entre el 2 y 3 % y el agua en proporción de 51-49%. La parte designada como fibra por los azucareros está compuesta de toda la fracción sólida orgánica insoluble en agua presente originalmente en el tallo de la caña y que se caracteriza por marcada heterogeneidad desde el punto de vista morfológico está constituida por la fracción fibra verdadera y por meollo (Altamirano, 2020).

La fracción insoluble está formada principalmente por sustancias inorgánicas (como piedras, tierra, materiales extraños) de cuya presencia son responsables las condiciones del procesamiento agrícola, así como del tipo de corte y recolección. Los sólidos solubles abarcan la fracción que se disuelve en agua, compuesta principalmente por sacarosa y ceras en menor proporción.

El agua presente en el bagazo se retiene a través a través de mecanismos de absorción (capacidad que presentan los componentes químicos del bagazo de absorber moléculas de agua en cantidades que dependen de la humedad relativa ambiental) y capilaridad dado el carácter poroso del mismo (agua mantenida por fuerzas de capilaridad y tensión superficial).

La densidad y la humedad son dos propiedades físicas importantes del bagazo, las que se encuentran íntimamente vinculadas y son imprescindibles para realizar cualquier tipo de cálculo de ingeniería relacionada con los procesos industriales (Altamirano, 2020).

Desde el punto de vista químico el bagazo de la caña de azúcar está compuesto, aproximadamente de 41-44% de celulosa, 25-27% de hemicelulosas, 20-22% de lignina y 810% de otros componentes, entre estos las cenizas. La celulosa y hemicelulosas

componen la fracción carbohidrático del bagazo a la que se le denomina analíticamente como Holo celulosa. En la tabla 1 se muestran las propiedades químicas de variedades mezcladas de bagazo integral, su fracción fibra y la medula o meollo (Altamirano, 2020).

Tabla 1. Composición morfológica del bagazo de caña de azúcar

Componente	Integral	Fracción fibra	Medula
Celulosas	46.6	47.0	41.2
Pentosanos	25.2	25.1	26.0
a celulosa	38.3	40.4	-
Lignina	20.7	19.5	21.7
Extractivos A/B	2.7	2.3	2.9
Solubilidad en agua caliente	4.1	3.4	4.2
Solubilidad en agua fría	2.2	2.1	4.0
Solubilidad en sosa al 1%	34.9	32.0	36.1
Cenizas	2.6	1.4	5.4

Tomado de Flores 2013.

La distribución granulométrica del bagazo es muy variada, desde un fino polvo hasta partículas irregulares de gran tamaño, hasta un 8 % de partículas grandes retenidas en la malla.

No. 1, y de 10 a 25 % de partículas pequeñas pasando por la malla No. 16. Como se puede apreciar el bagazo no constituye un material homogéneo y su peso volumétrico o densidad aparente es muy bajo, reportándose valores entre 50 kg/m³ hasta 96 kg/m³ en base seca y condiciones naturales, es decir, sin ningún grado de compactación (Guillen, 2022).

3.4. Polímeros biodegradables

La actual producción excesiva del plástico, debido al elevado uso que se le da por su accesible aprovechamiento y fabricación, ha generado un problema ambiental de gran impacto. Causando preocupación en la sociedad ya que estos son extremadamente persistentes en el ambiente, además de que también se fragmentan en pequeños pedazos llamados micro plásticos, los cuales debido a su tamaño se desplazan rápidamente a las fuentes principales de los recursos y son consumidos por los organismos que habitan estos y finalmente también por las personas que los utilizan o consumen estos alimentos contaminados, por lo que son altamente dañinos para los ecosistemas y el ser humano. Para poder combatir este problema se vienen promoviendo y desarrollando alternativas accesibles para la sociedad, como la reducción, reuso, reciclaje y sobretodo la fabricación de bioplásticos compuestos por estructuras biodegradables obtenidas de distintas fuentes naturales, como enzimas, almidones, monómeros, proteínas, polisacáridos, etc., y así, poder reemplazar o reducir el uso de los fabricados con hidrocarburos. Los más usados son: El ácido poliláctico (PLA), el PCL (policaprolactona), el PHA (polihidroxialcanoatos), el TPS (Thermoplastic starch) y el PHV (polihidroxivalerato) (Loayza Limas, 2022).

3.5. Biodegradabilidad

Se trata de procesos que describen la mineralización de las estructuras orgánicas por medio de microorganismos. Estos microorganismos convierten los bioplásticos en dióxido de carbono, metano, agua y biomasa. Los procesos de biodegradación comprenden dos categorías: biodegradación primaria y biodegradación secundaria o mineralización. Durante la biodegradación primaria se producen discretas alteraciones estructurales en la molécula original, lo que hace que esta pierda sus propiedades fisicoquímicas. Durante la biodegradación secundaria o total, la sustancia química es metabolizada por los

microorganismos como fuente de carbono y energía, siendo completamente transformada en compuestos inorgánicos. La descomposición puede llevarse a cabo en presencia de oxígeno (aeróbica) o en su ausencia (anaeróbica) (Carla Barras, 2001).

3.6. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas son otros factores de suma importancia en la formulación de bandejas biodegradables, debido a que estas influyen en la calidad de los platos, vasos o bandejas que se obtienen. Dentro de estas propiedades se encuentran dureza, fracturabilidad y deflexión. Estos aspectos son relevantes, dado que los recursos amiláceos (almidón) pueden mezclarse con fibras naturales para favorecer las propiedades mecánicas de los bioplásticos fabricados (Perez, 2015).

La dureza es una propiedad mecánica de los materiales, consiste en la resistencia que opone a los materiales de su deformación plástica permanente pudiendo ser superficial por rayado o penetración. (Hardness, 1995). Las pruebas de dureza juegan un papel importante en la determinación de las características técnicas e industriales de los materiales y es frecuente que los resultados obtenidos sirvan como base para la aceptación o rechazo de productos o subproductos. (William D. Callister, 2013).

(Espina, Cruz-Tirado, & Siche, 2016). Definen la fracturabilidad como la fuerza necesaria para fracturar una muestra. De la misma manera, manifiestan que es la dureza con la cual un material se desmorona, cruje o revienta. La deflexión es aquella deformación que sufre un elemento por efecto de las flexiones internas (J. Carrillo, 2017).

IV. METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Lugar de investigación

Este trabajo de investigación se llevará a cabo en la compañía azucarera “Tres Valles” ubicada en San Juan de Flores en el Departamento de Francisco Morazán, a una elevación de 600 msnm, su área de influencia abarca desde la zona del Zamorano hasta el Valle de Talanga, presente de las siguientes coordenadas.



Figuras 1. Ubicación espacial de la Empresa Azucarera Tres Valles.

4.2. Materiales y equipo

Tabla 2. Descripción de los equipos.

EQUIPOS	CANTIDAD	DESCRIPCION
Estufa electrica	1 unidad	Máquina que se usa para calentar los alimentos.
Recipientes de acero inoxidable	1 unidad	Son envases de acero inoxidable que se utilizan en la cocina.
Olla	1 unidad	Vasija redonda de metal
Balanza Analítica	1 unidad	Es un instrumento de laboratorio.
Prensadora	1 unidad	Es una maquina que se encarga de medir la psi.
Molino de mano	1 unidad	Sirve para triturar productos.
Beaker	1 unidad	Se utiliza para medir, calentar y mezclar.
Vaso precipitado de 2L	1 unidad	Se utiliza para preparar o medir líquidos.
Agitador	1 unidad	Sirve para la agitación de algunas sustancias.
Tamizador 425 y 850 μm	1 unidad	Sirve para disminuir fibras.

Horno Industrial	1 unidad	Sirve para secados.
Equipo formador de recipiente	1 unidad	Sirven para hacer diseños de moldes.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Descripción de la materia prima

MATERIAS	DESCRIPCION PRIMAS
Bagazo de caña de azúcar	El bagazo del tallo de la caña de azúcar (<i>Saccharum spp.</i>) es un residuo fibroso que se obtiene de la extracción del jugo.
Almidón de yuca	Es uno de los principales componentes de la yuca, se encuentra almacenado en gránulos y se extrae utilizando un proceso de disolución en agua
Fécula de maíz	Es el material más utilizado para la fabricación de plásticos biodegradables, siendo un polímero con propiedades muy similares al plástico.
Vinagre blanco	Es un producto versátil que se descompone rápidamente y no deja residuos químicos dañinos en el medio ambiente.
Resina	Son resinas sintéticas que se emplean como adhesivos o aglomerantes en la fabricación de materiales de empaque o madera.
Carbonato de calcio diluido	Es el extendedor, pigmento o carga más utilizado en plásticos. Agua diluida Es aquella que contiene una pequeña proporción del soluto, disuelto en una gran cantidad de disolvente.

Fuente: Elaboración propia

4.3. Metodología de Investigación

Este trabajo de investigación estuvo dividido en tres segmentos o fases, la primera fue determinar la mezcla adecuada de los materiales orgánicos con el principal residuo de la caña de azúcar (bagazo), seguidamente se elaboró el material biodegradable utilizando las mezclas adecuadas establecidas en las formulaciones, al culminar esta fase se evaluaron las características de resistencia térmica, peso y presión, ya obteniendo los resultados se analizaron los resultados mediante el programa estadístico InfoStat 2020¹ para conocer cuál fue el tratamiento que tuvo mayor resistencia.

4.3.1. Fase 1. Determinación de la concentración adecuada de bagazo de caña de azúcar para la elaboración de material de empaque

La finalidad de esta fase fue determinar las diferentes concentraciones de bagazo de caña de azúcar que puede ser adicional al proceso de elaboración de un material biodegradable, en el área de recepción de la materia prima se realizaron los cálculos necesarios para establecer las cantidades necesarias del bagazo de caña de azúcar, estos cálculos permitieron establecer las concentraciones y las condiciones ideales para la adición de bagazo de caña de azúcar en el proceso de elaboración del material biodegradable, contribuyendo así a la reutilización de residuos agrícolas y a la reducción del impacto ambiental, las concentraciones fueron las siguientes: T1; 20%, T2; 25%, T3; 30%, T4; 35% de bagazo de caña de azúcar.

Tabla 4. Tratamientos a base de 100 gramos

Formulaciones					
Tratamientos	Concentraciones de bagazo	Fécula de maíz	Fécula de yuca	Agua diluida	Otros
T1	20%	20%	20%	30%	10%
T2	25%	15%	15%	35%	10%
T3	30%	10%	10%	40%	10%
T4	35%	5%	5%	45%	10%

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Fase 2. Elaboración de material biodegradable utilizando las mezclas adecuadas establecidas en las formulaciones

4.3.2.1. Descripción del proceso de elaboración del material de empaque

Recepción de la materia prima: se utilizó bagazo de caña de azúcar y almidón de yuca como materia prima, en esta operación se verificó que ambas materias estén en estado fresco, exentas de cualquier partícula extraña.

Secado: el bagazo de caña de azúcar fue sometido a rejillas de acero dentro de un horno industrial a una temperatura de 100°C.

Molienda: El jugo de caña de azúcar es extraído ya sea con el uso de molinos o de prensas.

El jugo extraído en la primera fase de la molienda es conocido como jugo rico o primario.

Tamizado (reducción de tamaño): una vez lograda la reducción de humedad en el bagazo de caña de azúcar, se procedió a tamizar el mismo, utilizando un tamiz, con el fin de lograr la reducción del tamaño de fibra del bagazo, obteniendo un tamaño de partícula inferior a 425 μm .

Mezclado (preparación de la mezcla): se homogenizará la mezcla teniendo en cuenta los porcentajes de formulación para cada componente: bagazo de caña, almidón de yuca, fécula de maíz, resina UMF-1123, cal dolomita (carbonato de calcio + carbonato de magnesio) y agua.

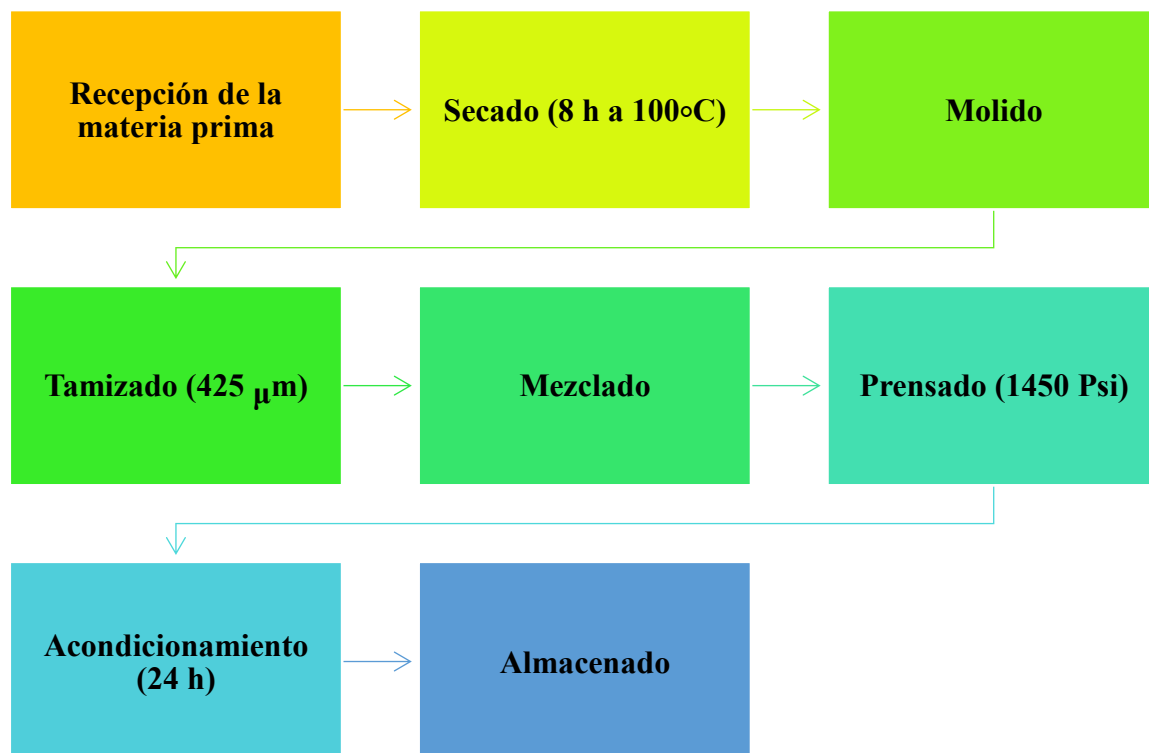
Prensado: para esta operación, se adaptó una prensa en base a los requerimientos del biopolímero y siguiendo un modelo tradicional de plancha térmica para sublimación de platos. La prensadora se precalentó a 145°C en ambas placas, luego se introdujo la mezcla y se cerró para formar el plato a una temperatura de 145°C por 5 minutos y ver la psi de resistencia del material de empaque.

Acondicionamiento de la materia prima: el bagazo de caña de azúcar se distribuyó de forma homogénea en rejillas de acero inoxidable dentro de un horno industrial con el fin de eliminar el agua presente de esta materia prima, para ello, en el interior de la estufa se manejó una temperatura de 100°C por un tiempo de 8 horas, transcurrido este tiempo se logrará obtener una humedad constante del 12% (mediante cinética de secado) en el bagazo de caña de azúcar. Una vez lograda la reducción de humedad en el bagazo de caña de azúcar, se procedió a tamizar el mismo, utilizando un tamiz, con el fin de lograr la reducción del tamaño

de fibra del bagazo. Posteriormente, el producto obtenido de la molienda se pasó por un tamiz alcanzando un tamaño de partícula inferior a 425 y 850 μm .

Almacenado: todos los tratamientos fueron almacenados en el laboratorio a temperatura ambiente (25°C) durante un tiempo de 72 horas para medir sus propiedades físicas y de resistencia (peso, temperatura y presión).

Figuras 2. Flujograma de proceso.



Fuente: Elaboración propia

3. Fase 3. Evaluación de las características de resistencia del material de empaque biodegradable

4.3.4. x

- Resistencia térmica: es una propiedad del calor y una medida de la diferencia de temperatura por la cual un objeto o material resiste un flujo de calor, se requiere un espesor del material y una diferencia de temperatura para resolver el calor transferido.
- Resistencia al peso: la relevancia del peso en la resistencia de los materiales depende de varios factores, como la distribución de la carga, la forma y la geometría de la estructura y las propiedades mecánicas del material.
- Resistencia a la presión: mide la capacidad de un material para resistir la tracción o estiramiento. Se define como la máxima carga que un material puede soportar antes de romperse. La resistencia a la tracción se expresa en unidades de presión, como MPa o PSI.

4.3. Variables Independientes

Las variables independientes fueron las cantidades de bagazo de caña de azúcar, almidón de maíz, fécula de yuca, agua diluida, y otros (20%, 25%, 30%, 35%).

4.4. Variables Dependientes

- a) Resistencia a la presión
- b) Resistencia al peso
- c) Resistencia a la temperatura

4.5. Diseño experimental

La investigación es de tipo aplicada porque está orientada a resolver los problemas que se presentan en los procesos de producción, distribución, circulación, y consumo de bienes y servicios de cualquier actividad humana (Nieto, 2018). El enfoque es cuantitativo porque se concentra en las mediciones numéricas., utiliza la observación del proceso en forma de recolección de datos y los analiza para llegar a responder sus preguntas de investigación. (Otero-Ortega, 2018). El diseño de la investigación es casi experimental ya que pone a prueba la hipótesis causal estudiando una variable independiente donde por razones de estudio o ética, se utiliza el muestreo no probabilístico (Galarza, 2021).

Se aplicará un diseño DCA (Diseño Completamente al Azar) en arreglo bifactorial 32 con 4 repeticiones por cada tratamiento. Se manejarán tres diferentes porcentajes de bagazo de caña de azúcar (20%, 25% ,30% y 35%) de acuerdo con las respectivas combinaciones de los factores con los niveles, obteniendo nueve tratamientos a estudiar con tres réplicas para cada uno con un total de 20 unidades experimentales, para lo cual se utilizará el programa estadístico InfoStat versión 2020l implementando la prueba de análisis de varianza no paramétrica Kruskal wallis con un nivel de significancia al 5%. En la tabla 1, se presentan

los tratamientos a escala laboratorio a base de 100 gramos de material de empaque biodegradable.

Tabla 5. Tratamientos

Tratamiento Cantidad de bagazo	
T1	20%
T2	25%
T3	30%
T4	35%

Fuente, (Elaboración propia)

V. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. Elaboración de material biodegradable con diferentes porcentajes de bagazo de caña de azúcar

Mediante el presente estudio se pudo demostrar que es posible desarrollar un material biodegradable mediante la utilización del residuo principal de las industrias azucareras (bagazo de caña), fue posible obtener polímeros biodegradables mediante la adición de diferentes concentraciones de bagazo de caña de azúcar.

Figuras 3. Resultados de InfoStat.

```
Peso

Variable N   R²   R² Aj   CV
Peso       16  0.94   0.93  2.71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)
  F.V.      SC      gl      CM      F      p-valor
Modelo      231364.25   3   77121.42  68.47 <0.0001
Tratamientos 231364.25   3   77121.42  68.47 <0.0001
Error       13515.50  12   1126.29
Total       244879.75  15

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=51.70474
Error: 1126.2917 gl: 12
Tratamientos Medias n E.E.
T1          1034.50  4  16.78 A
T2          1288.50  4  16.78 B
T3          1295.75  4  16.78 B C
T4          1340.75  4  16.78 C
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)
```

La adición de diferentes concentraciones de bagazo mostro diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para las características de resistencia como la resistencia a la temperatura, al peso y a la presión donde la muestra T4 con una concentración 35% de bagazo de caña de azúcar. Según Cabrera y Novoa (2016), el bagazo de caña de azúcar resulta ser una fuente de biomasa (70.5%) con alto potencial de aprovechamiento para los procesos biotecnológicos, por su alta concentración de celulosa (49.3%) y hemicelulosa (21.2%).

Evaluación de las características de resistencia del material biodegradable

Se realizaron los análisis de resistencia a todos los tratamientos con diferentes concentraciones de bagazo de caña 20%, 25%,30% y 35%, para determinar el tratamiento con mayor resistencia. En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos de los diferentes tratamientos en cuanto a las características de resistencia.

Tabla 4. Tabla de resultados

Tabla de resultados			
Bagazo (%)	Presión	Temperatura °C	Peso
T1	1212.50±11.46 Psi ^a	69.50±3.64 ^a	1034.50±31.32 ^a
T2	1302.50±16.01 Psi ^b	82.75±2.77 ^b	1288.50±22.79 ^b
T3	1420.00±21.60 Psi ^c	92.50±6.45 ^c	1295.00±37.28 ^{b, c}
T4	1495.00±33.17 Psi ^d	102.00±5.42 ^d	1340.75±33.40 ^c

Los valores se representan como promedio ± desviación estándar

Nota *medias con letras diferentes, indican diferencias significativas ($p<0.05$), según la prueba de comparaciones diferencia mínima significativa (LSD).

- ✦ Tratamiento (1): 20% de Bagazo
- ✦ Tratamiento (2): 25% de Bagazo
- ✦ Tratamiento (3): 30% de Bagazo
- ✦ Tratamiento (4): 35% de Bagazo

Según los resultados obtenidos en la Tabla 4, se puede observar que la utilización del bagazo de caña de azúcar para la elaboración de un material biodegradable es factible, los análisis en cuanto a las características de resistencia demuestran que el tratamiento con 35% de bagazo de caña tuvo mayor resistencia térmica, a la presión y al peso, esto demuestra que a mayor concentración de bagazo presenta mayor resistencia.

VI. CONCLUSIONES

Se determinaron las concentraciones del bagazo de caña de azúcar que fueron adicionados en las diferentes formulaciones para la elaboración de un material biodegradable que puede ser utilizado para desarrollar un material de empaque.

El bagazo de caña de azúcar y almidón de yuca son una alternativa para el desarrollo de platos biodegradables, con diferentes aplicaciones industriales.

El tratamiento T4 presentó mejores propiedades de temperatura, peso y presión, lo que indica que a mayor concentración de bagazo mejora las características del material biodegradable.

VII. RECOMENDACIONES

Utilizar mayores concentraciones de bagazo de caña de azúcar y de almidón de yuca para la elaboración de biopolímeros biodegradables debido a su alto porcentaje de biodegradabilidad.

Optar por un estudio de factibilidad, que permita demostrar la rentabilidad de producir un material de empaque con bagazo de caña de azúcar y de almidón de yuca, y demostrar que es una alternativa para reducir la utilización de plásticos sintéticos.

Se recomienda analizar, análisis toxicológicos, pruebas mecánicas y de biodegradabilidad.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, N. (2011). *Análisis de la capacidad de drenado de celulosa de bagazo*.
- Altamirano, M. (2020). Obtenido de <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/50305/AltamiranoHdzU.pdf?sequence>
- Bolio, G. (2016). *Obtención de celulosa a partir de bagazo de caña de azúcar*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/biodegradabilidad-ejemplos-de-productos-biodegradables311.html>
- Carla Barras. (2001). *Biodegradabilidad*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/biodegradabilidad-ejemplos-de-productos-biodegradables311.html>
- Carlos, M. (1996). *Bioplástico, restos orgánicos reciclados transformados en artículos de uso diario*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/patrocinado/bioplastico-restos-organicosreciclados-transformados-en-articulos-de-usodiario/#:~:text=Las%20materias%20primas%20que%20se%20emplean%20para%20hacer,este%20material%20en%20objetos%20que%20se%20pueden%20comercializar>
- Espina, M., Cruz-Tirado, J., & Siche, R. (2016). *Propiedades mecánicas de bandejas elaboradas con almidón de especies vegetales nativas y fibras de residuos agroindustriales*. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v7n2/a06v7n2.pdf>
- Francisco, T. (2022). *¿Qué son los termoplásticos?* Obtenido de <https://sintac.es/que-son-lostermoplasticos/>
- Guillen, O. (2022). *Caracterización físicoquímica*. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5767/ICI_2223.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hardness. (1995). <https://1library.co/article/dureza-propiedades-mec%C3%A1nicas-de-losmateriales.zwvw467q>. Obtenido de <https://1library.co/article/dureza-propiedadesmec%C3%A1nicas-de-los-materiales.zwvw467q>
- J. Carrillo, J. C. (2017). *Propiedades mecánicas de los materiales: rigidez y deflexión*. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732017000200005
- L., P. (2015). *Propiedades antioxidantes y anticariogénicas de azúcares de caña no refinados*.
- Loayza Limas, M. J. (2022). *Polímeros biodegradables como alternativa para reducir la producción y el consumo de productos elaborados con plástico*. Obtenido de <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/1711>
- Marcos, A. (1998). *Tesis Bioplástico*. Obtenido de <https://www.scribd.com/document/359647048/TESIS-BIOPLASTICO>
- Maria, L. (2012). *caña de azúcar*. Obtenido de <https://www.bioenciclopedia.com/cana-de-azucar491.html>

- Moreno, J. (2011). *Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en la fabricación de bloques ecológicos para mampostería liviana*. Obtenido de <http://ceaa.espoeh.edu.ec:8080/revista.perfiles/faces/Articulos/Perfiles08Art3.pdf>
- N., A. (s.f.). *Análisis de la capacidad de drenado de celulosa de bagazo de caña de azúcar*.
- Pedro, F. (2000). *Método experimental*. Obtenido de <https://investigacioncientifica.org/que-es-elmetodo-cientifico-experimental/>
- Pedro, R. (2021). *Plásticos: qué son, características, tipos y reciclaje*. Obtenido de <https://responsabilidadsocial.net/plasticos-que-son-caracteristicas-tipos-y-reciclaje/>
- Perez, L. (2015). *Propiedades antioxidantes y anticariogénicas de azúcares de caña no refinados*.
- Rimac León, A. C. (2019). *Bioplásticos*. Obtenido de <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/806>
- Rodríguez, A. (2012). *Biodegradabilidad de material de bioplásticos*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/328676031_Biodegradabilidad_de_materiales_bioplásticos
- Rodríguez, A. (2012). *Biodegradabilidad de material de bioplásticos*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/328676031_Biodegradabilidad_de_materiales_bioplásticos
- Rodríguez, A. (2012). *Biodegradabilidad de materiales bioplásticos*. Obtenido de <https://www.itca.edu.sv/wpcontent/themes/elaniinitca/docs/2015-Obtencion-de-unpolimerobiodegradable.pdf>
- Rodríguez, A. (s.f.). *Biodegradabilidad de materiales bioplásticos*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/328676031_Biodegradabilidad_de_materiales_bioplásticos
- William D. Callister. (2013). *¿Qué es la dureza? Definición*. Obtenido de <https://materialproperties.org/es/que-es-la-dureza-definicion/>

IX. ANEXOS

Anexo 1. Muestreo de bagazo de caña de azúcar



Anexo 2. Secado



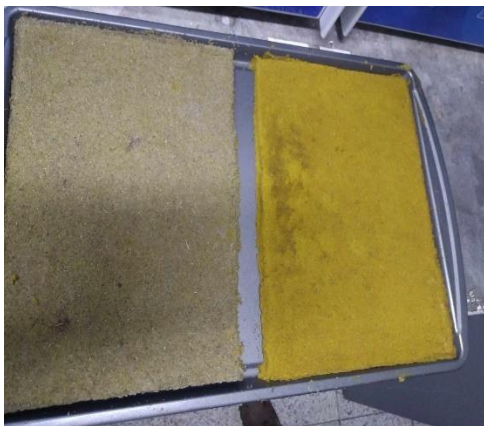
Anexo 3. Tamizado



Anexo 4. Formulación



Anexo 5. Biopolímero



Anexo 6. Material de empaque biodegradable



Anexo 7. Pruebas de Resistencias (Análisis) Muestras del material (Resistencia a la presión)



Anexo 8. Resistencia al peso y temperatura

