UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

EFECTO DEL ALMIDÓN Y GLICEROL EN LA CALIDAD FISICOMECÁNICA DE PLATOS ELABORADOS A BASE CASCARILLA DE ARROZ Y BAGAZO DE CAÑA EN LA REGIÓN UCAYALI

Tesis para optar el título profesional

INGENIERO AMBIENTAL

YOISY PAOLITA, CAMPOS RODRIGUEZ

Pucallpa, Perú

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
N° 141-2025-CGT- FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa, siendo las 11:29 horas del jueves 09 de octubre del 2025, de acuerdo al reglamento de grados y títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del jurado evaluador en el auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales designados con memo múltiple 051-2025-UNU-FCFyA-CGT conformando por los siguientes docentes:

Dr. Roly Baldoceda Astete	Presidente
Dr. Aparicio Limache Alonzo	Miembro
Dra. Dina Pari Quispe	Miembro

Se procedió a la sustentación de tesis titulado **"EFECTO DEL ALMIDÓN Y GLICEROL EN LA CALIDAD FISICOMECÁNICA DE PLATOS ELABORADOS A BASE CASCARILLA DE ARROZ Y BAGAZO DE CAÑA EN LA REGIÓN UCAYALI"**, presentado por la bachiller **YOISY PAOLITA CAMPOS RODRIGUEZ;** asesorada por el Dr. Grober Panduro Pisco. Habiendo culminado la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por parte del jurado evaluador, las que fueron absueltas por la sustentante. En consecuencia, la tesis ha sido **APROBADA** por **MAYORÍA**, recomendado subsanar las observaciones realizadas por el jurado evaluador, quedado expeditas para el otorgamiento del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

Siendo las 12:45 horas del mismo día, se da por concluido el acto académico, firmando los miembros del jurado evaluador en señal de conformidad.

Dr. Roly Baldoceda Astete
Presidente

Dr. Aparicio Limache Alonzo
Miembro

Dra. Dina Pari Quispe
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito parcial para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Dr. Roly Baldoceda Astete
Presidente

Dr. Aparicio Limache Alonzo
Miembro

Dra. Dina Pari Quispe
Miembro

Dr. Grober Panduro Pisco
Asesor

Bach. Yoisy Paolita, Campos Rodriguez
Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº **V/275-2025**.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"**EFECTO DEL ALMIDÓN Y GLICEROL EN LA CALIDAD FISICOMECÁNICA DE PLATOS ELABORADOS A BASE CASCARILLA DE ARROZ Y BAGAZO DE CAÑA EN LA REGIÓN UCAYALI**"

Autor(es)	:	**CAMPOS RODRÍGUEZ, YOISY PAOLITA**
Facultad	:	**CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**
Escuela	:	**ING. AMBIENTAL**
Asesor(a)	:	**Dr. GROBER PANDURO PISCO**

Presenta un **porcentaje de similitud de 1%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 27/05/2025

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, YOISY PAOLITA CAMPOS RODRIGUEZ

Autor de la tesis titulada : "EFECTO DEL ALMIDÓN Y GLICEROL EN LA CALIDAD FISICOMECÁNICA DE PLATOS ELABORADOS A BASE DE CASCARILLA DE ARROZ Y BAGAZO DE CAÑA EN LA REGIÓN DE UCAYALI"

Sustentada el año: 2025

Asesor(a): DR. GROBER PANDURO PISCO

Facultad: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Escuela Profesional: INGENIERIA AMBIENTAL

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 09 / 10 / 2025

Email: PAOLITACR08@GMAIL.COM Firma:

Teléfono: 929 477 472 DNI: 74067836

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por bendecirme en cada momento de mi vida, y permitirme alcanzar esta meta, por darme fuerzas para no rendirme en el camino, a mi familia al Dr. Grober Panduro Pisco por su tremenda ayuda y desinteresado apoyo durante los largos días de trabajo para completar este proyecto.

AGRADECIMIENTO

A nuestro padre todopoderoso, a mis padres, William campos y Erika Rodriguez con todo mi amor, misión cumplida papitos
Tu hija

A mis hijos Adrian y Antonella que son mi motor y motivo, que me acompañan en cada momento de mis dificultades y me brindan el apoyo moral.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTO vii

ÍNDICE GENERAL viii

ÍNDICE DE TABLAS xi

ÍNDICE DE FIGURAS xii

RESUMEN xiii

ABSTRACT xiv

INTRODUCCIÓN xv

CAPÍTULO I 1

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN 1

1.1. Planteamiento del Problema 1

1.2. Formulación del problema 3

1.2.1. Problema general 3

1.2.2. Problemas específicos 3

1.3. Objetivos 3

1.3.1. General 3

1.3.2. Específico 3

1.4. Hipótesis 4

1.4.1. Hipótesis general 4

1.4.2. Hipótesis específicas 4

1.5. Componentes estudiados 4

1.5.1. Variables dependientes 4

1.5.2. Variables independientes 4

CAPÍTULO II 5
MARCO TEÓRICO 5
2.1. Antecedentes de la investigación 5
2.1.1. Antecedentes internacionales 5
2.1.2. Antecedentes nacionales 11
2.2. Planteamiento Teórico del Problema 12
2.2.1. Efecto del almidón con glicerol en la calidad físico-mecánica de platos 12
2.2.2. Almidón y glicerol en platos 16
2.2.3. Efecto de la cáscara de arroz y bagazo de caña azúcar en platos biodegradables 19
2.3. Definición de Términos Básicos 20
CAPÍTULO III 22
METODOLOGÍA 22
3.1. Metodología de la investigación 22
3.1.1. Ubicación 23
3.1.2. Población 23
3.1.3. Muestra 23
3.2. Diseño de la investigación 24
3.3. Procedimiento de Recolección de Datos 25
3.3.1. Evaluación del efecto del almidón con glicerol en la calidad físico-mecánica 25
3.3.2. Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de platos 28
3.3.3. Evaluación del efecto de la cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar 33
CAPÍTULO IV 35
RESULTADOS Y DISCUSIONES 35
4.1. Efecto de la mezcla de almidón con glicerol en la calidad físico-mecánica de platos 35
4.2. Propiedades físico-mecánica de platos de bagazo de caña de azúcar y cáscara de arroz . 39

4.3. Efecto de la cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar en platos biodegradables 49
CAPÍTULO V 52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 52
5.1. Conclusiones 52
5.2. Recomendaciones 53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 54
ANEXOS 66
Anexo 1: Iconografía 67
Anexo 2: resultado 4.1 69
Anexo 3: resultado 4.2 70
Matriz de consistencia 71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diseño experimental tipo DCA ejecutado para la investigación. 24

Tabla 2. Diseño experimental tipo DCA para el plato de bagazo de caña..... 25

Tabla 3. Diseño experimental tipo DCA para el plato de cáscara de arroz. 25

Tabla 4. Valores físico-mecánicos comerciales de platos. 27

Tabla 5. Escala de calidad respecto a platos comerciales de polipropileno y poliestireno..... 27

Tabla 6. Ponderación total y calidad del plato. 28

Tabla 7. Porcentaje de participación de insumos según tratamiento en cáscara de arroz..... 31

Tabla 8. Porcentaje de participación de insumos según tratamiento en bagazo de caña. 31

Tabla 9. Efecto de la mezcla de almidón con glicerol en la calidad físico-mecánicas de platos.. 35

Tabla 10. Prueba estadística de ANOVA para platos de bagazo de caña y cáscara de arroz. 36

Tabla 11. Correlación del almidón con glicerol en las propiedades físico-mecánicas de platos.. 39

Tabla 12. Prueba de normalidad para platos de bagazo de caña de azúcar. 69

Tabla 13. Prueba post-hoc HSD Tukey para platos de bagazo de caña de azúcar. 69

Tabla 14. Prueba de normalidad para platos de cáscara de arroz. 70

Tabla 15. Prueba post-hoc HSD Tukey para platos de cáscara de arroz. 70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Residuos agroindustriales, a) cáscara de arroz y b) bagazo de caña de azúcar. 29
Figura 2. Molienda y pulverizado de residuos. 30
Figura 3. Termoformado de la mezcla en platos de bagazo de caña. 32
Figura 4. Probetas cortadas para pruebas físico-mecánicas. 33
Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de productivo de platos biodegradables 34
Figura 6. En A, B, C y D se presenta el gráfico barras de error simple con datos de media con los subconjuntos de la prueba HSD Tukey para parámetros físico-mecánicos en platos de bagazo de caña azúcar. 37
Figura 7. En A, B, C y D se presenta el gráfico barras de error simple con datos de media con los subconjuntos de la prueba HSD Tukey para parámetros físico-mecánicos en platos de cáscara de arroz. 38
Figura 8. Módulo de Young de plato de bagazo de caña de azúcar y cáscara de arroz 41
Figura 9. Elongación de plato de bagazo de caña de azúcar y cáscara de arroz. 43
Figura 10. Resistencia a la tracción de plato de bagazo de caña de azúcar y cáscara de arroz. ... 45
Figura 11. Módulo de elasticidad de plato de bagazo de caña de azúcar y cáscara de arroz..... 46
Figura 12. Módulo de ruptura de plato de bagazo de caña y cáscara de arroz. 48
Figura 13. Dureza de plato de bagazo de caña de azúcar y cáscara de arroz. 49
Figura 14. Combinaciones óptimas para platos de cáscara de arroz. 50
Figura 15. Combinaciones óptimas para platos de bagazo de caña de azúcar. 51
Figura 16. Bagazo de caña de azúcar (A) y cáscara de arroz (B). 67
Figura 17. Residuos pulverizados (A) y pulverizado (B). 67
Figura 18. Pesado de insumos e insumos para mezclado. 67
Figura 19. Mezclado de insumos (A) y preparación para moldead (B). 68
Figura 20. Prensado, desmoldado (A) y platos de bagazo de caña (B). 68
Figura 21. Probetas de platas de cáscara de arroz (A) y platos de bagazo de caña (B). 68

RESUMEN

En la región Ucayali se genera una alta cantidad de residuos agroindustriales, como la cáscara de arroz (CA) y el bagazo de caña de azúcar (BCA), caracterizados por su contenido lignocelulósico y su inadecuado manejo, lo que ocasiona impactos ambientales. El estudio tuvo como objetivo determinar el efecto del almidón y glicerol en las propiedades físico-mecánicas de platos elaborados con CA (12% p/p) y BCA (10% p/p). La investigación presentó un enfoque cuantitativo y experimental, variando el contenido de almidón (0–30% p/p) y glicerol (70–40% p/p) para la cáscara de arroz, y glicerol (80–50% p/p) para el BCA, con tres repeticiones. Los resultados mostraron que la mezcla de almidón y glicerol influyó significativamente en las propiedades físico-mecánicas, destacando el tratamiento T3 por su mejor desempeño en el módulo de Young y el módulo de ruptura (MOR). El análisis ANOVA evidenció diferencias significativas entre tratamientos, salvo en el módulo de Young de la cáscara de arroz. Complementariamente, de la correlación de Pearson, un mayor contenido de almidón y menor de glicerol mejoraron la rigidez, cohesión interna, módulo de Young y resistencia a la tracción, mientras que la ductilidad aumentó solo en el BCA. El tratamiento 3 (30% de almidón y 40–50% de glicerol) presentó las mejores condiciones físico-mecánicas; sin embargo, la calidad fue inferior respecto a materiales comerciales, indicando la necesidad de optimizar la formulación y el procesamiento para alcanzar una viabilidad técnica y comercial.

Palabras Clave: Propiedades físico-mecánicas, platos biodegradables, bagazo de caña de azúcar, cascarilla de arroz.

ABSTRACT

The Ucayali region generates a high quantity of agro-industrial waste, such as rice husks and sugarcane bagasse, characterized by their lignocellulosic content and inadequate management, which causes environmental impacts. This study aimed to determine the effect of starch and glycerol on the physical-mechanical properties of plates made with rice husks (12% w/w) and sugarcane bagasse (10% w/w). The research employed a quantitative and experimental approach, varying the starch content (0–30% w/w) and glycerol content (70–40% w/w) for rice husks, and glycerol content (80–50% w/w) for sugarcane bagasse, with three replicates. The results showed that the starch and glycerol mixture significantly influenced the physical and mechanical properties, with treatment T3 standing out for its superior performance in Young's modulus and modulus of rupture (MOR). ANOVA analysis revealed significant differences between treatments, except for the Young's modulus of the rice husk. Additionally, Pearson's correlation showed that higher starch and lower glycerol content improved stiffness, internal cohesion, Young's modulus, and tensile strength, while ductility increased only in sugarcane bagasse. Treatment 3 (30% starch and 40–50% glycerol) exhibited the best physical and mechanical properties; however, its quality was lower than that of commercial materials, indicating the need to optimize the formulation and processing to achieve technical and commercial viability.

Keywords: Physical-mechanical properties, biodegradable plates, sugarcane bagasse, rice husk.

INTRODUCCIÓN

El plástico elaborado a partir de combustibles fósiles ha traído una gran comodidad a nuestras vidas por medio por su bajo costo y resistencia a la corrosión. Los productos plásticos se han utilizado ampliamente en diversos campos, como el embalaje, la industria alimentaria, la electrónica, la construcción y muchas otras industrias. Sin embargo, algunos plásticos tardan hasta 450 años o incluso más en degradarse, especialmente los plásticos de un solo uso, como bolsas de plástico, loncheras y vasos desechables, que representan el 40% de la producción total de plástico y provocan una contaminación blanca grave.

Se han realizado enormes esfuerzos para desarrollar materiales biodegradables que sustituyan a los plásticos convencionales derivados del petróleo. Entre los avances, se han buscado productos de pulpa moldeada hechos de fibras de madera y papeles reciclados.

En la región Ucayali existe un gran potencial de aquellos materiales que tienen una composición lignocelulósica, que pueden ser utilizados para elaboración de envases, los residuos agroindustriales que generan mayor volumen son el bagazo de caña de azúcar con 8,482.8 t/año y la cáscara de arroz con 8,238.4 t/año, en total se genera 16,884.1 t/año. Aun se siguen dando lugar a investigaciones que puedan generar envases biodegradables con las propiedades físico-mecánicas que garanticen la calidad de un producto, es por ello que la investigación, se centra en evaluar la calidad de los platos biodegradables elaborados a base de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar. En este sentido el trabajo de investigación tuvo como objetivo principal, el determinar el efecto del almidón y fibra en la calidad físico-mecánica de platos elaborados a base cascarilla de arroz (Oryza sativa) y BCA (Saccharum officinarum) con diferentes proporciones en la región Ucyali además de:

- Establecer el efecto del almidón y glicerol en la caracterización físico-mecánica de los platos a base de bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz.

- Determinar el efecto del almidón y glicerol sobre las combinaciones óptimas para la comercialización de platos biodegradables de bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz.

El objetivo de la investigación fue determinar el efecto del almidón y glicerol en la calidad físico-mecánica de platos elaborados a base de bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz en la región de Ucayali.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

El plástico elaborado a partir de combustibles fósiles ha traído una gran comodidad a nuestras vidas por medio de su proceso de fabricación escalable, peso ligero, propiedades mecánicas robustas, versatilidad, bajo costo y resistencia a la corrosión (Chandra, Kohn, Pawlitz, & Powell, 2016). Los productos plásticos se han utilizado ampliamente en diversos campos, como el embalaje, la industria alimentaria, la electrónica, la construcción y muchas otras industrias (Gu & Ozbakkaloglu, 2016). Entre los cuales se consumen alrededor de 16 mil millones de tazas de café desechables cada año y 500 millones de pajitas de plástico se desechan todos los días en todo el mundo (Gooljar, 2018).

Sin embargo, algunos plásticos tardan hasta 450 años o incluso más en degradarse, especialmente los plásticos de un solo uso, como bolsas de plástico, loncheras y vasos desechables, que representan el 40% de la producción total de plástico y provocan una contaminación blanca grave (Leblanc, 2017).

Se han realizado enormes esfuerzos para desarrollar materiales biodegradables que sustituyan a los plásticos convencionales derivados del petróleo. Entre los avances, se han buscado productos de pulpa moldeada hechos de fibras de madera y papeles reciclados (Nilsson et al., 2012; Chen et al., 2012). Dichos productos de pulpa moldeada son inherentemente biodegradables y se han utilizado en envases (Didone et al., 2017).

Sin embargo, la aplicación de la pulpa moldeada actual se ve obstaculizada por sus malos rendimientos con respecto a la baja resistencia mecánica (11,25 MPa) y la débil resistencia mecánica bajo aceite y agua (Didone et al., 2017; Masni et al., 2013). Por otro lado, sintéticos.

El almidón ofrece malas propiedades mecánicas y poca resistencia al agua (Mohsenabadi, Rajai, Tabatabaei, & Mohsenifar, 2018). En los plastificantes, el volumen molecular aumenta debido a la reducción de los enlaces de hidrógeno internos entre las cadenas de polímeros y, por lo tanto, aumenta la flexibilidad de las películas (Mali, Grossmann, García, Martino, & Zaritzky, 2006). Se introducen aceite de oliva y ácidos grasos para aumentar la barrera contra el agua en la emulsión de película (Rodsamran & Sothornvit, 2017).

En la región Ucayali existe un gran potencial de aquellos materiales que tienen una composición lignocelulósica, que pueden ser utilizados para elaboración de envases; Hoyos (2022), menciona que los residuos agroindustriales que generan mayor volumen son el bagazo de caña de azúcar con 8,482.8 t/año y la cáscara de arroz con 8,238.4 t/año, en total se genera 16,884.1 t/año dentro de la acumulación de las empresas censadas. El bagazo de caña de azúcar no solo genera elevados volúmenes de residuo, sino que también posee mayor composición lignocelulósico de celulosa con 24.4%, hemicelulosa con 20.2% y lignina con 25%.

Aun se siguen dando lugar a investigaciones que puedan generar envases biodegradables con las propiedades físico-mecánicas que garanticen la calidad de un producto, es por ello que la investigación, se centra en evaluar la calidad de los plátanos biodegradables elaborados a base de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el efecto del almidón con glicerol en la calidad físico-mecánica de platos elaborados con cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar en la región Ucayali?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto del almidón con glicerol en las propiedades físico-mecánicas de los platos a base de cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar?
- ¿Cuál es la combinación óptima respecto a los al efecto de la cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar en platos?

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Determinar el efecto del almidón con glicerol en la calidad físico-mecánica de platos elaborados a base de bagazo de caña de azúcar y cáscara de arroz en la región de Ucayali.

1.3.2. Específico

- Establecer el efecto del almidón con glicerol en las propiedades físico-mecánica de los platos a base de bagazo de caña de azúcar y cáscara de arroz.
- Determinar la combinación óptima respecto a los al efecto de la cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar en platos.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Efecto del almidón con glicerol es significativo en la calidad físico-mecánica de platos elaborados a base cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar en la región Ucayali.

1.4.2. Hipótesis específicas

- El efecto del almidón con glicerol es significativo en las propiedades físico-mecánica de los platos a base de bagazo de caña de azúcar y cáscara de arroz.
- La combinación óptima respecto al efecto cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar es de 30% de almidón y 40-50% de glicerol.

1.5. Componentes estudiados

1.5.1. Variables dependientes

[Y1] = Efecto del almidón con glicerol en la calidad físico-mecánica de platos elaborados a base cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar en la región Ucayali.

1.5.2. Variables independientes

[X1] = Propiedades físico-mecánica de los platos a base de bagazo de caña de azúcar y cáscara de arroz.

[X2] = Efecto de la cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar en platos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Se han estudiado las propiedades morfológicas, mecánicas y de permeabilidad al agua de fibras de nanocompuestos de polilactida reforzadas con cáscara de arroz, tanto tratadas mediante electrohilado como sin tratamiento. Las partículas de cáscara de arroz tratadas fueron trituradas, sometidas a explosión de vapor y a un tratamiento químico para eliminar lignina y hemicelulosa, con el objetivo de aumentar la cristalinidad del relleno. La incorporación de cáscara de arroz sin tratar incrementó la resistencia a la tracción en un 95% y un 43%, mejorando también el módulo de Young y la tensión de fractura, así como la permeabilidad al agua y otras propiedades. Estos resultados indican que las propiedades mecánicas y la biodegradabilidad de los andamios para ingeniería de tejidos pueden optimizarse mediante el refuerzo de polilactida con cáscara de arroz, ofreciendo una alternativa sostenible frente a los nanocompuestos poliméricos derivados del petróleo (Adeosun et al., 2016).

Se investigó el efecto de la incorporación de fibra corta de bambú (BF) tratada sobre las propiedades mecánicas y la absorción de agua de compuestos de polietileno de alta densidad (HDPE) reforzados con BF, fabricados mediante moldeo por compresión. Las fibras de bambú se extrajeron de la caña y se trataron con una solución de NaOH 0,5 M. Posteriormente, los materiales extruidos se moldearon en diferentes muestras de ensayo utilizando una prensa de laboratorio a 230 °C, aplicando una presión de 0,2 kPa durante 10 minutos. Los resultados mostraron que la adición de 2 a 4% en peso de BF mejoró

las propiedades mecánicas del HDPE, mientras que la absorción de agua aumentó con la mayor proporción de fibra. Esto indica que las fibras de bambú tratadas son adecuadas como refuerzo para el HDPE (Daramola et al., 2019).

Se desarrolló una estrategia de fibra híbrida donde las fibras largas de bambú se combinaron con fibras cortas de caña de azúcar, que resultaron abundantes entrelazados físicos en la vajilla obtenida con rendimientos superiores a los requeridos para los envases de alimentos, incluyendo alta resistencia a la tracción, estabilidad superior del aceite, excelente hidrofobicidad y bajo contenido de metales pesados. Además, se biodegrada en su mayoría en condiciones naturales en 60 días, que es mucho más corto que el tiempo de degradación de los plásticos sintéticos (Liu et al., 2020).

Se estudió la termoformabilidad del almidón/policaprolactona (PCL) como material termoplástico con diferentes cargas de almidón. Posteriormente, la incorporación del biocarbón como relleno sostenible. Se prepararon con éxito muestras termoformadas con contenidos de almidón de 40 a 60% en peso sin biocarbón. El aumento de almidón aumenta la viscosidad, lo que afecta el termoformado. El contenido de PCL reduce la biodegradación, pero aumenta la resistencia y elongación a la rotura. En la relación almidón: PCL (50:50) se incorpora el biocarbón (10, 20 y 30 %p/p) derivado de posos de café. La adición del relleno disminuye el alargamiento a la rotura, pero no afectó significativamente al módulo de elasticidad o resistencia a la tracción. De modo que, que es viable utilizar almidón y biocarbón para fabricar envases Díaz et al. (2020).

Se procesó y caracterizó compuestos de almidón termoplástico (TPS) reforzados con fibras de bagazo de caña de azúcar (BCA) de cuatro tamaños para analizar la influencia

del tamaño de fibra en las propiedades mecánicas del compuesto TPS / SB. Se observó que la interacción entre fibra y matriz fue buena y optimizada cuando las fibras se tamizan en tamices entre malla 30 y 50, obteniendo fibras con longitud promedio de 1569 ± 640μmy diámetro medio de 646 ± 166 μ metro. Para estos composites se verificaron incrementos de más del 660% en el módulo y más del 100% en la tensión máxima al compararlos con el TPS puro (De Souza et al., 2018).

Se investigó nuevas bandejas biodegradables a de almidón de yuca combinado con bagazo de caña de azúcar (BCA) y cáscara de maíz (CH), bagazo de malta (MB) o bagazo de naranja (OB). Como aglutinante se utilizaron almidón de yuca. Los recipientes muestran espesores de 3.505 ± 0.18 y 3.964 ± 0.52 mm y densidades entre 0.199 ± 0.01 y 0.213 ± 0.02 g/cm^3. Todos los recipientes presentan alta capacidad de absorción de agua para almacenamiento con humedad relativa alta o media. El análisis mecánico muestra que la adición de residuos (CH, MB u OB) afecta la resistencia, más rígidas que las de EPS. Los recipientes con más del 20 % de OB se degradaron en 60 días (Ferreira, Molina & Pelissari, 2020).

Buscó la participación óptima de rastrojo de maíz (0-20%), fibra de soya (3%), almidón de papa (80-93%) y glicerol (3-10%), que resultan en mejores propiedades físicas y mecánicas con la aplicación de altas temperaturas y presión usando la metodología de Superficie de Respuesta. Las combinaciones óptimas de la bandeja biodegradable se obtuvieron con 3% glicerol, 2.66% rastrojo de maíz y 94.34% almidón de papa. La adición de fibra a la matriz polimérica no evidenció mejoras en las propiedades mecánicas, pero una tasa de degradación del 100% a partir del día 30 (Díaz, 2017).

Se evaluaron el efecto de las fibras naturales de residuos agroindustriales en las propiedades físicas-mecánicas de las espumas elaboradas de almidón de camote, oca y arracacha. El termoformado se llevó a cabo a 145 °C y 60 bar. El tiempo de horneado fue de 10-15 min dependiendo del contenido de agua en la mezcla. Las bandejas de almidón de camote-fibra de bagazo de caña de azúcar al 15%, y de almidón de arracacha-fibra peladilla de espárrago al 30% presentaron mayor resistencia a la flexión frente. Asimismo, la dureza es favorecida con el incremento de fibra, lo contrario para la fracturabilidad. Por lo tanto, las bandejas pueden tener aplicaciones industriales (Espina, Cruz & Siche, 2016).

Se utilizó cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar para la síntesis de carboximetilcelulosa (CMC) para convertir en una película biodegradable, utilizando almidón comercial, plastificantes como glicerol y ácido cítrico para proporcionar flexibilidad y resistencia a la película. La película de biopolímero obtenida a partir de CMC de bagazo de caña de azúcar mostró máxima resistencia a la tracción y alargamiento en comparación con la película sintetizada a partir de CMC comercial y CMC obtenida a partir de cáscara de arroz. Se ha observado que un aumento en el contenido de glicolato de sodio / NaCl en CMC impuso un efecto adverso sobre la resistencia a la tracción, opacidad, contenido de humedad, y la solubilidad de la película aumentó con un aumento en el grado de sustitución de CMC (Gupta et al., 2020).

Se prepararon biocomposites a partir de cáscara de arroz tanto virgen (celulosa del 32 al 72%) como tratada con bacterias enzimático (Comuna de Schizophyllum El IBL-06) utilizando la técnica de moldeo por compresión. Se usó una combinación de glicerol / anhídrido maleico como plastificante / compatibilizador y quitosano (10% en peso)

como relleno para muestras de biocompuestos. Se caracterizaron utilizando diferentes técnicas de imagen y análisis, incluida la microscopía electrónica de barrido (SEM) y la espectroscopía de infrarrojos por transformada de Fourier (FT-IR). Se reveló una mejora significativa en las propiedades morfológicas y mecánicas de los biocompuestos. Además, se observó un aumento moderado en la capacidad de absorción de agua debido a la presencia de relleno higroscópico entre la matriz de polímero (Asgher et al., 2020).

Se fabricó y caracterizó un polímero biodegradable con 40% de cáscara de arroz y 60% mezcla de succinato de polibutileno (PBS) y adipato-co-tereftalato de poli butileno (PBAT). La incorporación de grandes cantidades de material de relleno hidrófila se abordó con glicerol y estearato de calcio, además de compatibilizadores tales como anhídrido maleico (MA) y peróxido de dicumilo (DCP) se usaron para mejorar la miscibilidad entre PBS/PBAT hidrófobo y material de carga hidrófilo. La formulación de 24:36:40 (PBS / PBAT / TPRH) poseía la resistencia a la tracción de 14.27 MPa, módulo de 200.43 MPa y alargamiento a la rotura de 12.99%, adecuado para la producción de productos moldeados como bandeja, lonchera y pajita. Además, logró una pérdida de masa del 92% después de seis meses de prueba de enterramiento en el suelo que confirma su biodegradabilidad (Yap et al., 2020).

Se realizaron ensayos Charpy en probetas estándar ASTM de composites matriz de poliéster, reforzados con 10, 20 y 30% vol de fibras de bagazo de caña de azúcar continuas y alineadas, con el fin de evaluar la energía de impacto. Dentro de la desviación estándar, la energía de impacto absorbida compuesta aumentó con la fracción de volumen de fibra de bagazo de caña de azúcar. Mediante microscopía electrónica de

barrido se descubrió que este comportamiento de tenacidad estaba asociado con la delaminación de la fibra / matriz (Scarpini et al., 2017).

Se investigó el comportamiento a la tracción y a la flexión de compuestos de poliéster reforzado con cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar, se procesaron mediante la técnica de laminado manual. La matriz seleccionada fue poliéster. Los compuestos preparados con 0%, 3%, 5%, 10%, fracción de volumen de cáscara de arroz con 10% de bagazo de caña de azúcar. Las propiedades mecánicas tales como tracción, flexión se investigaron según la norma ASTM. Se investigan los resultados de las pruebas y se muestran los compuestos de mejor relación (Hemnath et al., 2021).

Se desarrolló películas plásticas biodegradables utilizando cáscara de cacao y bagazo de caña de azúcar. La celulosa y la fibra se extrajeron de la cáscara de la mazorca de cacao y del bagazo de caña de azúcar, respectivamente. Las películas bioplásticas desarrolladas se dividieron en varias proporciones de concentración de celulosa y fibra que son 100 (100% celulosa), 75/25 (fibra de celulosa), 50/50 (fibra de celulosa), 25/75 (fibra de celulosa) y 100 (100 % fibra). A partir de la observación y análisis de las propiedades fisicoquímicas de los bioplásticos, encontramos que el film de bioplástico más adecuado para el envasado de alimentos pasa por la combinación de 75% de celulosa y 25% de bioplástico de fibra, ya que demostró el menor porcentaje de absorción de agua y permeabilidad al vapor de agua (Mohammad, Mohd, & Mat, 2020).

Se fabricaron a partir de fibras lignocelulósicas de la poda de cítricos, modificadas con Aspergillus flavus (EGYPTA5) enzimas. Las fibras lignocelulósicas modificadas y no modificadas se utilizaron con polietileno de baja densidad (LDPE) mediante el

método de mezcla en fusión de brabender a 170ºC con diferente proporción (5, 10 y 20% en peso) para obtener compuestos plásticos de madera (WPC). El WPC fabricado mostró buenas propiedades mecánicas y térmicas en comparación con el LDPE puro. Además, el WVTR se mejoró mediante la adición de fibras lignocelulósicas modificadas sobre el sin modificar. El WPC fabricado se puede utilizar en el sistema de embalaje, ecológico, económico y parcialmente biodegradable (Youssef et al., 2019).

2.1.2. Antecedentes nacionales

Se fabricaro una vajilla comestible a base almidón de yuca (Manihot esculenta) y sábila (Aloe vera) para reducir el uso de plástico, donde se caracterizó la hoja de la yuca, la yuca, aloe vera adicionalmente el jarabe de maíz, goma de tragacanto y ácido sórbico para obtener una masa que proceda ingresar al horno por 35 minutos a 190°C, luego pasa por diversos análisis fisicoquímicos y microbiológicos para determinar la calidad de sanidad del producto siendo apto para consumo humano y los valores nutricionales que tiene como 1.4 g de proteínas, 46.7 g de carbohidratos, 206.8 Kcal de energía 1.6 g de grasa, 0.7 g de cenizas totales, 308.4 mg de sodio, 583.8 mg de fosforo, 1108.9 mg de calcio, 23.2 mg de hierro, 333.6 mg de magnesio y 233.2 mg de potasio (Pretell, 2018).

Se estudió la viabilidad económico-ambiental de producir y comercializar envases de bagazo de caña de azúcar en restaurantes de Lima Metropolitana. El estudio reveló que la mayoría de los encuestados reconoce la contaminación ambiental como un problema global y está dispuesta a reducir el impacto de los desechos de envases descartables. Actualmente, los restaurantes utilizan envases de poliestireno expandido (EPS) y tereftalato de polietileno (PET) sin alternativas ecológicas disponibles. La propuesta

mostró una inversión estimada de S/. 1,109,000.00, con recuperación de capital proyectada en 2 años y una rentabilidad anual promedio del 12,93% (López et al., 2018).

Se evaluó la influencia de la temperatura y el tiempo de termoformado en las propiedades mecánicas de bandejas de almidón y fibras vegetales. La fibra de BCA proporcionó bandejas con mejores propiedades mecánicas de resistencia a la ruptura y dureza, además de bajas densidades. Además, su incorporación en altas concentraciones (20% – 40%) mostró importantes reducciones en la capacidad de absorber agua de las bandejas de almidón de camote. La incorporación de fibra con una distribución de tamaño 45 – 75 µm y una proporción del 2,5% permitió obtener bandejas con propiedades mecánicas de resistencia a la ruptura (mayor que la del poliestireno expandido) y elongación y propiedades térmicas mejoradas y una reducción significativa de su densidad. Por lo tanto, la adición de fibra en estas condiciones permite obtener una bandeja con propiedades físicas y mecánicas acorde a lo buscado para su uso como sustituto de los envases tradicionales (Cruz, Siche, & Tapia, 2017).

2.2. Planteamiento Teórico del Problema

2.2.1. Efecto del almidón con glicerol en la calidad físico-mecánica de platos biodegradables

2.2.1.1. Propiedades físico-mecánicas de platos de bagazo de caña azúcar y cáscara de arroz

2.2.1.1.1. Resistencia a la tracción

La cantidad máxima de tensión que puede soportar un material antes de su falla es la resistencia a la tracción de ese material. Es uno de los métodos mecánicos más comunes para determinar la resistencia de cualquier material (Investigación y pruebas mecánicas

de (Pruebas e investigaciones mecánicas de Westmorelan, 2020). Las propiedades mecánicas son importantes para la protección de los envases de alimentos. La resistencia a la tracción depende del tipo de polímero, las condiciones de procesamiento, los aditivos, la modificación química y las mezclas. La resistencia a la tracción del material cambia con el procesamiento y el almacenamiento (Briassoulis & Giannoulis, 2018).

Las adiciones de NP (nanopartículas) en el material como PLA para la formación de bio-nanocompuestos aumentan las propiedades mecánicas (Lee, 2016). Al comparar la resistencia a la tracción, se puede observar una variación en el orden de PEN > MASCOTA > PVDC > ordenador personal > EVOH > CLORURO DE POLIVINILO > PÁGINAS > OPP > HDPE > CADERAS > OPS > LLDPE > LDPE > EVA. La resistencia máxima y mínima se observó con PET y EVA respectivamente. En caso de polímeros biodegradables, CPLA> PLA > PBS > quitina > PHB > colágeno > PCL > PGA > celulosa > almidón > El PLA de gluten de trigo tiene la fuerza máxima mientras que el almidón tiene la más baja. El rango de resistencia a la tracción depende del tipo de aditivos utilizados durante la formación de la película. Muchos polímeros biodegradables tienen la misma resistencia a la tracción en comparación con termoplásticos como CPLA, PLA, PHB que tienen valores aproximados de PET, PVC, OPS respectivamente, lo que sugiere que estos polímeros biodegradables pueden usarse como una gran alternativa (Lee, 2016).

2.2.1.1.2. Tasa de transmisión de vapor de agua

La cantidad de vapor de agua que pasa por unidad de área y tiempo de material de empaque se llama tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR) [kgmm- 2 s- 1] (Auras, Singh, & Sing, 2006). Los productos alimenticios son susceptibles a la humedad a

medida que la humedad aumenta, la vida útil del producto alimenticio disminuye. En algunos casos, el WVTR es un factor importante al seleccionar un material de empaque porque algunos de los productos alimenticios necesitan un cierto rango de nivel de humedad como productos lácteos, carnes, mariscos, estos requieren humedad dentro de su empaque (Flair et al., 2020). WVTR se mide más en (38◦C), 90% de humedad relativa.

Los plásticos biodegradables tienen menos permeabilidad al agua que los polímeros termoplásticos, por lo que pueden usarse para el almacenamiento de productos secos. La retención de vapor de agua del PBS es muy pobre, por lo que su aplicación por sí sola es mínima. Cuando el PBS se mezcla con PLA en una proporción de 20:80 forma una mezcla con buena retención de vapor de agua (Bhatia et al., 2012).

2.2.1.1.3. Alargamiento a la rotura

El alargamiento a la rotura se puede definir como la relación entre la longitud modificada y la longitud inicial. Mide hasta qué punto el material puede estirarse o alargarse sin romperse. Estos valores son una indicación de cuán dúctil es un polímero para que se puedan formar diferentes formas Materiales plásticos, (2020), citado por (Shaik, Yaqoob, & Aggarwal, 2021).

Se mide en porcentaje y cuanto mayor es el valor, más fuerte es el polímero. La mayor parte del termoplástico tiene un alto porcentaje de elongación, como LLDPE, LDPE, EVA y HIPS. Algunos otros polímeros de valor relativamente bajo incluyen OPS, PEN y PVC. Los polímeros biodegradables generalmente tienen un bajo% de alargamiento, excepto que el PCL que tiene 250-300% puede compararse con el HDPE porque tienen aproximadamente los mismos valores. En el quitosano de almidón, las

películas compuestas que cambian la proporción de quitosano a almidón aumentan el alargamiento en la rotura (Sun, y otros, 2019).

2.2.1.1.4. Elasticidad térmica

Las propiedades térmicas son relevantes para el uso potencial de materiales poliméricos en muchas aplicaciones orientadas al consumidor. Una comprensión detallada de la degradación térmica de los polímeros es importante en el diseño de materiales con propiedades mejoradas (Begun, Rane, & Kanny, 2020). La estabilidad térmica del polímero se define como la capacidad del material polimérico para resistir la acción del calor y mantener sus propiedades, como resistencia, tenacidad o elasticidad a una temperatura determinada. La estabilidad térmica de los polímeros generalmente se determina mediante análisis termogravimétrico (TGA). La estabilidad térmica del polímero depende de su estructura química, grado de cristalinidad y peso molecular. Las estructuras aromáticas en la cadena principal del polímero y los procesos de reticulación mejoran la estabilidad térmica de los polímeros. Por otro lado, los dobles enlaces o las estructuras que contienen oxígeno en la cadena principal hacen que los polímeros sean menos resistentes a las altas temperaturas (Król & Pielichowska, 2019).

2.2.1.1.5. Módulo de Young

El módulo de Young es la rigidez (la relación entre la tensión y la deformación) de un material en la etapa elástica de la prueba de tracción. Se puede mejorar añadiendo o reforzando micro/nanofibra a una matriz polimérica ya que la fibra tiene valores de rigidez más altos que el polímero de la matriz (Ilyas et al., 2018).

2.2.1.2. Elaboración de envases biodegradables

Se ha avanzado en el desarrollo de películas y bandejas compuestas de material de base biológica para aplicaciones de envasado de alimentos. Se presentó un resumen de los materiales adecuados para la producción de bioplásticos.

Dado en otro lugar Peelman et al. (2013) así como en la Sección 2. Por ejemplo, se estudiaron películas monocapa compuestas de gluten de trigo (Jimesnez et al., 2019). Las películas de gluten de trigo se produjeron mediante técnicas tradicionales de extrusión, con propiedades mecánicas que pueden ajustarse mediante el pH con propiedades de resistencia a la tracción aumentadas en condiciones alcalinas (pH 9) (Jimesnez, y otros, 2019).

El almidón de papa o maíz se utiliza para el desarrollo de la producción de películas. Por ejemplo, BIOME Bioplastics (Biome Bioplastics Limited, Southhampton, Reino Unido) ofrece bioplásticos hechos de almidones vegetales que pueden procesarse a alta temperatura utilizando métodos como moldeo por inyección, extrusión de láminas y termoformado (Focus Catal, 2019). MATER-BI inventado por Novamont SpA (Novara, Italia) es un material compuesto de almidón de maíz y aceite que es compatible con los requisitos para la producción de películas, bolsas, bandejas, vasos, aditivos, material de embalaje espumado, material extruido e inyección. material moldeado (Novamont, 2022). La calidad de los biopolímeros depende de las características físicas, mecánicas, térmicas, y propiedades barreras (Navia & Bejarana, 2014).

2.2.2. Almidón y glicerol en platos

Almidón

El almidón está compuesto de amilopectina (poli-α-1,4-D-glucopiranósido y α-1,6-D-glucopiranósido) y amilosa (poli-α-1,4-D-glucopiranósido). Está disponible en abundancia y se extrae del trigo, arroz, patatas y maíz. A medida que varía la fuente, varía el contenido de amilosa y amilopectina. El alargamiento y la fuerza aumenta a razón que aumenta el contenido de amilosa (Retnayake et al., 2001). El almidón se puede mezclar con varias resinas como relleno, porque a una temperatura de 150-250ºC el enlace se rompe y los gránulos se desintegran (Angellier et al., 2006).

El almidón se utiliza como almidón termoplástico (TPS). El TPS es muy sensitivo a la humedad y las propiedades térmicas varían con el contenido de agua. El TPS actúa como una opción a los polímeros sintéticos. Desarrollo de investigación reciente en compuestos "verdes" biodegradables completos llamados biocompuestos en los que se mezclan polímeros biodegradables con fibras naturales que también son biodegradables. La biodegradación del TPS se realiza mediante la hidrólisis del enlace acetal. Las amilasas rompen el enlace α-1,4 y las glucosidasas rompen el enlace α-1,6 (Netravali & Chabba, 2003).

Almidón termoplástico

El almidón seco se convierte en un material bioplástico al romper y fundir la estructura granular semicristalina. El almidón sin plastificantes no tiene las propiedades necesarias para trabajar como termoplástico, estos incrementan la flexibilidad del almidón debido a su habilidad para reducir la interacción de los enlaces de hidrógeno, también aumenta el espacio molecular (García, 2015).

Es factible diferenciar dos tipos de orden en el almidón termoplástico después de su procesamiento; la cristalinidad residual clasificada en tipo A, B y C a causa de la fusión incompleta durante la plastificación y cristalinidad; de acuerdo con los arreglos generados en las cadenas poliméricas, el tipo A es común en almidones de cereales, el B en tubérculos y el C en ciertas raíces y semillas. La cantidad de cristalinidad residual está asociada con la temperatura y el esfuerzo de corte aplicado durante el procesamiento; de manera similar la composición de la mezcla de alimentación también influye indirectamente en esta cantidad de cristalinidad remanente (García, 2015).

Insumos hidrófobos (lípidos y ceras)

Las grasas son sustancias lipídicas hidrófobas, por ejemplo, ácidos grasos o ceras. Esto por las regiones no polares, facilitan una excelente barrera contra la migración de la humedad Morillon et al. (2002), como se cita en (Ashok, Rejeesh, & Renjith, 2016). La mayoría de los lípidos utilizados para películas y recubrimientos están compuestos de ácidos grasos con una longitud de carbono entre (Schmid et al., 2012; Hong & Krochta, 2006; Callegarin et al., 1997).

La adición de otros biopolímeros, como polisacáridos o proteínas, como recubrimientos de los lípidos resulta en mejores propiedades mecánicas. En comparación con los recubrimientos de lípidos puros, las mezclas ofrecen propiedades de barrera a la humedad más altas (Bravin, Peressini, & Sensidoni, 2006).

Las ceras, como la cera de parafina del petróleo crudo o la cera de abejas de las abejas, evitan el paso de humedad u oxígeno a los alimentos y dan lugar a una superficie exterior más lisa. Dado que el consumo de estas ceras es inofensivo para los seres

humanos, a menudo se utilizan en películas o recubrimientos comestibles, que se utilizan para verduras y frutas frescas, entre otros productos (Dhall, 2013).

Las propiedades mecánicas se mejoraron mediante el uso de un tamaño de partícula más pequeño de cera de abejas Pesrez & Krochta (2001), como se cita en (Zinc et al., 2016). Se descubrió que la barrera contra la humedad de la cera de candelilla era mejor que la de los materiales utilizados convencionalmente, como el cloruro de polivinilideno (Shellhammer & Krochta, 1997).

2.2.3. Efecto de la cáscara de arroz y bagazo de caña azúcar en platos biodegradables

2.2.3.2. Cáscara de arroz

El arroz es el alimento básico de gran parte de la población mundial, especialmente en Asia y África, pero su producción anual genera enormes cantidades de paja (estimada como ∼8 × 1011 kg por Domínguez & Porcar (2010) y cáscaras (∼1,5 × 1011 kg por (Singh, 2018).

La cáscara de arroz tiene características físicas como baja densidad, aislamiento y resistencia mecánica por el cruzamiento de fibras, bioquímicas como inocuidad y biodegradabilidad, es de consistencia quebradiza, áspera y de color rojo o púrpura oscuro. Su densidad es baja, por lo cual al pilar el arroz ocupa grandes espacios. El peso específico de 125 kg/m^3, 1 tonelada ocupa un espacio de 8 m^3 a granel.” (p.156) (Cadena & Bula, 2011; Prada & Castillo, 2010).

2.2.3.2. Bagazo de caña de azúcar

La caña de azúcar (Saccharum officinarum) se cultiva en cantidades considerables en los países tropicales. En 2017, se produjeron alrededor de 1.840 millones de

toneladas de caña de azúcar en todo el mundo (FAOSTAT, 2018). Se utiliza en ingenios azucareros y molinos de alcohol. Pero esos molinos no pueden consumirlo en su totalidad, ya que alrededor del 30% de residuos fibrosos pulposos se producen después de ser utilizados en esos molinos (Michel et al. 2013; Lewin, 1958). Estos residuos se denominan bagazo (Pandey, Soccol, Nigam, & Soccol, 2000). El bagazo se utiliza en diversas aplicaciones, incluidas las industrias del papel, como materia prima, como biocombustible, etc. (Hernández, y otros, 2009; Loh, Rahman, & Das, 2013).

El bagazo de caña de azúcar es un material celulósico de jerga (Sn, 2008). Generalmente es una especie de desperdicio Michel et al. (2013), que puede tener pocos usos. Debido a la abundante celulosa, esta se puede extraer y puede tener distintas aplicaciones. Los materiales fibrosos también pueden usarse como fibra en el sector textil y de ingeniería civil, aunque pueden necesitar algunos tratamientos únicos antes de ser utilizados. Más específicamente, este bagazo se puede utilizar para reforzar materiales compuestos para crear un tipo de material totalmente nuevo (Loh, Rahman, & Das, 2013). Dependiendo de la variedad de caña, tiene un %p/p de 42 de celulosa, 26 de hemicelulosa y 22 de lignina (Velásques & López, 2015).

2.3. Definición de Términos Básicos

Bagazo de caña de azúcar: es obtenido de la extracción del jugo de la caña de azúcar y luego pasa hacer un residuo para el agricultor, generalmente es quemado, aunque un uso actualmente que le dan algunas personas es para el proceso de molino de pulpa (es un lugar donde se procesa la madera para obtener pulpa virgen de papel) (Medina, 2017).

Cáscara de arroz: es la corteza dura que recubre el grano de arroz, es un tejido vegetal constituido por Celulosa y Sílice. Cadena & Bula (2011), indica que, la cáscara de arroz posee características físicas como baja densidad, características de aislamiento y una resistencia mecánica por el cruzamiento de fibras, bioquímicas como inocuidad y biodegradabilidad.

Propiedad mecánica: 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 (Navia & Bejarana, 2014).

Envase biodegradable: son aquellos fabricados con materia prima orgánica que se obtiene de fuentes renovables como el plátano, la estopa de coco, cáscara de arroz, almidón de maíz, entre otros. Al ponerse en contacto con el medio ambiente se convierten en biomasa y nutrientes, por el metabolismo de los organismos. Es un proceso donde no hay acción antrópica y tarda pocos años en su degradación (Baque, 2019).

Almidón: está compuesto de amilopectina (poli-α-1,4-D-glucopiranósido y α-1,6-D-glucopiranósido) y amilosa (poli-α-1,4-D-glucopiranósido). Es abundante y se extrae del trigo, arroz, patatas y maíz. A razón que varía la fuente, varía el contenido de amilosa y amilopectina. El alargamiento y la fuerza se incrementa con mayor contenido de amilosa (Ratnayake y col., 2001).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Metodología de la investigación

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, lo que permitió analizar la interacción entre variables y contrastar la hipótesis mediante procedimientos propios de este enfoque. A partir de los datos obtenidos fue posible generar explicaciones de carácter general con objetividad y rigor en el manejo de la información (Landeau, 2007; Cruz, Oivares, & Gonzáles, 2014; Guerrero & Guerrero, 2014 & Hernández, Fernández, & Baptista, 2014), según la clasificación se realizó una investigación experimental, donde se manipuló una o más variables independientes para analizar las consecuencias en una situación de control (Gómez, 2006).

La investigación consistió en la elaboración de platos de origen orgánico, a partir de cascarilla de arroz, bagazo de caña de azúcar, almidón de papa y glicerol, para ello se utilizó los métodos basados en la mejora de características físico-mecánicas de materiales biodegradables (Yap et al., 2020; De Souza et al., 2017; Ferreire, Molina, & Pelissar, 2020; Díaz et al., 2020). Asimismo, se evaluó las propiedades fisicomecánica como indicadores de calidad del plato, siguiendo las normas para determinar el Módulo de Young, elongación y resistencia a la tracción (norma ASTM D5035-11), flexión estática (norma ASTM 143-94) y método Janka para a dureza (norma ASTM D1037). Además, la calidad de los platos elaborados con CA y BCA fue calificada mediante un sistema de ponderación basado en criterios numéricos relativos al porcentaje del valor mínimo del estándar comercial.

3.1.1. Ubicación

La investigación se ejecutó en el área de procesos de producción tecnológica e innovación y los análisis físico-mecánicos se realizaron en el laboratorio de la Madera de la Universidad Nacional de Ucayali con coordenadas UTM 546707.10 m Este y 9071176.46 m Norte, en distrito de Manantay, provincia de Coronel Portillo y departamento de Ucayali.

3.1.2. Población

La población de referencia está constituida por los residuos agroindustriales disponibles en la región Ucayali, bagazo de caña de azúcar (8399.2 t/año) y la cáscara de arroz (15038 t/año) generados en las provincias de Coronel Portillo y Padre Abad (Hoyos, 2022). Sin embargo, en el presente estudio experimental no se seleccionó una muestra probabilística de dicha población, pues las unidades experimentales (platos) fueron elaboradas de manera controlada según los tratamientos definidos.

3.1.3. Muestra

El tipo de muestro fue no probabilístico por conveniencia, la muestra total fue 24 platos (con una participación de 48 g de cáscara de arroz y 40g de bagazo de caña de azúcar por plato), teniendo en cuenta que se tuvo 4 tratamientos con 3 repeticiones por tratamiento, esto hace un subtotal de 12 platos para el bagazo y 12 platos para la cáscara de arroz, en las 24 unidades experimentales.

$$n^\circ \, de \, platos = Nº \, tratamientos \; x \; Nº \, de \, repeticiones \; x \; Nº \, de \, materiales$$

$$n^\circ \, de \, platos = 4 \; x \; 3 \; x \; 2 = 24$$

3.2. Diseño de la investigación

El diseño utilizado fue experimental del tipo experimentos puros, con un diseño completamente al azar (DCA), donde el factor de estudio es la formulación de la matriz (almidón con glicerol), evaluada en cuatro niveles discretos (T0 a T3), con el objetivo de identificar cuál de estas cuatro formulaciones específicas produce las mejores propiedades físico-mecánicas, la experimentación se realizó con residuos de CA y BCA.

Tabla 1.
Diseño experimental tipo DCA ejecutado para la investigación.

Tratamientos (T)	Estímulo (X)	Resultado del estímulo
T0R1	---	01
T0R2	---	02
T0R3	---	03
T1R1	X1	04
T1R2	X1	05
T1R3	X1	06
T2R1	X2	07
T2R2	X2	08
T2R3	X2	09
T3R1	X3	10
T3R2	X3	11
T3R3	X3	12

*T: tratamiento (bagazo de caña de azúcar o cáscara de arroz).
**R1: repetición.
***X: estímulo (% de almidón + % de glicerol).

Tabla 2.
Diseño experimental tipo DCA para el plato de bagazo de caña de azúcar.

Tratamientos (BCA)	Estímulo	Resultado del estímulo
T0R1		01
T0R2	0% de almidón + 80% de Glicerol al 6.92%	02
T0R3		03
T1R1		04
T1R2	10% de almidón + 70% de Glicerol al 6.92%	05
T1R3		06
T2R1		07
T2R2	20% de almidón + 60% de Glicerol al 6.92%	08
T2R3		09
T3R1		10
T3R2	30% de almidón + 50% de Glicerol al 6.92%	11
T3R3		12

Tabla 3.
Diseño experimental tipo DCA para el plato de cáscara de arroz.

Tratamientos (CA)	Estímulo	Resultado del estímulo
T0R1		01
T0R2	0% de almidón + 70% de Glicerol al 6.92%	02
T0R3		03
T1R1		04
T1R2	10% de almidón + 60% de Glicerol al 6.92%	05
T1R3		06
T2R1		07
T2R2	20% de almidón + 50% de Glicerol al 6.92%	08
T2R3		09
T3R1		10
T3R2	30% de almidón + 40% de Glicerol al 6.92%	11
T3R3		12

3.3. Procedimiento de Recolección de Datos

3.3.1. Evaluación del efecto del almidón con glicerol en la calidad físico-mecánica de platos biodegradables

Para evaluar el efecto de la calidad físico-mecánica de los platos biodegradables elaborados a base de cáscara de arroz y bagazo de caña azúcar, se midieron los

parámetros físicos (dureza) y mecánicos (módulo de Young, resistencia a la tracción, elongación, módulo de ruptura – MOR y módulo de elasticidad – MOE). Una vez obtenidos los valores experimentales, se procedió a compararlos con los valores comerciales de referencia presentados en la Tabla 4. Para cada parámetro se calculó el porcentaje del valor mínimo comercial alcanzado por el plato, mediante la expresión:

$$\%\ de\ valor\ comercial = \frac{valor\ obtenido}{valor\ comercial\ mínimo}\ x\ 100$$

Posteriormente, cada porcentaje fue clasificado según los criterios establecidos en la Tabla 5, donde se definen tres niveles de desempeño:

- Bueno: ≥70 % del valor comercial (ponderación = 2)
- Regular: 30–70 % del valor comercial (ponderación = 1)
- Malo: <30 % del valor comercial (ponderación = 0)

A cada parámetro se le asignó la ponderación correspondiente. Finalmente, la sumatoria de las ponderaciones parciales se interpretó según la escala global de la Tabla 6, la cual determina la calidad final del plato de acuerdo con el rango obtenido:

- 9 a 12 puntos → Calidad Buena
- 5 a 8 puntos → Calidad Regular
- 0 a 4 puntos → Calidad Mala

De esta manera, el proceso de evaluación integró tanto la comparación cuantitativa con los estándares comerciales como la ponderación sistemática de cada parámetro

físico-mecánico, permitiendo establecer de forma objetiva la calidad final del plato biodegradable elaborado.

Tabla 4.
Valores físico-mecánicos comerciales de platos.

Parámetros	Valores comerciales
Módulo de Young (Mpa)	2.86*
Elongación (%)	16.6*
Resistencia a la tracción (MPa)	6.75*
Módulo de Elasticidad - MOE (Mpa)	105**
Módulo de ruptura - MOR (Mpa)	1.3**
Dureza (Kg)	-

*Platos comerciales de polipropileno.
**Platos comerciales de poliestireno
Fuente: Corbella (2018).

Tabla 5.
Escala de calidad respecto a platos comerciales de polipropileno y poliestireno.

Nivel	**Descripción**	**Criterio Numérico**	**Ponderación**
Bueno	Cumple o supera el rango inferior de materiales comerciales	≥ 70 % del valor mínimo del rango comercial	2
Regular	Desempeño entre el 50 % y 99 % del valor mínimo comercial	30–70 %	1

Malo	Menor al 50 % del valor mínimo comercial	< 30 %	0

Tabla 6.
Ponderación total y calidad del plato.

Calidad	Ponderación total
Bueno	9 a 12
Regular	5 a 8
Malo	0 a 4

3.3.2. Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de platos de bagazo de caña de azúcar y cáscara de arroz

Adquisición de materiales, equipos, herramientas e insumos

Se adquirió todos los materiales, equipos, herramientas, insumos y otros componentes que ayudaron a la ejecución de actividades del proyecto y de las posteriores, de esta manera alcanzaron los objetivos planteados del proyecto. En ese contexto, se acondicionó el área donde se desarrolló la etapa de gabinete, ya que el proyecto está dividido en trabajo de campo y gabinete.

Acondicionamiento del área de trabajo

Se realizó la limpieza general, acondicionando del área de procesos productivos asignado al Dr. Grober Panduro Pisco, en la Universidad Nacional de Ucayali, se señalizó y ordenó según etapas del proceso de producción de platos.

Recolección de residuos agroindustriales

Se recolectó residuos de cascarilla de arroz de la empresa molinera de arroz Aguilar S.A.C., el bagazo de caña de azúcar de vendedores de jugo de caña de la ciudad de Pucallpa, el polvillo de arroz y el almidón se adquirió del puerto de la ciudad de Pucallpa, el glicerol al 99.8% de la empresa Químicos Perú SAC y el aceite de coco se adquirió de la ciudad de Pucallpa.



Figura 1. Residuos agroindustriales, a) cáscara de arroz y b) bagazo de caña de azúcar.

Secado de residuos agroindustriales a temperatura ambiental

Los residuos colectados estaban frescos, estos contenían un alto porcentaje de agua por ello fue necesario realizar el secado por 5 horas diarias por 2 días a 31º C en promedio, posteriormente fueron recolectados y almacenados en costales de polipropileno.

Molienda y pulverizado de los residuos

En la etapa de molienda y pulverizado, se utilizó un molino y pulverizador (cuchilla y martillos) con un motor de 1 hp y un tamiz para tamaño de 8 mm; esto permitió que

el bagazo y cáscara de arroz se pulverice al tamaño deseado, sin embargo, la cáscara de arroz fue mucho abrasivo.



Figura 2. Molienda y pulverizado de residuos.

Preparación del glicerol, almidón y mezcla

Los porcentajes de participación de los insumos de cáscara de arroz o bagazo de caña de azúcar, glicerol y almidón, fueron definidos de investigaciones previas que reportaron los mejores resultados en envases biodegradables. Donde se emplearon proporciones de 10–40 % para el material de refuerzo o relleno y 50–90 % para el aglutinante, lo cual sirvió como base para establecer las formulaciones (Yap et al., 2020; De Souza et al., 2017; Ferreira, Molina & Pelissar, 2020; Díaz et al., 2020).

El glicerol al 99.8 %, se diluyó hasta alcanzar una concentración de **6.92 %**, con agua destilada. Debido a la viscosidad, la medición del volumen se realizó con jeringas

de 50 mL y pipetas, con el fin de minimizar el error experimental. Posteriormente, se pesó el almidón y se mezcló con el glicerol, hasta obtener una mezcla homogénea.

Tabla 7.
Porcentaje de participación de insumos según tratamiento en CA.

Insumo	T0	T1	T2	T3
Polvillo A	18%	18%	18%	18%
Cáscara de arroz	12%	12%	12%	12%
Almidón	0%	10%	20%	30%
Glicerol al 6.92%	70%	60%	50%	40%

Tabla 8.
Porcentaje de participación de insumos según tratamiento en BCA.

Insumo	T0	T1	T2	T3
Polvillo A	10%	10%	10%	10%
BCA	10%	10%	10%	10%
Almidón	0%	10%	20%	30%
Glicerol al 6.92%	80%	70%	60%	50%

Termo-prensado de la mezcla

Se procedió a preparar la máquina termo-formadora de capacidad de presión de 20 toneladas, y moldes de acero dulce, bañados con teflón (antihaderente), la masa homogénea se disponía en el molde hembra y operaba para que se termo forme la mezcla a una temperatura de 180°C para ambos residuos, donde se reportó diferentes tiempos de cocción.



Figura 3. Termoformado de la mezcla en platos de bagazo de caña.

Pruebas físico-mecánicas en laboratorio

Se procedió a preparar las probetas para las respectivas pruebas, en parámetros físico de dureza y parámetros mecánicos de módulo de Young, resistencia a la tracción, elongación, módulo de ruptura – MOR y módulo de elasticidad – MOE, en una máquina universal “Tinius Tolsen” del laboratorio de la madera de la Universidad Nacional de Ucayali.

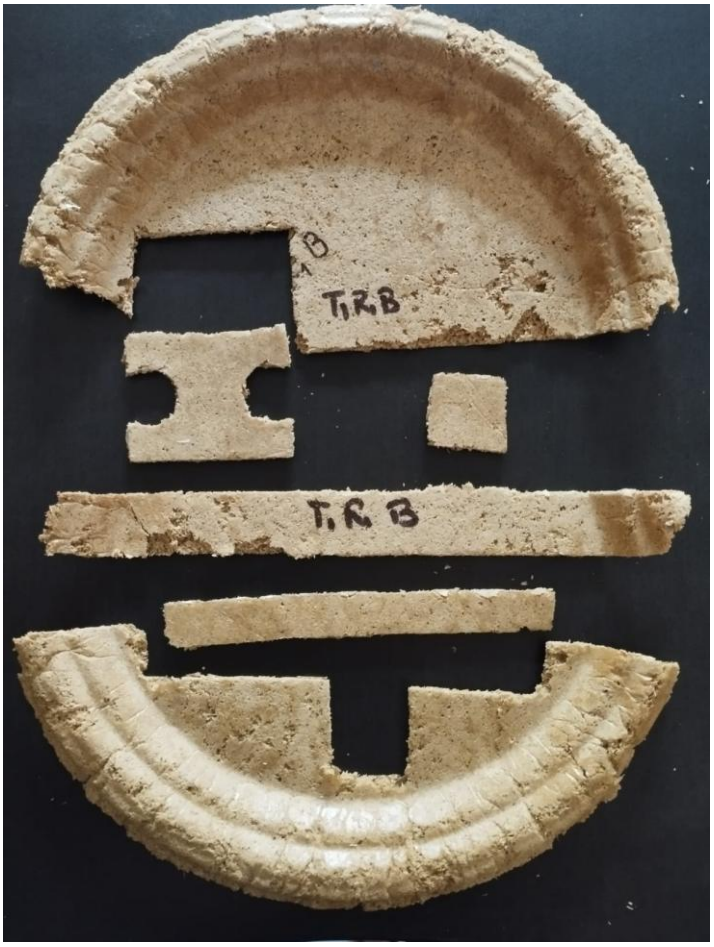


Figura 4. Probetas cortadas para pruebas físico-mecánicas.

3.3.3. Evaluación del efecto de la cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar en platos

Los resultados del análisis de parámetros físico-mecánico del material biodegradable, fueron sometidos a un análisis de varianza de un factor (ANVA) y prueba post-hoc de Tukey para los platos de cáscara de arroz y platos de bagazo de caña de azúcar; además, se verificó el efecto del contenido de almidón con glicerol mediante la correlación de Pearson, determinando los tratamientos con mejores condiciones físico-mecánicas en el software SPSS versión 27, lo que permitió determinar las combinaciones óptimas en relación a su calidad físico-mecánica.

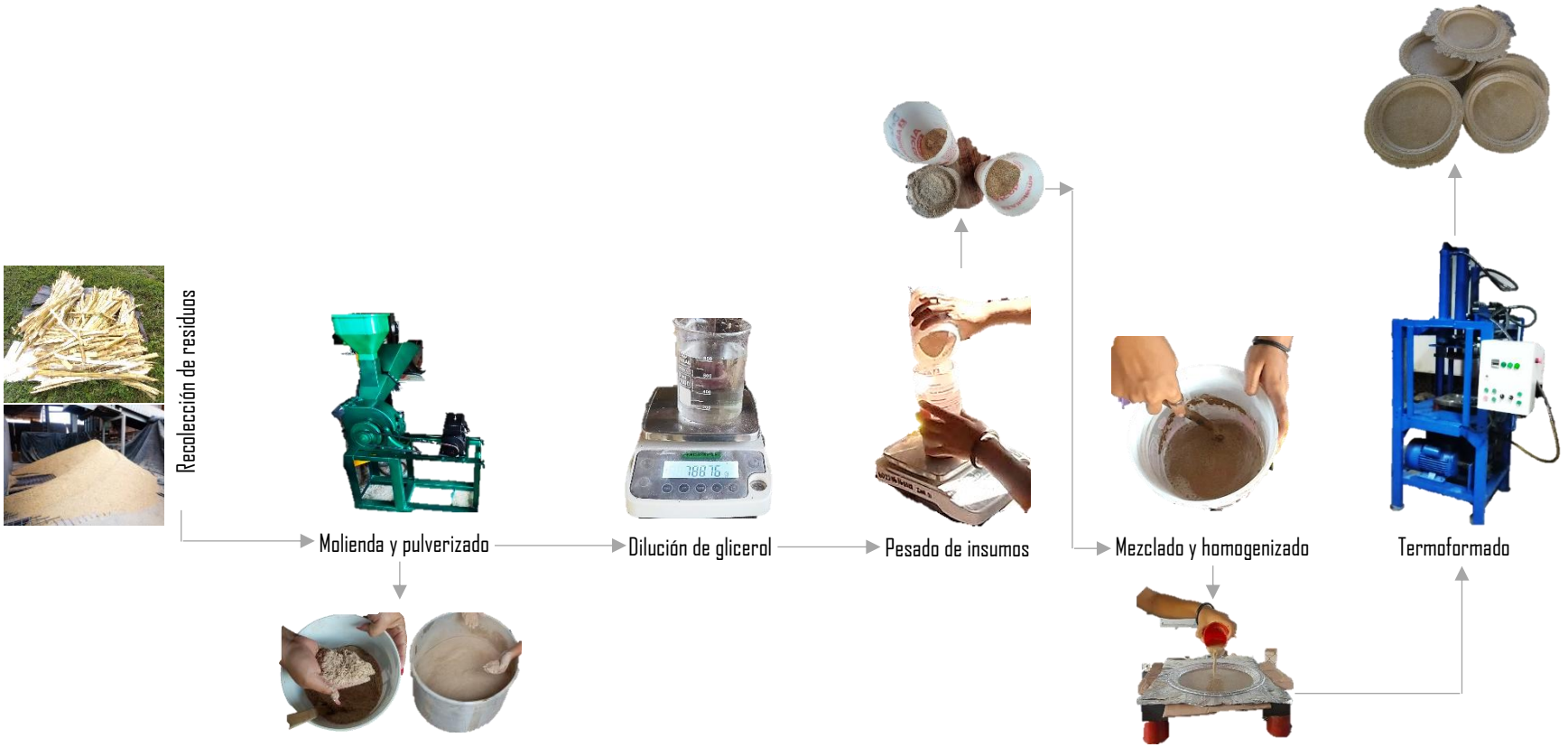


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de productivo de platos biodegradables

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Efecto de la mezcla de almidón con glicerol en la calidad físico-mecánica de platos

Según la Tabla 9 y 10, la mezcla de almidón con glicerol presentó diferencias significativas entre los tratamientos elaborados con cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar. Sin embargo, dicha significancia no implica necesariamente una viabilidad comercial de los platos, ya que, en comparación con los productos comerciales, estos obtuvieron una calificación de **"mala" calidad**. Mas detalles en la tabla 9.

Tabla 9.
Efecto de la mezcla de almidón con glicerol en la calidad físico-mecánicas de plato de cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar.

	Plato de cáscara de arroz				Platos de bagazo de caña de azúcar			
Parámetros	T0 (0% almidón + 70% glicerol)	T1 (10% almidón + 60% glicerol)	T2 (20% almidón + 50% glicerol)	T3 (30% almidón + 40% glicerol)	T0 (0% almidón + 80% glicerol)	T1 (10% almidón + 70% glicerol)	T2 (20% almidón + 60% glicerol)	T3 (30% almidón + 50% glicerol)
Módulo de Young (Mpa)	0	0.22	0.49	1.04	0	0.59	0.2	0.94
Elongación (%)	0	1.17	0.77	0.56	0	0.31	1.16	0.74
Resistencia a la tracción (MPa)	0	0.12	0.1	0.18	0	0.06	0.1	0.21
Módulo de Elasticidad - MOE (Mpa)	0	5.29	7.66	6.24	0	3.97	3.58	3.14
Módulo de ruptura - MOR (Mpa)	0	0.08	0.1	0.18	0	0.12	0.1	0.17
Dureza (Kg)	0	13.69	7.24	25.5	0	9.53	13.16	11.55
Ponderación total	0	0	0	1	0	0	0	1
Calidad del plato	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo

Tabla 10.
Prueba estadística de ANOVA para platos de bagazo de caña de azúcar y cáscara de arroz.

Parámetro	gl	Bagazo de caña de azúcar			Cáscara de arroz		
		Media cuadrática	F	**Sig.**	Media cuadrática	F	**Sig.**
Módulo de Young (MPa)	3	0.527	14.775	**0.001**	0.606	3.753	**0.060**
Elongación (%)	3	0.767	12.251	**0.002**	0.708	13.288	**0.002**
Resistencia a la tracción (MPa)	3	0.023	128.889	**0.000**	0.016	92.365	**0.000**
Módulo de elasticidad (MOE) - (MPa)	3	9.856	20.315	**0.000**	33.552	15.093	**0.001**
Módulo de resistencia (MOR) - (MPa)	3	0.015	31.655	**0.000**	0.016	638.556	**0.000**
Dureza (Kg)	3	104.304	63.590	**0.000**	351.069	24.535	**0.000**

F: Fisher.

Se observa que la proporción de almidón y glicerol influye directamente en las propiedades físico-mecánicas del producto final, tales como el módulo de Young, la elongación, la resistencia a la tracción, el módulo de elasticidad (MOE), el módulo de ruptura (MOR) y la dureza. Estas variaciones se atribuyen a los diferentes porcentajes empleados de ambos componentes en las formulaciones. Según Ogah y James (2018), la resistencia, el módulo y la dureza de los materiales varían significativamente en función del tipo y del contenido de fibra utilizada. En este estudio, el tratamiento T3 presentó los mejores resultados en módulo de Young y MOR, de acuerdo con la prueba post hoc de Tukey (Tablas 10 y 12). Asimismo, el análisis ANOVA (Tabla 10) evidenció diferencias significativas entre los tratamientos para las propiedades físico-mecánicas evaluadas, con excepción del módulo de Young en los platos elaborados con cáscara de arroz.

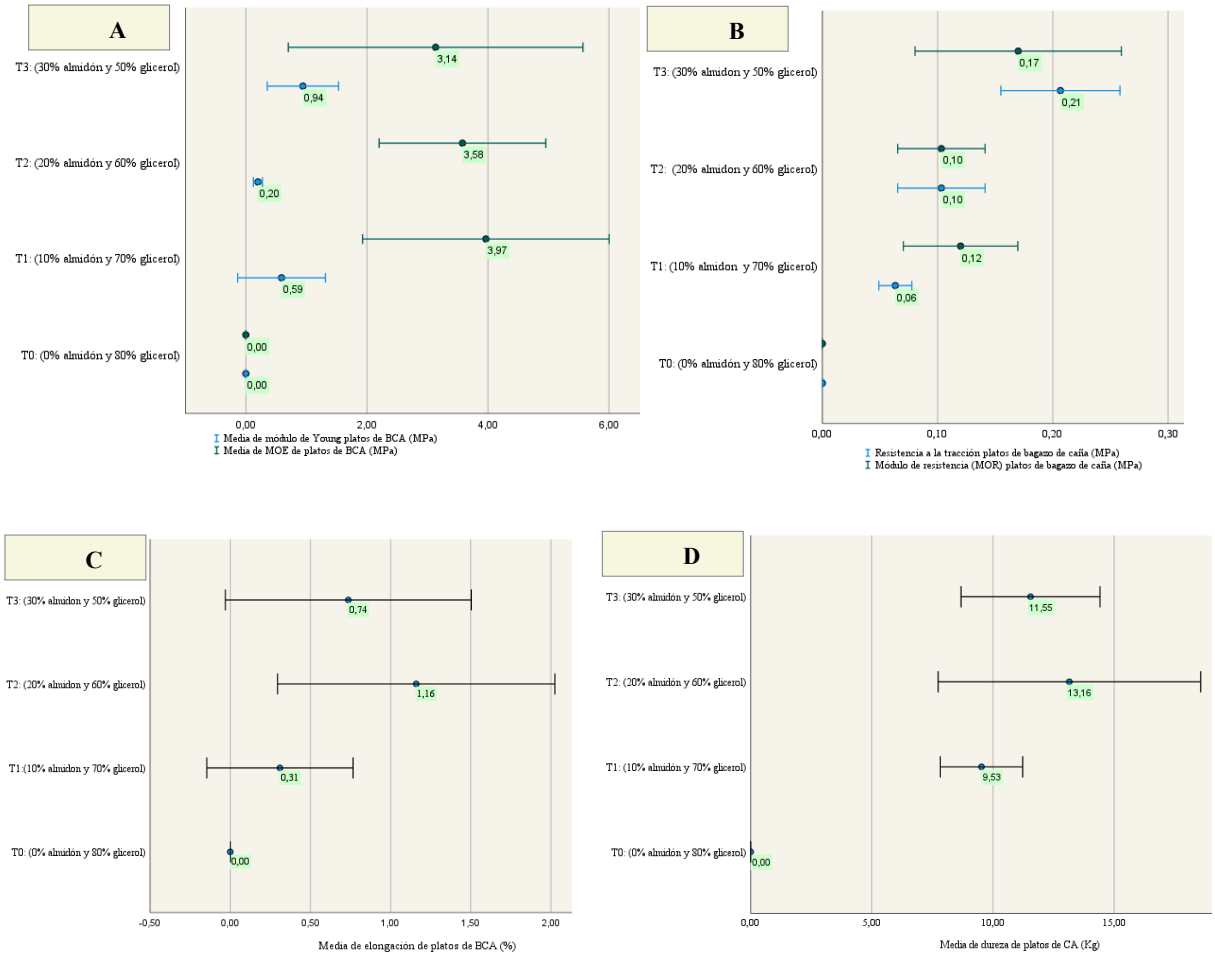


Figura 6. En A, B, C y D se presenta el gráfico barras de error simple con datos de media con los subconjuntos de la prueba HSD Tukey para parámetros físico-mecánicos en platos de bagazo de caña azúcar.

En la figura 6, la prueba HSD Tukey para platos de bagazo de caña de azúcar muestran diferencias significativas según la formulación. El Tratamiento T3 (30% almidón, 50% glicerol) presentó la mayor rigidez (módulo de Young y MOE) y dureza, resultando ser resistente estructuralmente. El Tratamiento T1 (10% almidón, 70% glicerol) fue el más dúctil (Elongación: \$0.31\%\$), siendo significativamente superior a T0 y T3, lo cual indica que la mayor proporción de glicerol optimiza la flexibilidad. Las barras de error confirman que el aumento progresivo del almidón mejora la resistencia, aunque la ductilidad sigue siendo baja.

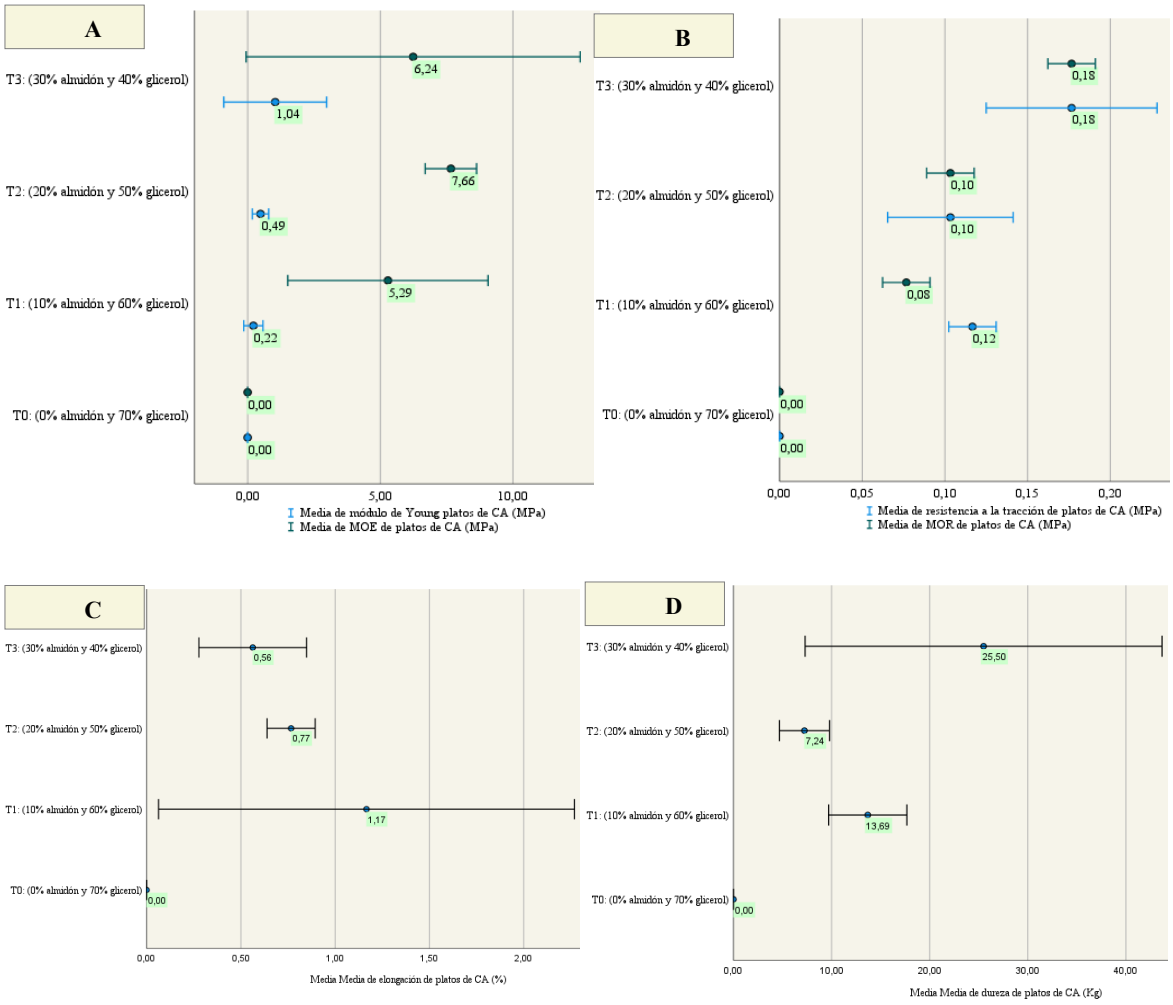


Figura 7. En A, B, C y D se presenta el gráfico barras de error simple con datos de media con los subconjuntos de la prueba HSD Tukey para parámetros físico-mecánicos en platos de cáscara de arroz.

En la figura 7, la prueba HSD de Tukey confirma el efecto significativo de la formulación en las propiedades mecánicas. Los tratamientos T2 y T3 resultaron ser estadísticamente superiores a T0 y T1. Puntualmente, el T3 (30% almidón) exhibió los valores medios más altos de rigidez (módulo de Young y MOR), resistencia a la tracción y dureza, indicando la máxima capacidad estructural. En contraste, los tratamientos con alto glicerol fueron menos resistentes. Sin embargo, el Tratamiento T1 (10% almidón y 60% glicerol) presentó una elongación a la ruptura significativamente mayor, sugiriendo un balance óptimo de plastificante para la flexibilidad.

4.2. Propiedades físico-mecánica de los platos de bagazo de caña de azúcar y cáscara de arroz

De acuerdo con la tabla 9 y 11, los platos elaborados con BCA y CA mostraron propiedades físico-mecánicas inferiores a las de otras investigaciones relacionado a platos biodegradables. Sin embargo, en el caso del BCA se encontró que un mayor contenido de almidón y glicerol se asocia significativamente con una mejor cohesión interna y mayor rigidez (Módulo de Young: r = 0,692; p = 0,013; MOE: r = 0,604; p = 0,037). Para la cáscara de arroz, aunque la adición de almidón y glicerol no mejoró la ductilidad (elongación: r = 0,315; p = 0,322), sí mostró fuertes correlaciones con rigidez (MOE: r = 0,751; p = 0,005; Módulo de Young: r = 0,745; p = 0,005).

Tabla 11.
Correlación del almidón con glicerol en las propiedades físico-mecánicas de platos de bagazo de caña de azúcar y cáscara de arroz.

Correlaciones de Pearson (r)		Módulo de Young (MPa)	Elongación (%)	Resistencia a la tracción (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	Dureza (Kg)
almidón con glicerol en platos de BCA	Correlación de Pearson	,692*	,708**	,973**	,604*	,856**	,821**
	Sig. (bilateral)	0.013	0.010	0.000	0.037	0.000	0.001
	N	12	12	12	12	12	12
almidón con glicerol en platos de cáscara de arroz	Correlación de Pearson	,745**	0.313	,896**	,751**	,983**	,794**
	Sig. (bilateral)	0.005	0.322	0.000	0.005	0.000	0.002
	N	12	12	12	12	12	12

Se observa que el módulo de Young (MPa) para el testigo (T0) presenta un valor de 0; el tratamiento 1 (T1) muestra valores de 0.22 y 0.59; el tratamiento 2 (T2) presenta 0.49 y 0.20; mientras que el tratamiento 3 (T3) alcanza 1.04 y 0.94 para los platos elaborados con cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar, respectivamente. A medida que aumenta la proporción de almidón y disminuye la de glicerol (p/p), se evidencia un efecto positivo en las propiedades mecánicas, reflejado en un incremento del módulo de Young de 373 % y 59 % en el tratamiento 3 respecto al tratamiento 1 para ambos materiales (Figura 6).

En comparación con lo reportado por Chao et al. (2020), el módulo de Young de una copa de pulpa moldeada (BCA y bambú) fue de 3250 MPa, y para una copa plástica de poliestireno (PS) de 1400 MPa, valores superiores a los obtenidos en este estudio. De acuerdo con Asgher et al. (2020), los valores del módulo de Young fueron de 1392 MPa para polialcohol vinílico (PVA), 1656 MPa para PVA con cáscara de arroz nativo (NRH) y 3246 MPa para PVA con NRH y glicerol, mientras que Yap et al. (2020) reportaron 200.43 MPa para bandejas moldeadas. Asimismo, Ilyas et al. (2019) demostraron que el refuerzo con celulosa nanofibrilada de palma azucarera (SPNFC) incrementa el módulo de Young de 53.97 a 121.26 MPa, y Lindriati et al. (2021) indicaron que el aumento del bagazo eleva este módulo, aunque vuelve más frágil el material. Por el contrario, una mayor proporción de glicerol (20–40 %) reduce la rigidez del bioplástico (Rahman, Romli y Abidin, 2014). Finalmente, Corbella (2018) reportó valores de 5.11 MPa en capas de badana, 17.94 MPa en platos de hojas de palma y 2.86 MPa en platos comerciales de polipropileno.

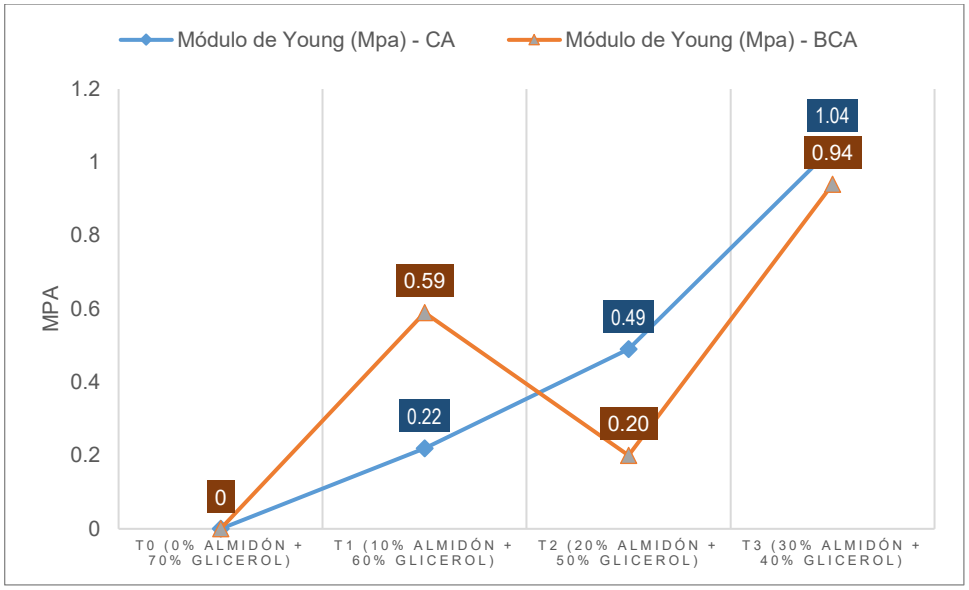


Figura 8. Módulo de Young (MPa) de plato de bagazo de caña de azúcar (BCA) y Cáscara de arroz (CA).

En la figura se observa que la elongación (%) para el testigo (T0) presenta un valor de 0; el tratamiento 1 (T1) muestra valores de 1.17 y 0.31; el tratamiento 2 (T2) presenta 0.77 y 1.16; mientras que el tratamiento 3 (T3) alcanza 0.56 y 0.74 para los platos elaborados con cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar, respectivamente. A medida que aumenta la proporción de almidón y disminuye la de glicerol (p/p), se evidencia una disminución del 52 % para el plato de cáscara de arroz y un incremento del 139 % para el plato de BCA al comparar el tratamiento 3 respecto al tratamiento 1, observándose finalmente una pendiente negativa en ambos casos.

Según Asgher et al. (2020), el polialcohol vinílico (PVA) presenta una elongación de 118.46 %, mientras que el PVA con cáscara de arroz nativo (NRH) alcanza 12.3 %, y con NRH y glicerol disminuye a 5.34 %. En otro estudio, Yap et al. (2020) reportaron formulaciones para bandejas moldeadas con alargamiento a la rotura de 12.99 %. Por su parte, Bartos et al. (2021) encontraron que la elongación disminuye de 6 % en el polímero puro a aproximadamente 1.5

% al incorporar 30 % en peso de fibras de bagazo, lo que evidencia que las dimensiones de las fibras y la adhesión interfacial influyen en la deformabilidad, generando fracturas frágiles y baja resistencia al impacto. Asimismo, Ilyas et al. (2019) demostraron que el refuerzo con celulosa nanofibrilada de palma azucarera (SPNFC) de 0 a 1 % sobre almidón de palma de azúcar (SPS) reduce la elongación de 38.10 % a 25.38 %, y Lindriati et al. (2021) indicaron que la adición de 5–15 % de bagazo también disminuye la elongación debido a la rigidez inducida en la matriz.

Por otro lado, el incremento del glicerol en proporciones de 20 %, 30 % y 40 % genera una mayor elongación, ya que este plastificante reduce la resistencia a la tracción y aumenta la flexibilidad del material. En este sentido, Rahman, Romli y Abidin (2014) reportaron que una carga del 20 % de cáscara de arroz con cloruro de polivinilo plastificado reciclado (PPVC) alcanza un alargamiento de 1.92 %, el mejor valor frente a cargas del 30 % y 40 %, donde el exceso de cáscara disminuye la deformabilidad. Huertas et al. (2025) observaron elongaciones entre 1.54 % y 2.04 % en bandejas biodegradables, mientras que Cruz (2021) relaciona la reducción del almidón con menor contenido de amilosa y elasticidad, debido a la aglomeración de fibras en la matriz de mazorca de maíz. De acuerdo con Ogah y James (2018), el contenido de fibra del 5 % en peso proporciona elongaciones de 1.35–1.4 % y 0.5 % para compuestos con fibra de BCA y cáscara de arroz/éster de vinilo, evidenciando que la elongación disminuye al aumentar el contenido de fibra. Finalmente, Corbella (2018) reportó elongaciones de 2.36 % en capas de badana, 1 % en platos de hojas de palma y 16.60 % en platos de polipropileno comerciales.

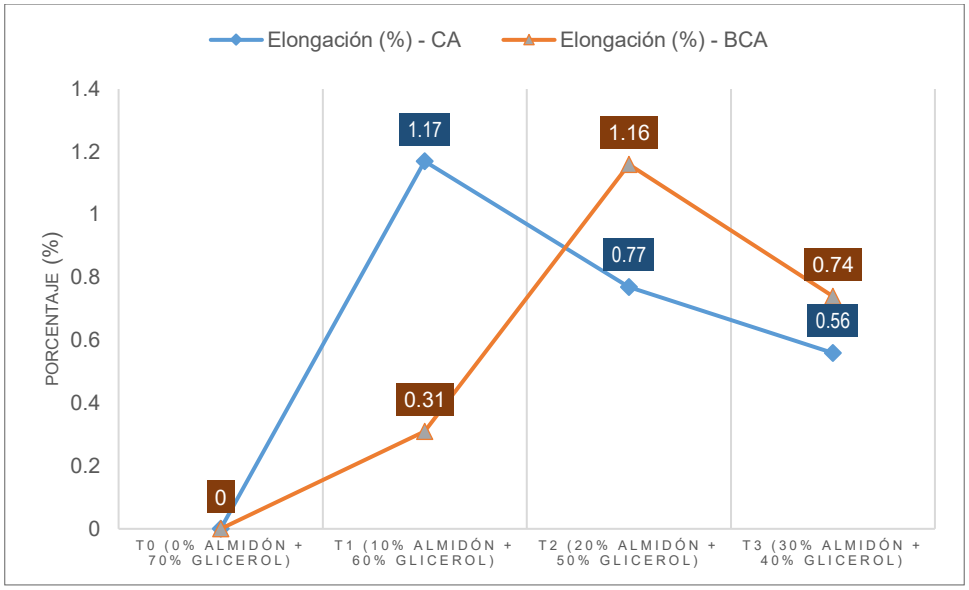


Figura 9. Elongación (%) de plato de bagazo de caña de azúcar (BCA) y Cáscara de arroz (CA).

En la figura se observa que la resistencia a la tracción (MPa) para el testigo (T0) presenta un valor de 0; el tratamiento 1 (T1) muestra valores de 0.12 y 0.06; el tratamiento 2 (T2) alcanza 0.10; mientras que el tratamiento 3 (T3) presenta 0.21 y 0.18 para los platos elaborados con cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar, respectivamente. A medida que aumenta la proporción de almidón y disminuye la de glicerol (p/p), se evidencia un efecto positivo en las propiedades mecánicas, con un incremento del 50 % en los platos de cáscara de arroz y del 250 % en los platos de BCA, al comparar el tratamiento 3 respecto al tratamiento 1.

En comparación con lo reportado por Chao et al. (2020), la resistencia a la tracción en vasos de pulpa moldeada (BCA y bambú), plástico de poliestireno (PS), vajilla comercial de bagazo y pulpa moldeada de fibra secundaria (SFMP) fue de 35, 15.6, 16.9 y 1.1 MPa, respectivamente, valores muy superiores a los obtenidos en esta investigación. De manera similar, Asgher et al. (2020) informaron resistencias a la tracción de 22.34 MPa para

polialcohol vinílico (PVA), 28.30 MPa para PVA con cáscara de arroz nativo (NRH) y 49.32 MPa para PVA con NRH y glicerol. Según Eichhorn et al. (2010), las propiedades mecánicas de los biocompuestos se ven afectadas por la presencia de espacios adicionales entre las moléculas de celulosa, que debilitan los enlaces de hidrógeno y reducen la resistencia; sin embargo, la adición de glicerol mejora la compatibilidad entre componentes, favoreciendo un mejor entrelazamiento molecular (Asgher et al., 2020).

Por su parte, Yap et al. (2020) reportaron bandejas moldeadas con una resistencia a la tracción de 14.27 MPa. Asimismo, Ilyas et al. (2019) demostraron que la adición de refuerzo de celulosa nanofibrilada de palma azucarera (SPNFC) de 0 a 1 % sobre almidón de palma de azúcar (SPS) aumenta la resistencia de 4.80 a 10.68 MPa, mientras que Lindriati et al. (2021) señalaron que el incremento del bagazo (5–15 %) eleva la resistencia a la tracción. No obstante, el aumento de glicerol (20–40 %) genera el efecto contrario, disminuyendo la resistencia debido a que las moléculas de glicerol reducen la compactación de la celulosa y debilitan las interacciones intermoleculares, incrementando la movilidad del polímero.

De acuerdo con Rahman, Romli y Abidin (2014), una carga del 20 % de cáscara de arroz en cloruro de polivinilo plastificado reciclado (PPVC) alcanza 17.93 MPa, el valor más alto en comparación con cargas del 30 % y 40 %, donde la resistencia disminuye. Huertas et al. (2025) también observaron que contenidos de fibra superiores al 11.25 % reducen la resistencia a la tracción por aglomeración y ruptura de cadenas de almidón, afectando la expansión durante el termoformado (Cruz, Vejarano, Tapia, Barraza y Siche, 2019). Asimismo, Ogah y James (2018) reportaron que la máxima resistencia y módulo en compuestos de éster de vinilo/fibra se obtienen con una carga de fibra del 10 %, disminuyendo posteriormente debido a la menor humectación y unión fibra-matriz. Finalmente, Corbella (2018) indicó resistencias de 10.33

MPa en capas de badana, 16.09 MPa en platos de hojas de palma y 6.75 MPa en platos comerciales de polipropileno.

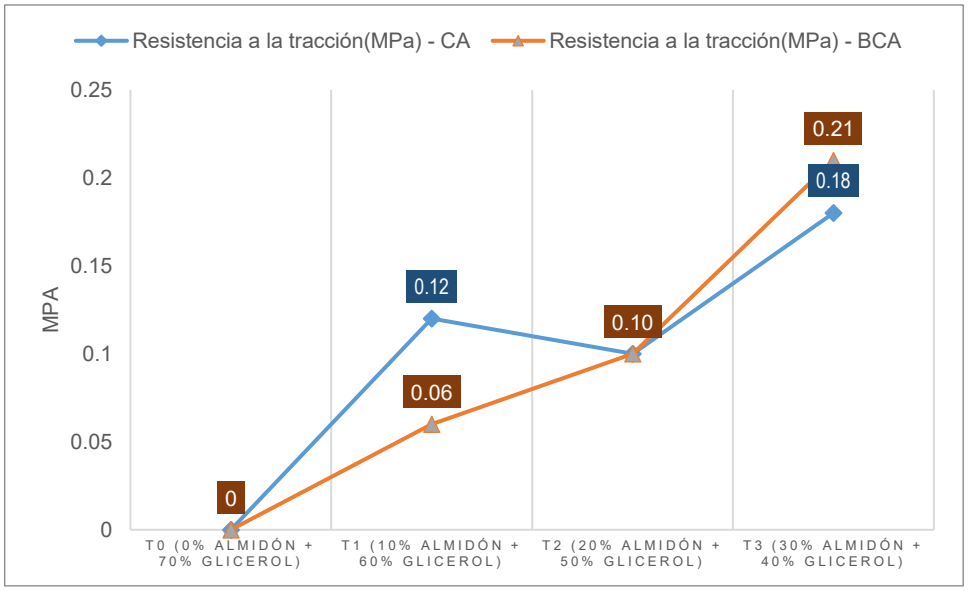


Figura 10. Resistencia a la tracción (MPa) plato de bagazo de caña de azúcar (BCA) y Cáscara de arroz (CA).

El módulo de elasticidad (MOE, MPa) para el testigo (T0) presenta un valor de 0; el tratamiento 1 (T1) muestra valores de 5.29 MPa y 3.97 MPa; el tratamiento 2 (T2) alcanza 7.66 MPa y 3.58 MPa; mientras que el tratamiento 3 (T3) presenta 6.24 MPa y 3.14 MPa para los platos elaborados con cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar, respectivamente. Se aprecia que existen diferencias significativas en el MOE según el tipo de material, siendo el mayor valor obtenido en el tratamiento 2 para la cáscara de arroz y en el tratamiento 1 para el BCA. En general, la mayor proporción de almidón y la reducción de glicerol (p/p) parecen afectar negativamente la rigidez del material, disminuyendo la capacidad de deformación elástica de los bioplásticos moldeados (Figura 9).

De acuerdo con Aguiar et al. (2022), el desarrollo de un bioempaque elaborado con residuos agrícolas (15 % de bagazo de caña de azúcar) y material reciclado de botellas plásticas de tereftalato de polietileno (PET) presentó un MOE de 3000 MPa, valor considerablemente superior a los obtenidos en este estudio. Por su parte, Jatau et al. (2022), optimizaron las propiedades mecánicas de un material sostenible a base de partículas de hojas de jengibre (GLP) y polietileno de alta densidad (HDPE), alcanzando un MOE de 2490 MPa. En la investigación de Utami et al. (2014), se reportó un MOE de 705 MPa para bandejas elaboradas con residuos de sagú tratado frente a uno sin tratar, y un MOE de 105 MPa para bandejas comerciales de poliestireno, evidenciando que los valores del presente trabajo, aunque menores, son consistentes con materiales biobasados de composición similar.

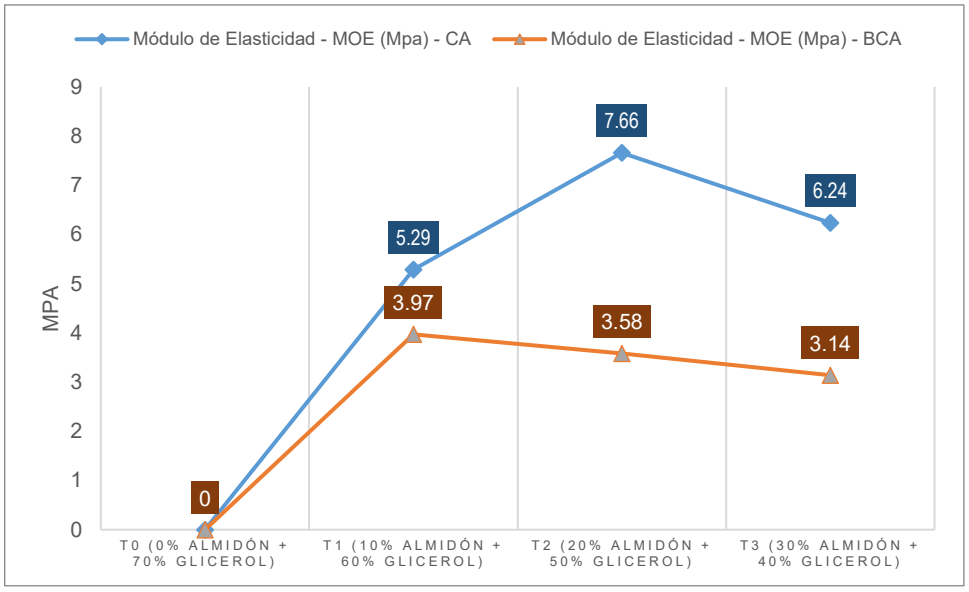


Figura 11. Módulo de elasticidad - MOE (MPa) de plato de bagazo de caña de azúcar (BCA) y Cáscara de arroz (CA).

El módulo de ruptura (MOR9 para el testigo (T0) presenta un valor de 0; el tratamiento 1 (T1) muestra valores de 0.12 MPa y 0.08 MPa; el tratamiento 2 (T2) alcanza 0.10 MPa; mientras que el tratamiento 3 (T3) presenta 0.18 MPa y 0.17 MPa para los platos elaborados con cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar, respectivamente. Se observa que, a medida que aumenta

la proporción de almidón y disminuye la de glicerol (p/p), se produce un efecto positivo en las propiedades mecánicas del material, evidenciándose un incremento del 125 % para los platos de cáscara de arroz y del 42 % para los de BCA al comparar el tratamiento 3 respecto al tratamiento 1. Estos resultados sugieren que el equilibrio entre almidón y glicerol desempeña un papel determinante en la capacidad del material para resistir esfuerzos de flexión antes de su fractura.

En el estudio de Aguiar et al. (2022), se desarrolló un bioempaque a base de residuos agrícolas que contenía 15 % de bagazo de caña de azúcar y fragmentos reciclados de tereftalato de polietileno (PET), alcanzando un MOR de 15000 MPa, valor significativamente superior a los obtenidos en esta investigación. Por su parte, Jatau et al. (2022) elaboraron un material sostenible a partir de partículas de hojas de jengibre (GLP) y polietileno de alta densidad (HDPE), con un MOR de 11.90 MPa, mientras que Utami et al. (2014) reportaron valores de 17.6 MPa para bandejas elaboradas con residuos de sagú tratado frente a menores valores para el material sin tratar, y 1.3 MPa para bandejas de poliestireno comercial. En conjunto, estos estudios muestran que los valores de MOR obtenidos en el presente trabajo, aunque inferiores, se encuentran dentro del rango esperado para biocompuestos de origen vegetal, cuya estructura porosa y bajo grado de compactación reducen la resistencia a la fractura en comparación con materiales plásticos convencionales.

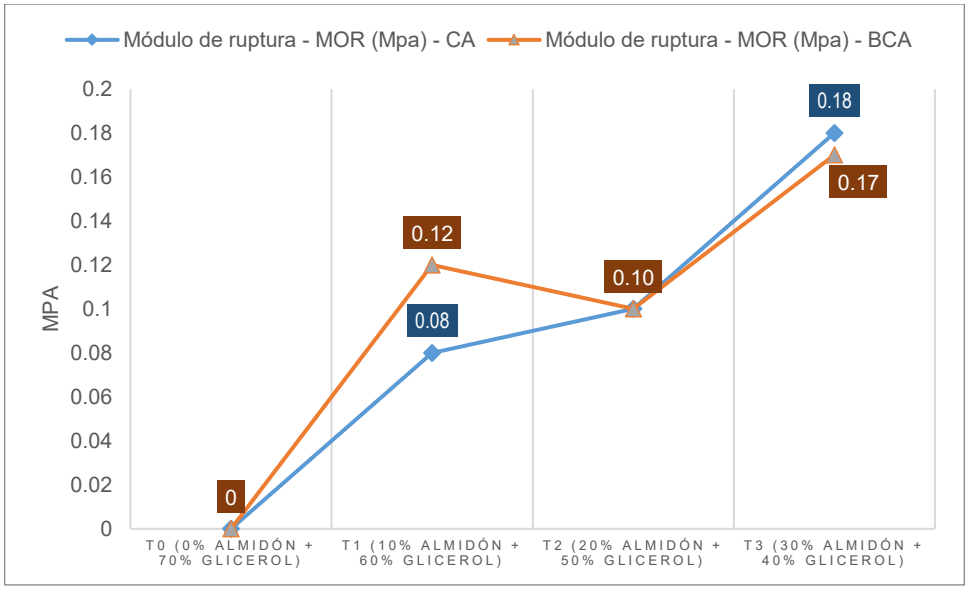


Figura 12. Módulo de ruptura - MOR (MPa) de plato de bagazo de caña de azúcar (BCA) y Cáscara de arroz (CA).

En cuanto a la dureza (Kg), el testigo (T0) presenta un valor de 0; el tratamiento 1 (T1) muestra valores de 13.69 Kg y 9.53 Kg; el tratamiento 2 (T2) alcanza 7.24 Kg y 13.16 Kg; mientras que el tratamiento 3 (T3) registra 25.50 Kg y 11.55 Kg para los platos elaborados con cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar, respectivamente. En el caso de la cáscara de arroz, se observa un incremento del 86 % en la dureza al comparar el tratamiento 3 respecto al tratamiento 1, mientras que en los platos de BCA se alcanza el valor máximo en el tratamiento 2, seguido de una tendencia descendente. Esto indica que, para el BCA, un mayor contenido de almidón y menor de glicerol favorece la dureza del material, mientras que en la cáscara de arroz ocurre lo contrario, la reducción del glicerol combinada con el aumento de almidón provoca una menor resistencia superficial.

De acuerdo con Díaz (2017), la dureza de bandejas elaboradas con biopolímeros tiende a aumentar cuando se reduce la cantidad de glicerol y rastrojo de maíz, lo que coincide

parcialmente con los resultados obtenidos en el presente estudio. En el trabajo de Hoang y Tran (2023), al variar las concentraciones de glicerol entre 3 % y 6 % (p/p) en formulaciones con cáscara de arroz, la dureza del producto aumentó hasta un punto óptimo, disminuyendo al superar el 5 % de glicerol. Los autores señalan que este componente mejora la flexibilidad de los envases biodegradables al reducir su fragilidad y permeabilidad al vapor de agua y oxígeno; sin embargo, un exceso de glicerol disminuye la resistencia a la tracción y el módulo elástico (Basiak, Lenart y Debeaufort, 2018). Asimismo, Ogah y James (2018) mencionan que la incorporación de refuerzos fibrosos incrementa la dureza hasta un 10 % de contenido de fibra, mostrando una tendencia similar a la de la resistencia a la tracción.

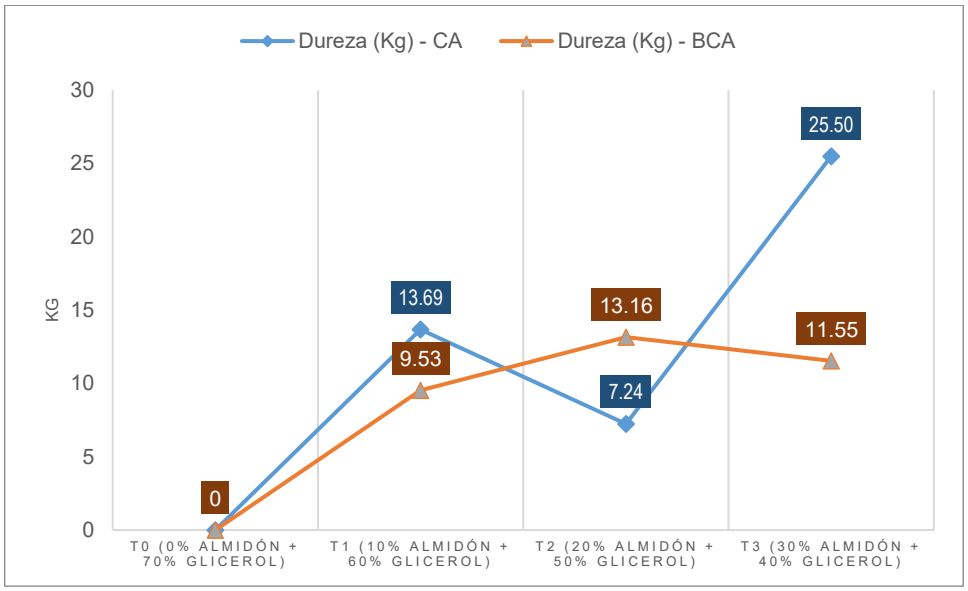


Figura 13. Dureza (Kg) de plato de bagazo de caña de azúcar (BCA) y Cáscara de arroz (CA).

4.3. Efecto de la cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar en platos biodegradables

En la Figura 12 se presenta el plato elaborado con cáscara de arroz que incorpora la combinación de insumos que generó las mejores propiedades mecánicas entre los tratamientos

evaluados. Asimismo, en la Tabla 10, la prueba estadística ANOVA confirma la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos en las propiedades de elongación, resistencia a la tracción, módulo de elasticidad (MOE), módulo de ruptura (MOR) y dureza. En contraste, el módulo de Young no muestra diferencias significativas entre las medias al 95 % de nivel de confianza. Por otro lado, los resultados presentados en la Tabla 13 evidencian que el tratamiento 3 ofrece las mejores condiciones físico-mecánicas, correspondiente a la formulación compuesta por 12 % de cáscara de arroz, 18 % de polvillo de arroz, 30 % de almidón y 40 % de glicerol.

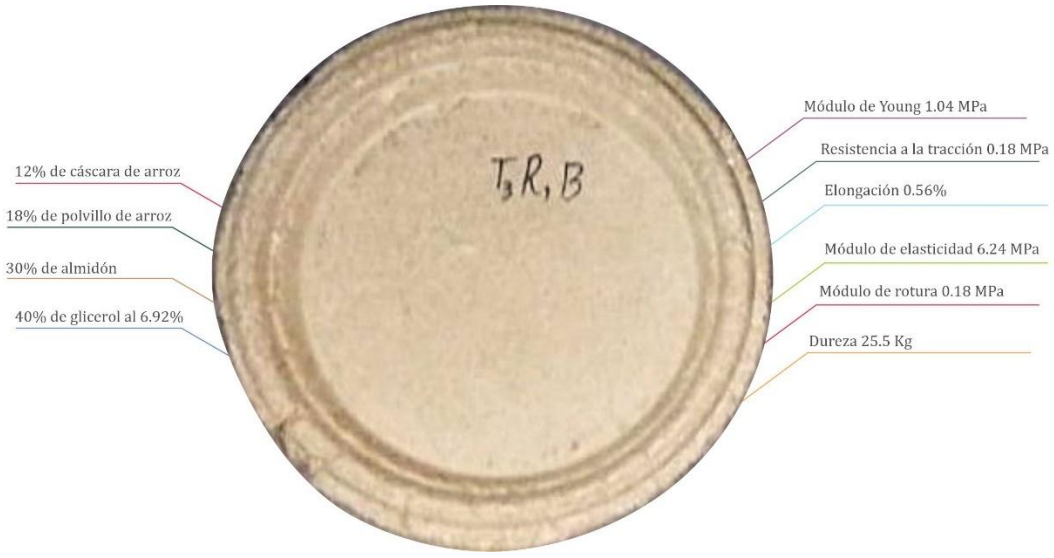


Figura 14. Combinaciones óptimas para platos de cáscara de arroz.

De acuerdo con la figura 13 se presenta el plato elaborado con bagazo de caña de azúcar que incorpora la combinación de insumos que generó las mejores propiedades mecánicas entre los tratamientos evaluados. Asimismo, en la tabla 10, la prueba estadística ANOVA confirma

la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos en las propiedades de módulo de Young, elongación, resistencia a la tracción, módulo de elasticidad (MOE), módulo de ruptura (MOR) y dureza a un nivel de confianza del 95%. Por otra parte, los resultados presentados en la tabla 15 evidencian que el tratamiento 3 ofrece las mejores condiciones físico-mecánicas, correspondiente a la formulación compuesta por 10 % de bagazo de caña de azúcar, 12 % de polvillo de arroz, 30 % de almidón y 50 % de glicerol.



Figura 15. Combinaciones óptimas para platos de bagazo de caña de azúcar.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La mezcla de almidón con glicerol influyó significativamente en las propiedades físico-mecánicas de los platos de cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar, destacando el tratamiento T3 en módulo de Young y MOR. El análisis ANOVA mostró diferencias significativas entre tratamientos, salvo en el módulo de Young de la cáscara de arroz. A pesar de estas mejoras, la calidad fue "mala", inferior a la de productos comerciales. Esto indica que, si bien la mezcla mejora ciertas propiedades mecánicas, se requieren ajustes adicionales para alcanzar viabilidad comercial.
- Los platos elaborados con bagazo de caña de azúcar y cáscara de arroz mostraron propiedades físico-mecánicas inferiores a otros bioplásticos reportados. Un mayor contenido de almidón y menor de glicerol mejoró la rigidez, cohesión interna, módulo de Young y resistencia a la tracción, mientras que la ductilidad se incrementó solo en el bagazo de caña de azúcar. La cáscara de arroz presentó mejoras en rigidez, pero no en elongación. El equilibrio entre almidón y glicerol resultó clave para optimizar dureza y resistencia superficial. La incorporación de fibras aumenta la rigidez y resistencia, pero reduce la deformabilidad, generando materiales más frágiles.
- En relación con el efecto de los tratamientos tuvieron mayor significancia sobre los tipos de residuos utilizados, lo que resultó que el tratamiento 3 presente las mejores condiciones físico-mecánicas, con 12% de cáscara de arroz, 18% de polvillo de arroz, 30% de almidón y 40% de glicerol para platos de cáscara de arroz; y el tratamiento 3 con el 10% de bagazo

de caña de azúcar, 12% de polvillo de arroz, 30% de almidón y 50% de glicerol, para plato de bagazo de caña.

5.2. Recomendaciones

- El plato biodegradable debe someterse a otras pruebas física como absorción de humedad y temperatura de deformación, de modo que, se garantice el uso.
- El plato puede mejorar sus propiedades físico-mecánicas reduciendo el contenido del material de relleno y glicerol.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Daramola, O. O., Akinwekomi, A. D., Adediran, A. A., Akindote, O., & Sadiku, E. R. (2019). Rendimiento mecánico y comportamiento de absorción de agua de compuestos de polietileno de alta densidad reforzados con fibra de bambú tratados. *Heliyon*, 5: 1-6; https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02028.

Eichhorn, S. J., Dufresne, A., Aranguren, M., Marcovich, N. E., & Capadona, J. R. (2010). Investigación internacional actual sobre nanofibras y nanocompuestos de celulosa. *J Mater Sci.*, 45: 1–33. DOI 10.1007/s10853-009-3874-0.

Adeosun, S. O., Aworinde, A. K., Diwe, I. V., & Olaleye, S. A. (2016). Características mecánicas y microestructurales de la cáscara de arroz reforzada Nano compuesto de polilactida. *La Revista de Ingeniería de las Indias Occidentales*, 39(1): 63-71. https://journals.sta.uwi.edu/ojs/index.php/wije/article/view/7722/6812.

Aguiar, R. A., Rodrigues, J. S., Gonçalves, M. P., & Borsagli, F. G. (2022). Bioenvases Ecológicos a Base de Fibra de Bagazo de Caña de Azúcar para Potencial Aplicación en Agroindustria. *Ingeniería química sostenible*, 66-74; DOI: https://doi.org/10.37256/sce.3220221370.

Angellier, H., Molina, S., Dole, P., & Dufresne, A. (2006). Almidón termoplástico, nanocompuestos de nanocristales de almidón de mapíz ceroso. *Biomacromeléculas*, 7(2):531-539. DOI: 10.1021/bm050797s.

Asgher, M., Nasir, I., Khalid, N., & Qamar, S. A. (2020). Desarrollo de biocompuestos a base de cáscara de arroz deslignificada reforzada con celulosa bacteriana-PVA plastificado con glicerol. *Revista Investigación de polímeros*, 27:347-358; https://doi.org/10.1007/s10965-020-02314-y.

Ashok, A., Rejeesh, C. R., & Renjith, R. (2016). Polímeros biodegradables para aplicaciones de envases sostenibles: una revisión. *En t. J. Bionics Biomater*, 2: 1-11. https://www.researchgate.net/publication/318531449_Biodegradable_Polymers_for_Sustainable_Packaging_Applications_A_Review.

Auras, R., Singh, S. P., & Sing, J. (2006). Evaluación del rendimiento de PLA frente a los Envases PET y PS. *J. Prueba. Eval.*, 34 (6), 530–536. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:137156052.

Baque. (8 de Enero de 2019). *Diferencia entre biodegradable y compostable*. Obtenido de baque.com: https://www.baque.com/es/blog/diferencia-entrebiodegradable-y-compostable/

Barreiro, F. I., & Coronel, A. B. (2021). *Bagazo de caña de Azúcar (Saccharum officinarum) y almidón de yuca (Mianihot esculenta) como sustituto de poliestireno en la elaboraición de platos biodegradables.* Calceta: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1402.

Bartos, A., Nagy, K., Anggono, J., Antonio, Purwaningsih, H., Móczó, J., & Pukánszky, B. (2021). Compuestos de fibra de bagazo de caña de azúcar/PLA de base biológica: efecto de las características de la fibra y la adhesión interfacial en las propiedades. *Compuestos: Parte A 143*, 106273; https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106273.

Basiak, E., Lenart, A., & Debeaufort, F. (2018). Cómo influyen los contenidos de glicerol y agua afectan las propiedades estructurales y funcionales de las películas comestibles a base de almidón. *Polímeros*, 10(4); DOI: 10.3390/polym10040412.

Begun, S. A., Rane, A. V., & Kanny, K. (2020). Aplicaciones de mezclas de polímeros compatibilizados en la industria del automóvil. En: Compatibilización de mezclas de polímeros. *Elsevier*, págs. 563–593. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816006-0.00020-7.

Bhatia, A., Gupta, R. K., Bhattachayra, S. N., & Choi, H. J. (2012). Análisis de la permeabilidad a los gases características de los nanocompuestos de poli (ácido láctico) / poli (succinato de butileno). *J. Nanomater*, https://doi.org/10.1155/2012/249094.

Bravin, B., Peressini, D., & Sensidoni, A. (2006). Desarrollo y aplicación de polisacárido - recubrimiento comestible de lípidos para prolongar la vida útil de los productos de panadería secos. *J. Food Eng.*, 76:280-290. http://hdl.handle.net/11390/879002.

Briassoulis, D., & Giannoulis, A. (2018). Evaluación de la funcionalidad de los alimentos de base biológica. *Polym. Prueba*, 69, 39–51. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.05.003.

Cadena, C. G., & Bula, A. J. (2002). Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 12(12):1-9. https://www.redalyc.org/pdf/852/85201201.pdf.

Callegarin, F., Gallo, J., Debeaufort, F., & Voilley, A. (1997). Lípidos y bioenvases.Mermelada. *Oil Chem. Soc.*, 74:1183-1192. https://doi.org/10.1007/s11746-997-0044-x.

Chandra, M., Kohn, C., Pawlitz, J., & Powell, G. (2016). *Costo real de la espuma de poliestireno.* https: // greendiningalliance.org/wpcontent/: Proyecto de aprendizaje experiencial (St. Louis University).

Corbella, C. (2018). *Platos desechables fabricados con residuos vegetales.* San Cristóbal de La Laguna, España: Universidad de La Laguna, Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología. https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/10258/ECOPLATOS.%20Platos%20desechables%20fabricados%20con%20residuos%20vegetales.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Cruz, C., Oivares, S., & Gonzáles, M. (2014). *Metodología de la Investigación.* México, D.F.: Grupo Editorial Patria. https://books.google.com.ec/books?id=8uLhBAAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false.

Cruz, J. P., Vejarano, R., Tapia, B., Barraza, A., & Siche, R. (2019). Bandeja de espuma biodegradable a base de almidones aislados de diferentes especies peruanas. *Revista internacional de biología macromoléculas*, 125: 800-807; https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.111.

Cruz, L. J., Siche, R. B., & Tapia, D. R. (2017). *Influencia de la temperatura y tiempo de termoformado en las propiedades mecánicas de bandejas de almidón y fibra.* Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. https://hdl.handle.net/20.500.14414/10025.

Cruz, R. (2021). *Efecto de la proporción de fibra y almidón obtenido del pseudotallo del banano (Musa acuminata) sobre las propiedades de las bandejas biodegradables.* Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo. https://hdl.handle.net/20.500.14414/18796.

De Souza, K., Do Santos, B. H., Armando, A., & Da Silva, M. A. (2018). Influencia del tamaño de la fibra de bagazo de caña de azúcar en compuestos biodegradables de almidón termoplástico. *Scrivener Publishing LLC*, 6(2): 176-182. https://doi.org/10.7569/JRM.2018.634101.

Dhall, R. K. (2013). Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: A Review. *Crit. Rdo. Ciencia de los alimentos. Nutr.*, 53:435-450. 10.1080/10408398.2010.541568.

Díaz, C. A., Shah, R. K., Evans, T., Trabold, T. A., & Draper, K. (2020). Envases termoformados a base de almidón y almidón/Coffee residuos compuestos de biocarbón. *energías MDPI*, 13,6034, doi:https://doi.org/10.3390/es13226034.

Díaz, X. J. (2017). Caracterización y optimización de una bandeja biodegradable a partir maíz, papa, soya y glicerol por el método de termoprensado. *Universidad Zamorano*, 1-46. https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6055.

Didone, M., Saxena, P., Brilhuis-Meijer, E., Tosello, G., Bissaco, G., McAloone, T. C., . . . Howard, T. J. (2017). Fabricación de celulosa moldeada: descripción general y perspectivas de la tecnología de proceso. *Packag Technol Sci.*, 30, 231–249. DOI: 10.1002/pts.2289.

Domínguez, L., & Porcar, M. (2010). Manejo de la paja de arroz: el gran desperdicio. *iocombustibles, Bioprod. Bioref.*, 4:154-159. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:84370689.

Espina, M., Cruz, J. P., & Siche, R. (2016). Propiedades mecánicas de bandejas elaboradas con almidón de especies vegetales nativas y fibras de residuos agroindustriales. *Scientia Agropecuaria*, 7(2): 133–143; https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.02.06 .

FAOSTAT. (27 de julio de 2018). Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC

Ferreira, D. C., Molina, G., & Pelissari, F. M. (2020). Bandejas biodegradables a base de mezcla de almidón de yuca con Residuos Agroindustriales. *Composites part B*, https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107682.

Flair Flexible Packaging Corporation. (30 de setiembre de 2020). Obtenido de http://www.flairpackaging.com/home.

Focus Catal. (2019). Informe del mercado mundial de plásticos biodegradables 2018: pronóstico para 2023 con NatureWorks, BASF, Total Corbion PLA, Mitsubishi Chemical y Biome Bioplastics. *Focus Catal*, 2. https://www.kingsresearch.com/es/biodegradable-plastics-market-1289.

García, A. (02 de febrero de 2015). *Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz. Santa Tecla*. Obtenido de Santa Tecla: https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2015-Obtencion-de-un-polimero-biodegradable.pdf

Gómez, M. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación científica.* Córdoba: Brujas. https://books.google.com.pe/books?id=9UDXPe4U7aMC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false.

Gooljar, J. (2018). *Hoja informativa: cuánto plástico desechable utilizamos.* https://www.earthday.org/fact-sheet-howmuchdisposable-plastic-we-use/.

Gu, L., & Ozbakkaloglu, T. (2016). Uso de plásticos reciclados en hormigón: una revisión crítica. *Gestión de residuos*, 51, 19–42. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.03.005.

Guerrero, G., & Guerrero, M. (2014). *Metodología de la investigación.* México, D.F.: Grupo Editorial Patria. https://books.google.com.pe/books?id=sJstEAAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false.

Gupta, H., Kumar, H., Kumar, M., Kumar, A., Gaur, A., Sachan, S., & Jin, P. (2020). Síntesis de películas biodegradables obtenidas a partir de cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar para su uso como material de envasado de alimentos. *Reinar. Ing. Res.*, 25(4): 506-514; https://doi.org/10.4491/eer.2019.191.

Hemnath, A., Anbuchezhiyan, G., Nanthakumar, P., & Senthilkumar, N. (2021). Comportamiento a tracción y flexión de compuestos de poliéster reforzados con cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar. *Materiales hoy: Actas*, 46: 3451- 3454. DOI : https://doi.org/10.18517/ijaseit.13.4.17910.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación.* México D.F.: McGraw-Hill. https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf.

Hernández, Villa, M. S., Veloz, J. S., Rivera, K. N., Gonzáles, R. A., Plascencia, A. A., & Trejo, S. R. (2009). Hidrólisis y fermentación comparativa de bagazo de caña de azúcar y agave. *Biores. Technol*, 100: 1238-1245. DOI: 10.1016/j.biortech.2006.09.062.

Hoang, N. T., & Tran, A. T. (2023). Envases biodegradables a partir de cáscara de arroz como sustitutos de productos plásticos de un solo uso. *Physical Sciences*, 65(4), 71-76; https://doi.org/10.31276/VJSTE.65(4).71-76.

Hong, S. I., & Krochta, J. (2006). Rendimiento de barrera al oxígeno de películas de plástico recubiertas de proteína de suero según se ve afectado por la temperatura, la humedad relativa, la película base y el tipo de proteína. *J. Food Eng.*, 77, 739-745. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.07.034.

Huertas, A., Barrios, P., Arévalo, M. F., Córdova, C., Hurtado, B. Z., Villanueva, E., . . . Aguirre, E. (2025). Bandejas biodegradables fabricadas a partir dePoraqueiba sericeaAlmidón de semilla de tulasne y Zea mays harina de mazorca. *Ciencia agropecuaria*, 16(1): 17-26; https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2025.002.

Ilyas, R. A., Sapuan, S. M., Ibrahim, R., Abral, H., Ishak, M. R., Zainudin, E. S., . . . Jumaidin, R. (2019). Efecto de las concentraciones de celulosa nanofibrilada de palma de azúcar sobre las propiedades morfológicas, mecánicas y físicas de películas biodegradables a base de residuos agrícolas de palma de azúcar (Arenga pinnata (Wurmb.) Merr) almidón. *Revista de Investigación y Tecnología de Materiales*, 8(5): 4819-4830; https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.08.028.

Ilyas, R. A., Sapuan, S. M., Ishak, M. R., & Zainudin, E. S. (2018). Desarrollo y caracterización de bionanocompositos de almidón de palma azucarera reforzados con celulosa nanocristalina de palma azucarera, Carbohydr. *Polímero*, 202:186000; https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.09.002.

Jatau, S., Yawas, D. S., Kuburi, L. S., & Samuel, B. O. (2022). Producción y optimización de materiales compuestos GLP-HDPE utilizando la técnica robusta de Taguchi. *Plaza de la investigación*, 1-17; https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1330643/v1.

Jimenez, M., Zarate, L., Romero, A., Bengoechea, C., Partal, P., & Guerrero, A. (2019). Bioplásticos a base de gluten de trigo procesados por extrusión. *J. Limpio. Pinchar*, 239, 117994. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117994.

Landeau, R. (2007). *Elaboración de trabajos de investigación.* Caracas: Editorial Alfa. https://books.google.com.ec/books?id=M_N1CzTB2D4C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false.

Leblanc, R. (2017). *¿Cuánto tiempo tarda la basura en descomponerse?* https: // reciclaje. about.com/od/Resources/fl/How-Long-Does-It-Take-Garbageto-Decompose.

Lee, D. S. (2016). Absorbedores de dióxido de carbono para aplicaciones de envasado de alimentos. *Tendencias Alimentos*, https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.014.

Lewin, M. (1958). *Laminilla media de las fibras del líber.* 403-415: TAPPI 41.

Lindriati, T., Rusdianto, A. S., Pakartiko, B., & Adha, P. A. (2021). Propiedades físico-mecánicas de plásticos biodegradables a partir de almidón de yuca con variación de bagazo y glicerol. *Revista la LIFESCI*, 2(1): 009-019; DOI: 10.37899/journallalifesci.v1i6.287.

Liu, C., Luan, P., Li, Q., Zheng, C., Xiao, S., & Cao, D. (2020). Vajilla biodegradable, higiénica y compostable a partir de fibras híbridas de caña de azúcar y bambú como alternativa al plástico. *Matter*, https://doi.org/10.1016/j.matt.2020.10.004.

Loh, Y. R., Rahman, M. E., & Das, C. A. (2013). Bagazo de caña de azúcar: el futuro material compuesto: revisión de literatura. *Res. contras. Reciclar*, 75:14-22. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.03.002.

López, M. A., Revelo, I. I., Sotomayor, O. E., & Suárez, J. M. (2018). *Proyecto de producción y comercialización de envases biodescartables a base de caña de azúcar.* Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Facultad de Negocios. http://hdl.handle.net/10757/625592.

Mali, S., Grossmann, M. V., García, M. A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. E. (2006). Efectos del almacenamiento controlado sobre las propiedades térmicas, mecánicas y de barrera de películas plastificadas de diferentes fuentes de almidón. *J. Ing de alimentos*, 75: 453-460. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2005.04.031.

Medina, M. (2017). *Evaluación y proyección financiera para determinar la viabilidad y rentabilidad de una empresa dedicada a la producción de empaques biodegradables.* México: Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México. http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/14865.

Michel, D., Bachelier, B., Drean, Y., & Harzallan, O. (2013). *Preparación de fibras celulósicas de caña de azúcar para uso textil, en: Conference Papers in Materials Science.* DOI: 10.1155/2013/651787: Guimarniaes.

Mohammad, S. N., Mohd, N. A., & Mat, M. S. (2020). Desarrollo y caracterización de film bioplástico para envasado de alimentos a partir de celulosa de cascarilla de cacao incorporada con fibra de bagazo de caña de azúcar. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 248-255. https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.10.003.

Mohsenabadi, N., Rajai, A., Tabatabaei, M., & Mohsenifar, A. (2018). Propiedades físicas y antimicrobianas de la película de almidón-carboximetilcelulosa que contiene aceites esenciales de romero encapsulados en naogel de quitosano. *En t. J. Biol. Macromol.*, 112: 148-155. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.01.034.

Morillon, V., Debeaufort, F., Rubio, G., Capelle, M., & Voilley, A. (2002). Factores que afectan la permeabilidad a la humedad de las películas comestibles a base de lípidos: una revisión. *Crit. Rdo. Ciencia de los alimentos. Nutr.*, 42:67-89. https://doi.org/10.1007/s41783-021-00130-3.

Navia, D., & Bejarana, N. (2014). Evaluación de propiedades físicas de bioplásticos termo-comprimidos elaborados con harina de yuca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2):40-48. http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n2/v12n2a05.pdf.

Netravali, A. N., & Chabba, S. (2003). Los matriales compuestos se vuelven más ecológicos. *Estera, Día libre*, 6: 22-29. https://doi.org/10.1016/S1369-7021(03)00427-9.

Novamont. (28 de octubre de 2022). *Novamont GmbH*. Obtenido de https://germany.novamont.com/page.php?id_page=2&id_first=2

Ogah, A. O., & James, T. U. (2018). Comportamiento mecánico de fibras de residuos agrícolas biocompuestos de éster de vinilo reforzado. *Revista asiática de ciencias físicas y químicas*, 5(1): 1-10; DOI: 10.9734/AJOPACS/2018/35841.

Pandey, A., Soccol, C. R., Nigam, P., & Soccol, C. T. (2000). Potencial biotecnológico de residuos agroindustriales, I: bagazo de caña de azúcar. *Biores. Technol.*, 74:69-80. DOI :10.1016/S0960-8524(99)00142-X.

Peelman, N., Ragaert, P., De Meulenaer, B., Adons, D., Peeters, R., Cardon, L., . . . Devlieghere, F. (2013). Aplicación de bioplásticos para envasado de alimentos. *Trends Food Sci. Technol*, 32:128-141. DOI: 10.1016/j.tifs.2013.06.003.

Pérez, M. B., & Krochta, J. M. (2001). Efecto del tamaño de las partículas lipídicas sobre la permeabilidad al vapor de agua y las propiedades mecánicas de las películas de emulsión de proteína de suero / cera de abejas. *J. Agric. Food Chem.*, 49:996-1002. doi: 10.1021/jf000615f.

Polat, S., Uslu, M. K., Aygün, A., & Certel, M. (2012). Los efectos de la adición de fibra de cáscara de maíz, caolín y cera de abejas sobre la espuma de almidón de maíz reticulado. *Revista de ingeniería alimentaria*, 267-276. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.12.017.

Prada, A., & Castillo, C. E. (2010). La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral. *Orinoquia*, 14(2):155-170. DOI: 10.22579/20112629.103.

Pretell, M. (2018). *Fabricación de vajilla comestible a partir de biopolímeros de yuca (Manihot esculenta) y sábila (Aloe vera), 2017-2018.* Lima, Perú: Universidad Cesar Vallejo, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. https://hdl.handle.net/20.500.12692/21091.

Pruebas e investigaciones mecánicas de Westmorelan. (30 de setieimbre de 2020). Obtenido de https://www.wmtr.com/.

Rahman, F. N., Romli, A. Z., & Abidin, M. H. (2014). Propiedades mecánicas del compuesto de cloruro de polivinilo plastificado reciclado a partir de cáscara de arroz. *Avances en biología ambiental*, 8(8): 2615-2619; http://www.aensiweb.com/AEB/.

Retnayake, W. S., Hoover, R., Shahidi, F., Perera, C., & Jane, J. (2001). Composición, estructura molecular y propiedades fisicoquímicas de almidones de cuatro cultivares de guisantes (Pisum sativun L.). *Food Chem*, 74(2):189-202. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00124-8.

Rey, K., & Pielichowska, K. (2019). Descomposición térmica del polímero nanocomposites con nanopartículas funcionalizadas. *Compuestos InPolymer con nanopartículas funcionalizadas (Elsevier)*, 405-435. DOI: 10.1016/B978-0-12-814064-2.00013-5.

Rodsamran, P., & Sothornvit, R. (2017). Rastrojo de arroz como nueva fuente de biopolímero para producir películas mezcladas con carboximetilcelulosa. *Carbohidr. Polym.*, 171: 94-101. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.05.003.

Scarpini, V., Ríos, A. C., Tonini, N., Santos, F., & Neves, S. (2017). Dureza de compuestos de matriz de poliéster reforzados con fibras de bagazo de caña de azúcar evaluada mediante pruebas de impacto Charpy. *jmr&t Journal of materials Research and Technology*, 269:1-5. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2017.06.001.

Schmid, M., Benz, A., Stinga, C., Samain, D., & Zeyer, K. P. (2012). Investigaciones fundamentales sobre las propiedades de barrera de las capas de PVOH injertadas. *En t. J. Polym. Esquí*, 1-6. doi:10.1155/2012/637837.

Shaik, S., Yaqoob, M., & Aggarwal, P. (2021). Una descripción general de los envases biodegradables en la industria alimentaria. *Investigación actual en ciencia de los alimentos*, 4:503-520. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.07.005.

Shellhammer, T., & Krochta, J. (1997). Rendimiento de la película de emulsión de proteína de suero afectado por el tipo y la cantidad de lípidos. *J. Food Sci.*, 62:390-394. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb04008.x.

Siddique, R., & Cachim, P. (2018). Waste and supplementary cementitious materials in concrete: Characterisation, properties and applications (1st ed.). Woodhead Publishing. *Elsevier*, 417-460. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102156-9.00001-5.

Sn, W. (2008). *Bagazo de caña de azúcar: ¿qué tan fácil es medir sus componentes?* Durbman: Proceedings of the South Afrin Sugar Tchnologists Association. https://www.semanticscholar.org/paper/SUGARCANE-BAGASSE%3A-HOW-EASY-IS-IT-TO-MEASURE-ITS-Sn/6ccfb2bc3fde9f4e44a6e85c2435b712b8c7defd.

Sun, K., Li, F., Li, J., Li, J., Zhan, S., & et. al. (2019). Optimización de la compatibilidad para mejorar el alargamiento a la rotura de películas de quitosano / almidón. *RSC Adv.*, 9(42): 24451–24459. https://doi.org/10.1039/C9RA04053F.

Utami, A. S., Sunarte, C., Isono, N., Hisamatsu, M., & Ehara, H. (2014). Preparación de espuma biodegradable a partir de residuos de sagú. *SAGO PALM*, 22: 1−5. https://doi.org/10.57418/sagopalm.22.1_1.

Velásques, Y. C., & López, J. E. (2015). Tecnologías de produccion de una planta de obtencion de etanol a partir de residuos de cosecha (hojas y cogollo) de la caña de azucar. *Colección Académica de Ciencias Estratégicas*, 2(1):67-65. http://hdl.handle.net/20.500.11912/9335.

Yap, S., Sreekantan, S., Hassan, M., & Sudesh, K. (2020). Caracterización y biodegradabilidad de compuestos poliméricos rellenos de cáscara de arroz. *Polímeros MDPI*, 13, 104. https://doi.org/10.3390/polym13010104.

Youssef, S., Hasanin, M. S., Abd, Y. O., & Darwesh, O. M. (2019). Compuestos plásticos de madera ecológicos, económicos y parcialmente biodegradables mediante la modificación

enzimática de la superficie de fibras lignocelulósicas. *Heliyon*, 1-22. doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01332.

Zinc, J., Wyrobnik, T., Prinz, T., & Schmid, M. (2016). Modificaciones físicas, químicas y bioquímicas de películas y recubrimientos a base de proteínas: una revisión extensa. *En t. J. Mol. Esquí*, 17,1376. doi: 10.3390/ijms17091376.

ANEXOS

Anexo 1: Iconografía



Figura 16. Bagazo de caña de azúcar (A) y cáscara de arroz (B).



Figura 17. Residuos pulverizados (A) y pulverizado (B).



Figura 18. Pesado de insumos e insumos para mezclado.



Figura 19. Mezclado de insumos (A) y preparación para moldead (B).



Figura 20. Prensado, desmoldado (A) y platos de bagazo de caña (B).



Figura 21. Probetas de platas de cáscara de arroz (A) y platos de bagazo de caña (B).

Anexo 2: resultado 4.1

Tabla 12.
Prueba de normalidad para platos de bagazo de caña de azúcar.

Parámetro	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Módulo de Young en platos de bagazo de caña (MPa)	0.284	9	0.035	0.799	9	0.020
Elongación platos de bagazo de caña (%)	0.280	9	0.040	0.817	9	0.032
Resistencia a la tracción platos de bagazo de caña (MPa)	0.298	9	0.020	0.898	9	0.241
Módulo de elasticidad platos de bagazo de caña (MPa)	0.202	9	,200*	0.908	9	0.302
Módulo de resistencia platos de bagazo de caña (MPa)	0.245	9	0.128	0.826	9	0.040
Dureza platos de bagazo de caña (Kg)	0.167	9	,200*	0.904	9	0.278

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

Tabla 13.
Prueba post-hoc HSD Tukey para platos de bagazo de caña de azúcar.

Tratamientos en platos de bagazo de caña	N	Módulo de Young (MPa) Subconjunto para alfa = 0.05			Elongación (%) Subconjunto para alfa = 0.05			Resistencia a la tracción (MPa) Subconjunto para alfa = 0.05				MOE (MPa) Subconjunto para alfa = 0.05		MOR (MPa) Subconjunto para alfa = 0.05			Dureza (Kg) Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	1	2	3	1	2	3
T0: Plato de bagazo de caña (0% almidón)	3	0			0.00			0.00				0.00		0.00			0.00		
T2: Plato de bagazo de caña (20% almidón)	3	0.2	0.2		0.31	0.31			0.06				3.14		0.10			9.53	
T1: Plato de bagazo de caña (10% almidón)	3		0.59	0.59		0.74	0.74			0.10			3.58		0.12	0.12		11.55	11.55
T3: Plato de bagazo de caña (30% almidón)	3			0.943			1.16				0.21		3.97			0.17			13.16
Sig.		0.589	0.129	0.179	0.47	0.24	0.24	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	0.79	0.09	1.00	0.29	0.46

Anexo 3: resultado 4.2

Tabla 14.
Prueba de normalidad para platos de cáscara de arroz.

Parámetro	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Módulo de Young platos de cáscara de arroz (MPa)	0.200	9	,200*	0.883	9	0.171
Elongación de platos de cáscara de arroz (%)	0.130	9	,200*	0.955	9	0.742
Resistencia a la tracción de platos de cáscara de arroz (MPa)	0.201	9	,200*	0.866	9	0.110
Módulo de elasticidad de platos de cáscara de arroz (MPa)	0.241	9	0.142	0.917	9	0.371
Módulo de resistencia de platos de cáscara de arroz (MPa)	0.183	9	,200*	0.894	9	0.220
Dureza de platos de cáscara de arroz (Kg)	0.162	9	,200*	0.941	9	0.597

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

Tabla 15.
Prueba post-hoc HSD Tukey para platos de cáscara de arroz.

Tratamientos en platos de cáscara de arroz	N	Módulo de Young (MPa) Subconjunto para alfa = 0.05	Elongación (%) Subconjunto para alfa = 0.05		Resistencia a la tracción (MPa) Subconjunto para alfa = 0.05			MOE (MPa) Subconjunto para alfa = 0.05		MOR (MPa) Subconjunto para alfa = 0.05				Dureza (Kg) Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	4	1	2	3
T0: Plato de cáscara de arroz (0% almidón)	3	0.00	0.00		0.00			0.00		0.00				0.00		
T2: Plato de cáscara de arroz (20% almidón)	3	0.22	0.56	0.56		0.10			5.29		0.08			7.24	7.24	
T1: Plato de cáscara de arroz (10% almidón)	3	0.49		0.77		0.12			6.24			0.10			13.69	
T3: Plato de cáscara de arroz (30% almidón)	3	1.04		1.17			0.18		7.66				0.18			25.50
Sig.		0.05	0.07	0.05	1.00	0.62	1.00	1.00	0.28	1.00	1.00	1.00	1.00	0.17	0.23	1.00

Matriz de consistencia

Efecto del almidón y glicerol en la calidad fisicomecánica de platos elaborados a base cáscara de arroz y bagazo de caña en la región Ucayali					
PROBLEMA GENERAL	**OBJETIVO GENERAL**	**HIPÓTESIS GENERAL**	**VARIABLES**	**DIMENSIONES**	**INDICADORES**
¿Cuál es el efecto del almidón con glicerol en la resistencia físico-mecánica de los platos elaborados con cáscara de arroz y bagazo de caña en la región Ucayali?	Determinar el efecto del almidón con glicerol en la resistencia físico-mecánica de platos elaborados a base de cáscara de arroz y bagazo de caña en la región Ucayali	Efecto del almidón con glicerol es significativo en la calidad físico-mecánica de platos elaborados a base cáscara de arroz y bagazo de caña en la región Ucayali	Y: Efecto del almidón con glicerol en la calidad físico-mecánica de platos elaborados a base cáscara de arroz y bagazo de caña en la región Ucayali	Propiedades físico-mecánicas de platos de glicerol con almidón más bagazo de caña de azúcar	Informe final
				Propiedades físico-mecánicas de platos de glicerol con almidón más cáscara de arroz	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS:	**OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**	**HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**			
1. ¿Cuál es el efecto del almidón con glicerol en las propiedades físico-mecánicas de los platos a base de cáscara de arroz y bagazo de caña?	1. Establecer el efecto del almidón con glicerol en las propiedades físico-mecánica de los platos a base de bagazo de caña y cáscara de arroz	1. El efecto del almidón con glicerol es significativo en las propiedades físico-mecánica de los platos a base de bagazo de caña y cáscara de arroz	Propiedades físico mecánica de los platos a base de bagazo de caña y cáscara de arroz	Elongación	Porcentaje (%)
				Módulo de elasticidad-MOE	Megapascales (MPa)
				Resistencia a la tracción	Megapascales (MPa)
				Módulo de rotura - MOR	Megapascales (MPa)
				Módulo de Young	Megapascales (MPa)
				Dureza	Kilogramo (Kg)
2. ¿Cuál es la combinación óptima respecto a los al efecto de la cáscara de arroz y bagazo de caña en platos?	2. Determinar la combinación óptima respecto a los al efecto de la cáscara de arroz y bagazo de caña en platos	2. La combinación óptima respecto al efecto cáscara de arroz y bagazo de caña es de 30% de almidón y 40% de glicerol	Efecto de la cáscara de arroz y bagazo de caña en platos	Almidón, glicerol, polvillo de arroz y cáscara de arroz	Porcentaje en peso (% p/p)
				Almidón, glicerol, polvillo de arroz y bagazo de caña de azúcar	Porcentaje en peso (% p/p)