

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

“Evaluación de propiedades físico-mecánicas y morfológicas de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango (Mangifera indica) a escala laboratorio Huánuco – 2024”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
AMBIENTAL**

AUTORA: Barrera Falcon, Patricia

ASESOR: Chahua García, Niler Rosario

HUÁNUCO – PERÚ

2024

U

D

H



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANCAYO
<http://www.udh.edu.pe>

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Biotecnología y Nanotecnología

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnológica

Sub área: Biotecnología Industrial

Disciplina: Bioproductos, Biomateriales, Bioplásticos, Biocombustibles, Materiales nuevos bioderivados.

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniera ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 72278891

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 46905368

Grado/Título: Maestro en educación, mención: investigación y docencia superior.

Código ORCID: 0000-0003-3517-5751

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Cámara Llanos, Franck Erick	Maestro en ciencias de la salud con mención en: salud pública y docencia universitaria	44287920	0000-0001-9180-7405
2	Romero Estacio, Jorge Antonio	Maestro en gestión pública para el desarrollo social	22520481	0009-0000-2063-4076
3	Campos Gonzales, Mildred Margarita	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	72257793	0009-0008-0885-4883



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:00 horas del día 28 del mes de noviembre del año 2024, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

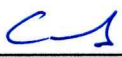
- Mg. Frank Erick Camara Llanos (Presidente)
- Mg. Jorge Antonio Romero Estacio (Secretario)
- Mg. Mildred Margarita Campos Gonzales (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 2597-2024-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: **"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO- MECÁNICAS Y MORFOLÓGICAS DE BIOPLÁSTICOS ELABORADO A BASE DE CÁSCARA DE MANGO (*Mangifera indica*) A ESCALA LABORATORIO HUÁNUCO - 2024"**, presentado por el (la) Bach. **BARRERA FALCON, PATRICIA**; para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) Aprobado Por Unanimidad con el calificativo cuantitativo de 1.7... y cualitativo de Muy bueno (Art. 47)

Siendo las 18:20 horas del día 28 del mes de Noviembre del año 2024, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


Mg. Frank Erick Camara Llanos
DNI: 44287920
ORCID: 0000-0001-9180-7405
Presidente


Mg. Jorge Antonio Romero Estacio
DNI: 22520481
ORCID: 0009-0000-2063-4076
Secretario


Mg. Mildred Margarita Campos Gonzales
DNI: 72257793
ORCID: 0009-0008-0885-4883
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: PATRICIA BARRERA FALCON, de la investigación titulada “Evaluación de propiedades físico-mecánicas y morfológicas de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*) a escala laboratorio Huánuco – 2024”, con asesor(a) NILER ROSARIO CHAHUA GARCÍA, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1256-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 19 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 04 de noviembre de 2024



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO
D.N.I.: 40618286
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

4. Barrera Falcon, Patricia.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

4%

2

repositorio.inia.gob.pe

Fuente de Internet

2%

3

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

tip.zaragoza.unam.mx

Fuente de Internet

1%

5

laccei.org

Fuente de Internet

1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO

D.N.I.: 47074047

cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO

D.N.I.: 40618286

cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a Dios y a mi familia, que han sido mi principal apoyo y fuerza para lograr mis metas.

A mis padres Patricio José y Judith Sisi por ser un buen ejemplo de trabajo duro y dedicación, a mi hermano Neil José y a mis hermanas Mayumy y Vanesa Pilar por apoyarme en cada etapa de este proceso.

Este logro es de todos nosotros, quienes han confiado en mí y me han inspirado.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mi mentor, quien, con su guía y conocimientos, han forjado el desarrollo de esta investigación.

Al equipo del laboratorio de Instrumentación de la UNHEVAL a cargo del Dr. Juan Edson Villanueva Tiburcio y a los ingenieros Cesar Robert Cueto Rosales y Johana Milagros Bravo Romaina, cuyo apoyo y colaboración enriquecieron cada etapa de este proceso.

También, a mi institución académica, a los ingenieros Cano Cochachi Deyvis Jefferson y Soto Amante Alberth Jeremías, por los recursos y el espacio ofrecidos para la realización de este proyecto.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a todos aquellos que, de manera directa o indirecta, han creído en mí y en la importancia de este trabajo, siendo parte esencial de este logro

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XIV
CAPÍTULO I	16
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	18
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	18
1.3. OBJETIVO.....	19
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	20
CAPÍTULO II	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	22
2.1.1. INTERNACIONAL	22
2.1.2. NACIONAL	25
2.1.3. LOCAL	28
2.2. BASES TEÓRICAS.....	28
2.2.1. BIOPLÁSTICO	28

2.2.2. PROPIEDADES FÍSICAS	29
2.2.3. PROPIEDADES MECÁNICAS	31
2.2.4. PROPIEDADES MORFOLÓGICAS	33
2.2.5. BIODEGRADABILIDAD	33
2.2.6. BIOPLÁSTICO A BASE DE CÁSCARA DE MANGO	34
2.2.7. MANGO (Mangifera indica)	35
2.2.8. ESCALA DE LABORATORIO	46
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	47
2.4. HIPÓTESIS.....	48
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	48
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	49
2.5. VARIABLES	49
2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	49
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE	49
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	50
CAPÍTULO III	52
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	52
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	52
3.1.1. ENFOQUE.....	52
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	52
3.1.3. DISEÑO	53
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	54
3.2.1 POBLACIÓN.....	54
3.2.2 MUESTRA	55
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS ...	55
3.3.1 PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	55
3.3.2 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	59
3.3.3 PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.....	80
3.3.4 PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	80

CAPÍTULO IV	82
RESULTADOS	82
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	82
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS...	115
CAPÍTULO V	119
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	119
CONCLUSIONES.....	124
RECOMENDACIONES.....	126
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
ANEXOS	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación taxonómica del mango (Mangifera Indica)	35
Tabla 2 Composición nutricional de 100gr de pulpa de mango fresco	38
Tabla 3 Propiedades fisicoquímicas de pulpa de mango fresco	39
Tabla 4 Cantidad de vitaminas y minerales de la pulpa de 100gr de mango fresco.....	39
Tabla 5 Principales productores de mango (Mangifera Indica)	41
Tabla 6 Principales variedades de mango (Mangifera Indica)	41
Tabla 7 Contenido de pectina de mango y sus métodos de extracción.....	45
Tabla 8 Duración de las actividades del proceso de obtención de cáscara de mango	55
Tabla 9 Pruebas de normalidad para variables propiedades físicas, mecánicas morfológicas y los bioplásticos.....	81
Tabla 10 Resultados del proceso de obtención de la cáscara de mango (Mangifera indica)	82
Tabla 11 Resultados de la homogenización para la elaboración de bioplástico	83
Tabla 12 Resultados del bioplástico elaborado a partir de la muestra gelificada obtenida de la extracción de cáscara de mango	85
Tabla 13 Resultado de la medición de humedad, materia seca y fibra	87
Tabla 14 Resultado del color de los bioplásticos	88
Tabla 15 Resultado del espesor de los bioplásticos.....	91
Tabla 16 Resultado de la densidad de los bioplásticos.....	93
Tabla 17 Resultado de humedad de los bioplásticos	95
Tabla 18 Resultado de la opacidad de los bioplásticos.....	97
Tabla 19 Resultado de la solubilidad de los bioplásticos	99
Tabla 20 Resultado de la resistencia de ruptura en tensión de los bioplásticos.....	101
Tabla 21 Resultado de la elongación de los bioplásticos	103
Tabla 22 Resultado de la fuerza de tracción de los bioplásticos	105
Tabla 23 Resultado de la fuerza de punción de los bioplásticos	107
Tabla 24 Descripción de la propiedad morfológica de los bioplásticos.....	109

Tabla 25 Resultado porcentual de biodegradación del plástico convencional, compostable y los bioplásticos elaborado a base de cascara de mango (T – 5% - 10% - 15).....	114
Tabla 26 Resultados del ANOVA de medidas repetidas para las dimensiones de las propiedades físico-mecánicas y morfológicas de bioplásticos.	115
Tabla 27 Resultados del ANOVA para la comparación de biodegradación entre bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango, plástico compostable y plástico convencional en diferentes días	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Clasificación de Bioplásticos.....	29
Figura 2 Morfología deplanta de mango (Mangifera Indica)	37
Figura 3 Morfología del mango (Mangifera Indica)	38
Figura 4 Estructura diseño con posprueba únicamente y grupo de control ..	54
Figura 5 Diagrama de flujo de la elaboración del bioplástico	61
Figura 6 Proceso de lavado del mango con agua	62
Figura 7 Proceso de enjuague del mango con agua destilada.....	62
Figura 8 Proceso de pesaje del mango en la balanza analítica	62
Figura 9 Proceso de retiro el pericarpio (cáscara) del mesocarpio (pulpa) del mango	63
Figura 10 Proceso de picado del mango en trozos pequeños.....	63
Figura 11 Proceso de pesaje de los trozos pequeños.....	63
Figura 12 Proceso de licuado de los trozos pequeños.....	64
Figura 13 Proceso de colado del extracto de mango	64
Figura 14 Proceso de pesaje del extracto de cáscara de mango	64
Figura 15 Proceso del pesado de la maicena	65
Figura 16 Proceso de agregado de glicerina y vinagre al extracto de cáscara de mango	65
Figura 17 Proceso de agregado de aceite esencial de canela al extracto de cáscara de mango	65
Figura 18 Proceso de agregado de la muestra gelidificada a cada placa Petri	66
Figura 19 Proceso después de secado en la estufa.....	66
Figura.20 Proceso de enfriamiento de las muestras	66
Figura.21 Proceso de pesaje de la muestra.....	67
Figura.22 Proceso de enfriamiento de la muestra.....	67
Figura 23 Proceso de pesaje de la muestra.....	68
Figura 24 Proceso de agregado y secado de la muestra	68
Figura 25 Proceso de secado de la muestra.....	69
Figura 26 Proceso de almacenamiento de la muestra	69
Figura 27 Estudio del color en el sistema CIELAB	70
Figura 28 Medición de las muestras con el Micrómetro digital	70

Figura 29 Corte de las muestras	71
Figura 30 Proceso de medición de la densidad de la muestra	71
Figura 31 Proceso de medición de humedad de la muestra	72
Figura 32 Proceso de enfriamiento de la muestra.....	72
Figura 33 Proceso de extracción de las muestras	72
Figura 34 Muestras de 4cm x 1cm en las cubetas.	73
Figura 35 Lectura del Espectrofotómetro	73
Figura 36 Extracción de la muestra de la estufa	74
Figura 37 Enfriamiento de la muestra	74
Figura 38 Sumersión de la muestra en agua destilada	75
Figura 39 Pesado de la muestra en la balanza analítica.....	75
Figura 40 Muestra en tiras de 1,5cm x 5cm	76
Figura 41 Análisis en el Texturómetro.....	76
Figura 42 Punción de la muestra 2x2cm ²	77
Figura 43 Resultado de la muestra después analizador	78
Figura 44 Ubicación de la muestra en los discos de carbono del stub	78
Figura 45 Medición de la magnificación en el porta-muestra del SEM	79
Figura 46 Muestra lista para la elaboración del bioplástico	82
Figura 47 Proceso de homogenización y obtención de muestra gelidificada con consistencia cremosa.....	84
Figura 48 Bioplástico elaborado a partir de la muestra gelidificada obtenida de la extracción de cáscara de mango mediante la homogenización.....	85
Figura 49 Descripción de los resultados de medición de la humedad, materia seca y fibra	87
Figura 50 Descripción del color de los bioplásticos.....	89
Figura 51 Descripción del espesor de los bioplásticos.....	91
Figura 52 Descripción de la densidad de los bioplásticos	93
Figura 53 Descripción de la humedad de los bioplásticos.....	95
Figura 54 Descripción de la opacidad de los bioplásticos	97
Figura 55 Descripción de la solubilidad de los bioplásticos	99
Figura 56 Descripción de la resistencia de ruptura en tensión de los bioplásticos.....	102
Figura 57 Descripción de la elongación de los bioplásticos	104
Figura 58 Descripción de la fuerza de tracción de los bioplásticos	106

Figura 59 Descripción de la fuerza de punción de los bioplásticos	108
Figura 60 Imágenes SEM de bioplásticos a base de cascara de mango M (T) a magnificación de x100 y x1000	110
Figura 61 Imágenes SEM de bioplásticos a base de cascara de mango M (5%) a magnificación de x100 y x1000	111
Figura 62 Imágenes SEM de bioplásticos a base de cascara de mango M (10%) a magnificación de x100 y x1000	111
Figura 63 Imágenes SEM de bioplásticos a base de cascara de mango M (15%) a magnificación de x100 y x1000	112
Figura 64 Proceso de biodegradación de plástico convencional, compostable y bioplásticos a base de cascara de mango (M(T), 5%, 10% y 15%	113

RESUMEN

Este estudio analizó las características físicas, mecánicas y forma de bioplásticos hechos con cáscaras de mango en un laboratorio. Se investigó para averiguar cómo añadir este material de la industria agrícola afecta las propiedades del bioplástico y capacidad para descomponerse, comparándolo con plásticos normales y compostables.

Se empleó un plan de estudio en el que se recogieron las partes exteriores del mango y separaron sus elementos con técnicas de procesamiento apropiadas. Después, crearon los bioplásticos usando mezclas y moldes. Se realizaron pruebas para analizar las características del nuevo material: composición, resistencia y forma. Para las propiedades físicas-mecánicas y morfológicas se utilizó la prueba de intra-sujetos ($p = 0,043$). En la Biodegradación, el ANOVA evidenció un aumento de la descomposición sobre todo en el día 28 con un análisis de varianza ($F = 149,143$) y significancia ($p = 0,000$).

Los estudios mostraron que el plástico hecho con cáscara de mango mejoró en su color, densidad y resistencia. También se volvió más flexible, sobre todo en muestras con un 15% de extracto de mango. El bioplástico se descompone más fácilmente que los plásticos normales; en 28 días, se descompuso un 57% (Bioplástico 5%).

En conclusión, el plástico hecho de cáscara de mango resultó ser una opción práctica y respetuosa con el medio ambiente para reducir el impacto negativo de los plásticos. Se destaca su capacidad para ser usado en diferentes áreas de la industria del plástico.

Palabras clave: *Cáscara de mango, Mangifera indica, bioplástico, biodegradación, plástico.*

ABSTRACT

This study analyzed the physical, mechanical, and shape characteristics of bioplastics made from mango peels in a laboratory. It was investigated to find out how adding this material from the agricultural industry affects the properties of the bioplastic and its ability to decompose, comparing it with normal and compostable plastics.

A study plan was used in which the outer parts of the mango were collected and its elements were separated with appropriate processing techniques. Then, the bioplastics were created using mixtures and molds. Tests were carried out to analyze the characteristics of the new material: composition, resistance, and shape. For the physical-mechanical and morphological properties, the intra-subject test was used ($p = 0.043$). In Biodegradation, the ANOVA showed an increase in decomposition especially on day 28 with an analysis of variance ($F = 149.143$) and significance ($p = 0.000$).

The studies showed that the plastic made from mango peel improved in its color, density, and resistance. It also became more flexible, especially in samples with 15% mango extract. Bioplastic decomposes more easily than regular plastics; in 28 days, it decomposed 57% (Bioplastic 5%).

In conclusion, plastic made from mango peel turned out to be a practical and environmentally friendly option to reduce the negative impact of plastics. Its capacity to be used in different areas of the plastic industry is highlighted.

Keywords: *Mango peel, Mangifera indica, bioplastic, biodegradation, plastic.*

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación se realizó con el objetivo de encontrar una solución ecológica al problema principal de hoy en día: la dificultad de descomposición de los plásticos.

El aumento de la preocupación por cómo los plásticos normales afectan al medio ambiente ha motivado la búsqueda de opciones más sostenibles que ayuden a reducir la contaminación y fomentar la reutilización de recursos. El empleo de bioplásticos hechos con materiales que se pueden renovar se plantea como una solución práctica e importante. En esta situación, la piel de mango, que suele ser desechada como un subproducto de la industria agrícola, se destaca como una buena opción para producir estos.

El problema aborda en, qué hace que el bioplástico sea viable en comparación con los plásticos normales y compostables. Aunque cada vez hay más interés en crear materiales que se descompongan naturalmente, hay pocos estudios que analicen detalladamente estas características. Entonces, el problema se enfoca en descubrir las características físicas, mecánicas y de forma del bioplástico hecho con cáscara de mango, y también en determinar si puede descomponerse de manera natural.

La razón de este estudio es la importancia de hallar soluciones duraderas para enfrentar el problema cada vez mayor de la basura de plástico. Al usar mejor un recurso que no se está utilizando completamente, se intenta no solo ayudar a reducir el impacto en el medio ambiente, sino también impulsar la economía al darle valor a los desechos de la industria agrícola. Además, crear plásticos ecológicos usando la cáscara de mango puede ayudar a los agricultores de la zona y fomentar la creatividad en la industria de los plásticos.

En este estudio, se utilizó un método que consistió en recolectar cáscaras de mango, procesarlas para extraer sus partes, y luego hacer bioplásticos usando mezclas y moldes. Se llevan a cabo pruebas para estudiar las características del material obtenido, incluyendo análisis de su composición y resistencia, junto con estudios visuales para ver cómo están distribuidos y estructurados sus componentes.

El objetivo de este estudio es examinar las características que convierten al bioplástico hecho de cáscara de mango en una opción viable en el mercado.

Los objetivos específicos son analizar cómo es el bioplástico en términos de su aspecto físico, resistencia y forma, y también comparar cómo se descompone de manera natural en comparación con plásticos normales y compostables.

Los diferentes temas del trabajo se dividen en capítulos. En el primer capítulo se habla sobre bioplásticos y su relación con el medio ambiente. Se revisa la información existente en este tema. En el segundo capítulo se explica la teoría que se utilizó. En el tercer apartado se explica cómo se llevó a cabo el estudio, en el cuarto se analizan los resultados y en el quinto se discuten. Por último, se termina con un capítulo que resume lo encontrado, da recomendaciones y sugiere temas para investigar en el futuro. Esta agrupación de temas busca hacer más fácil entender cómo se lleva a cabo una investigación y resaltar la importancia de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La contaminación plástica es una crisis ambiental global que afecta a ecosistemas terrestres y acuáticos, y cuya magnitud ha alcanzado proporciones alarmantes. Cada año, millones de toneladas de plástico terminan en océanos y vertederos, donde permanecen durante siglos debido a su resistencia a la degradación natural. La contaminación plástica afecta negativamente los ecosistemas marinos, la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y la salud humana. Además, provoca la acidificación de los océanos, la degradación de la calidad del agua, el aumento de especies invasoras, la sobrepesca, contaminación, degradación del hábitat y pérdida de valor estético (Wagh et al., 2022).

La producción de plásticos convencionales supera los 400 millones de toneladas anuales frente al 1% de producción de bioplástico, con un impacto ambiental devastador; aproximadamente el 50% se desecha después de un solo uso, solo el 9% se recicla, el 12% se incinera y el resto se deja en el medio ambiente o en vertederos. Motivo por el cual las organizaciones globales como las Naciones Unidas y la Unión Europea han lanzado iniciativas para reducir el uso de plásticos y promover alternativas biodegradables (Eriksen et al., 2023).

El 90% se atribuye a diez ríos, ocho de Asia (57%), China (30%), Japón (4%), países del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) (18%), Europa (17%) y otros (14%). Turquía contribuye el 16,8% de la contaminación plástica marina debido a la mala gestión de residuos y las restricciones a las importaciones. En África, los principales productores de plástico son Egipto (18,7%), Nigeria (17,0%), Sudáfrica (11,7%), Argelia (11,3%), Marruecos (9,6%) y Túnez (7,0%) (6–8). América Latina es responsable del 8% del consumo mundial de material plástico y tiene una pequeña tasa de reciclaje (4,5%). A nivel Perú, la situación es igualmente crítica, con una alta generación de residuos plásticos que afecta a áreas urbanas y rurales (Kumagai et al., 2020).

Las principales causas de la contaminación plástica incluyen el consumo masivo de productos desechables, la falta de infraestructura adecuada para la gestión de residuos, reciclaje inadecuado, limitada degradabilidad de los plásticos convencionales, el aumento de la población y la industrialización. Además, la producción de plásticos a partir de recursos no renovables como el petróleo contribuye al agotamiento de estos recursos y a la emisión de gases de efecto invernadero (Conti et al., 2021).

En el Perú, es muy necesario entender el uso masivo del plástico, porque según estimaciones, se suman más de 3 mil millones de bolsas plásticas cada año, manifestándose en una creciente crisis ambiental caracterizada por la acumulación de residuos plásticos en diversos ecosistemas. Estos plásticos, de difícil degradación, contaminan suelos, ríos y océanos, afectando la salud de los ecosistemas y de la fauna silvestre. Los animales marinos y terrestres, al ingerir o enredarse en estos materiales, enfrentan riesgos graves que pueden llevar a su muerte. Además, la liberación de sustancias tóxicas por los plásticos puede contaminar fuentes de agua y alimentos, representando una amenaza para la salud humana. La presión sobre los sistemas de gestión de residuos es también significativa, exacerbando el desafío de manejar y reducir la creciente cantidad de desechos plásticos, ya que en el 2015 se reportó que el 90% de las aves marinas habían ingerido plástico (MINAM, 2020).

Según Radio Programas del Perú (RPP, 2020) el uso excesivo que se le está dando a los materiales plásticos viene afectando uno de nuestros principales ríos en la región es el Huallaga. En esta fuente de noticia se deja constancia que el anterior año se retiraron 19 toneladas de plásticos de este río y en los primeros cuatro meses del presente año se retiraron 5 tn de plásticos, que llevaron a que se produzcan alteraciones de las funciones ecológicas, reducción de la diversidad biológica, así como la contaminación a los cauces bajos. Viendo esto podemos darnos cuenta que la problemática de los materiales plásticos abarca perjudicando hasta uno de nuestros recursos hídricos más importantes para subsistir.

Por otro lado, en la región Huánuco uno de los problemas principales es la gestión de residuos sólidos, especialmente los desechos plásticos. Con el crecimiento urbano y el aumento de la población, la cantidad de residuos plásticos ha incrementado de manera significativa, afectando tanto a la salud pública como al medio ambiente. Las prácticas inadecuadas de disposición final, como la quema de plásticos contribuyen a la contaminación del aire y suelo lo que pone en riesgo la biodiversidad y la calidad de vida de los habitantes. Esta situación se ve agravada por la falta de infraestructuras adecuadas para el reciclaje y la gestión sostenible de los residuos, lo cual demanda soluciones innovadoras y efectivas.

Asimismo, enfrenta desafíos económicos y sociales relacionados con la sostenibilidad ambiental. La economía local depende en gran medida de la agricultura y el turismo, sectores que pueden verse gravemente afectados por la degradación ambiental. La proliferación de plásticos no biodegradables afecta la fertilidad del suelo y contamina las fuentes de agua, repercutiendo negativamente en la productividad agrícola y salud de las comunidades. La investigación y el desarrollo de bioplásticos a partir de recursos locales, como la cáscara de mango, presentan una oportunidad valiosa para mitigar estos problemas, al fomentar el uso de materiales biodegradables y promover prácticas sostenibles, se puede contribuir significativamente a la protección del medio ambiente y al desarrollo económico sostenible de la región.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuáles son las propiedades físico-mecánicas y morfológicas del bioplástico elaborados a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*) a escala laboratorio, Huánuco – 2024?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuáles son las propiedades físicas del bioplástico elaborado a base de cáscara de mango?

¿Cuáles son las propiedades mecánicas del bioplástico elaborado a base de cáscara de mango?

¿Cuáles son las propiedades morfológicas del bioplástico elaborado a base de cáscara de mango?

¿Cuáles son las diferencias de biodegradación de los bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango, plástico compostable y plástico convencional?

1.3. OBJETIVO

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar las propiedades físico-mecánicas y morfológicas del bioplástico elaborados a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*) a escala laboratorio, Huánuco – 2024.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar las propiedades físicas del bioplástico elaborado a base de cáscara de mango.

Identificar las propiedades mecánicas del bioplástico elaborado a base de cáscara de mango.

Identificar las propiedades morfológicas del bioplástico elaborado a base de cáscara de mango.

Comparar la biodegradación del bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango, plástico compostable y plástico convencional.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación promovió el aprovechamiento de un subproducto agrícola abundante y de bajo costo. Esto porque reduce los costos de producción en comparación con los plásticos convencionales y genera nuevas oportunidades económicas para los agricultores y procesadores de mango.

Socialmente, su implementación contribuyó en mejorar la calidad de vida de las comunidades, al reducir la contaminación ambiental y sus efectos negativos en la salud pública. Además, fomentó la creación de

empleos locales en el sector del reciclaje y producción de bioplásticos, generando un impacto positivo en el desarrollo sostenible de la región.

Desde una perspectiva ambiental, mitigó la contaminación plástica, promoviendo prácticas más sostenibles y redujo la huella de carbono.

Teóricamente, enriqueció el conocimiento sobre materiales biodegradables y aplicaciones potenciales, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos.

Metodológicamente, utilizó técnicas de evaluaciones rigurosas para los bioplásticos resultantes, plásticos compostables y convencionales. Esto aseguró la viabilidad y eficacia de los bioplásticos en diversas aplicaciones.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación no enfrentó limitaciones en la disponibilidad ni variabilidad en la calidad y composición de la materia prima, los compuestos, así como las condiciones de cultivo y grado de madurez, no afectaron la consistencia y propiedades del bioplástico producido. Además, el proceso de conversión de la cáscara de mango en bioplástico no conllevó a desafíos técnicos ni científicos, pero si fue necesario el uso de un laboratorio con equipos especializados para optimizar las condiciones durante el proceso de ejecución y materiales óptimos.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La viabilidad del estudio estuvo respaldada por un sólido recurso teórico, mediante una exhaustiva revisión de la literatura científica se logró sustentar la fundamentación conceptual y metodológica. La cáscara de mango, ofreció una fuente rica de compuestos naturales que fueron transformados en bioplásticos biodegradables. Además, proporcionó *insights* valiosos sobre el potencial comercial y aceptación del mercado a este tipo de bioplástico, contribuyendo al desarrollo de soluciones innovadoras en la gestión de residuos y sostenibilidad de los materiales.

En cuanto al recurso humano, se contó con un equipo de investigadores y colaboradores de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial y Unidad de Investigación de la Universidad Nacional

Hermilio Valdizán a cargo del Dr. Roger Estacio Laguna, director de la escuela, Dr. Juan Edson Villanueva Tiburcio, Doctor en Ciencias (Procesos Biotecnológicos) con Maestría en Ciencias en Microbiología e Inocuidad de Alimentos, Ingeniera Joana Milagros Bravo Romaina y el ingeniero Cesar Cueto. La diversidad de habilidades y conocimientos contribuyó a abordar los desafíos de manera integral y aportó una perspectiva enriquecedora al proceso investigativo. Asimismo, se promovió una comunicación fluida y colaboración activa entre los miembros del equipo, fomentando un ambiente de trabajo cooperativo y productivo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. INTERNACIONAL

Fernández y Gil (2023) en Colombia desarrollaron su investigación titulada: “Análisis de la viabilidad de una biopelícula fabricada a partir del almidón de la semilla del mango tommy para uso en ingeniería de tejidos”; con el objetivo de evaluar la viabilidad de una biopelícula fabricada a partir de residuos del procesamiento del mango Tommy (*Mangifera indica*). En su metodología, diseño experimental, donde aprovecharon las semillas del fruto para obtener los cotiledones y extraer almidón, mediante métodos físicos de separación como la tritución, filtrado, secado y verificación por microscopía óptica empleando colorante de Lugol. Con el almidón extraído realizaron pruebas para la fabricación de la biopelícula utilizando diferentes formulaciones de glicerina, ácido acético y agua destilada. Como resultados hallaron un bioplástico de apariencia uniforme, coloración marrón, flexible y resistente al tacto, el cual tuvo un espesor de 0.45 mm y un diámetro de 65 mm, aproximadamente. Concluyen que deben realizarse más pruebas biológicas para determinar las potenciales aplicaciones biomédicas de esta biopelícula.

Avendaño (2022) en Colombia, realizó su investigación denominada: “Evaluación de la síntesis de una película bioplástica a escala laboratorio a partir de residuos de mango (*Mangifera indica*)”, con el objetivo de evaluar la síntesis de una película bioplástica partiendo de residuos de mango (*Mangifera indica*) a nivel laboratorio. En su metodología de enfoque cuantitativo de ponderación y selección para encontrar el proceso óptimo para desarrollar el bioplástico esperado, y diseño experimental, para encontrar características comparables con los polímeros convencionales. Como resultados obtuvo 18 tipos

de películas de biopolímero, bastante flexibles o elastómeros, que no presentaron fallas frente a la aplicación de la fuerza máxima del equipo empleado; el almidón de mango extraído del cotiledón de la semilla tuvo el rendimiento más alto (22,901%) con la cantidad más alta (70%).

Acosta (2022) en Colombia, elaboró su tesis de investigación sobre: “Aprovechamiento de residuos de maracuyá (*Passiflora edulis*) y mango (*Mangifera indica*) para la elaboración de un bioplástico”, con el objetivo de desarrollar un biopolímero a partir de residuos de cáscara de mango y maracuyá. En su metodología, diseño experimental que utilizó el análisis termogravimétrico (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC), obteniendo biomateriales con estabilidad térmica entre los 150 y 200 °C. Entre sus resultados, el grosor de la película (1.5 mm y 1 mm) del prototipo C no soportó un peso de 200 g, el color estuvo influenciado por las condiciones del proceso y tipo de residuo; siendo más oscuras del mango. Concluyen que los bioplásticos sintetizados a partir de cáscaras de mango y maracuyá contaron con buenas propiedades mecánicas, para elaborar portavasos, transportavasos, pizarras, material aislante térmico para bebidas calientes y empaques de dulce deshidratados de fruta.

Cavalcanti et al. (2020) en Brasil, elaboraron su investigación sobre “Biodegradable Films Derived from Corn and Potato Starch and Study Effect of Silicate Extracted from Sugarcane Waste Ash” donde caracterizó los bioplásticos a base de almidón se produjeron mediante sus propiedades mecánicas, térmica, morfológicas. evaluó la resistencia a la tracción, elongación a la rotura, análisis de color, transparencia, opacidad, humedad, ensayo de biodegradación y microscopia electrónica de barrido (SEM). Como resultado del estudio se concluyó que la muestra de maíz y de papa con 5 ml de glicerol presentaron una resistencia a la tracción y alargamiento 0.73 MPa y 7,5 % maíz, 0,36 MPa y 3,4 % de papa. En cuanto a las propiedades

térmicas la degradación del almidón de papa fue de 140,39 °C y del bioplástico a base de almidón de maíz de 152,86 °C. Los bioplásticos a base de almidón de papa su biodegradación fue en 5 días, y los de almidón de maíz tardaron 40 días. Las imágenes SEM confirmaron que la plastificación y el procesamiento modificaron completamente la estructura de los almidones, que difiere completamente de los almidones nativos. Asimismo, recomendó que la solución de silicato de sodio obtenida de fuentes renovables se puede incorporar en bioplásticos a base de almidón para la producción de biodegradables envases con actividad antifúngica.

Ates y Kuz (2020) en Turquía, desarrollaron su investigación sobre “Starch-Based Bioplastic Materials for Packaging Industry” donde estudió la producción de bioplástico a partir de almidón de maíz con el glicerol para convertirlo en un material bioplástico. Analizaron espectroscopía FTIR, análisis termogravimétrico (TGA), microscopia electrónica de barrido (SEM) y análisis mecánicos para caracterizar los nanocompuestos de base bioplástica. Se utilizó diferentes cantidades de adición TiO₂ (1%, 3% y 5%) para obtener las condiciones óptimas para el material bioplástico. Como resultado del estudio se concluyó que el análisis SEM para el bioplástico del bioplástico con TiO₂ se observó una estructura ondulada y homogénea. El análisis de TGA bioplástico con TiO₂ es de 351,3 °C. Las propiedades mecánicas que se analizaron fueron la fuerza de tracción y el porcentaje de elongación del bioplástico con TiO₂ fue de 8.39 MPa y 62%. Asimismo, recomendó que la combinación de almidones de dos fuentes diferentes se pueda utilizar como alternativa en la producción de bioplásticos.

Proaño (2021) en Ecuador, elaboró su investigación sobre: “Obtención de una película a partir de cáscara de mango (*Mangifera indica*) para el uso en alimentos”, con el objetivo de elaboración de una película a partir de almidón de cáscara de mango (*Mangifera indica*). En su metodología, diseño

experimental para la obtención de la biopelícula realizaron ensayos de cuatro tratamientos con diferentes formulaciones de almidón, glicerina y agua añadiendo aditivos: carboximetilcelulosa (CMC), carbonato de calcio (Ca CO_3) y cloruro de calcio (Ca Cl_2) para mejorar las características de las películas. Una vez extraído y caracterizado el almidón, obtuvieron amilosa (26,81%) y amilopectina (73,19%). Utilizaron ANOVA para el análisis estadístico, que evidenció diferencias significativas nulas en el proceso de extracción de almidón con un rango de rendimiento entre 2,13% y 3,41%. Concluyen que, para un mejor cumplimiento de las normas en cuanto a la caracterización, pruebas de biodegradabilidad y recubrimiento en alimentos, deben de operar bajo el tratamiento denominado FB2; asimismo los mangos deben ser verdes, pues sus cáscaras contienen una mayor fuente de almidón y, a su vez sumergirlas en bisulfito de sodio para su desinfección y eliminación de taninos.

2.1.2. NACIONAL

Gallardo y Velasquez (2021) en Lima, desarrollaron su tesis sobre: “Elaboración de sorbetes biodegradables a partir de cáscara de *Mangifera indica* y *Vitis vinífera*” con el objetivo de elaborar sorbetes biodegradables a partir de cáscara de *Mangifera indica* y *Vitis vinífera* a partir del almidón y la celulosa. En su metodología, enfoque cuantitativo, aplicativo y diseño experimental puro. El análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los sorbetes biodegradables lo realizaron en un laboratorio certificado LABICER. Asimismo, utilizaron el SPSS para la verificación estadística de la encuesta y el nivel de aceptación de los sorbetes biodegradables. Con sus resultados demostraron que las cáscaras de *Mangifera* poseían mayor contenido de almidón (4,87) que *Vitis vinífera* (1,58); y mayor contenido de celulosa 12,77 que el *Vitis vinífera* (9,67) dando como resultado un bioplástico más duro y resistente; la tracción

(8,862), elongación (10,2) y dureza (10,7) de Mangifera fue menor al de Vitis vinífera (12,04; 8,8 y 43,4). En cuanto a las propiedades físicas el Mangifera fue de color amarillo oscuro, humedad (66,67%) y biodegradación (80%); el Vitis morado rojizo, humedad (60%) y 70% ambos en siete días. Concluyen que los sorbetes biodegradables son una gran solución frente a los convencionales, ya que estos su biodegradación fue en un plazo más corto y sus características son similares a los sorbetes de plástico, y se obtuvo un buen nivel de aceptación de los sorbetes por parte de los encuestados.

Sernaqué et al. (2020) en Lima, elaboraron su investigación titulada: “Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de Mangifera indica y Musa paradisiaca”, con el objetivo de analizar la biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de Mangifera indica y Musa paradisiaca. En su metodología, diseño experimental: elaboración del bioplástico y ensayo de biodegradabilidad. En la primera, elaboraron bioplásticos con distintos volúmenes de glicerol, para obtener características físicas desiguales. En segunda, utilizaron el humus de lombriz como medio de degradación de 1 a 4 semanas. Como resultados obtuvieron que el bioplástico elaborado con cáscara de mango tuvo una reducción del 93,06% en su peso inicial y elaborado con cáscara de plátano un 73,16%.%. Llegaron a la conclusión que la adición de glicerol para la preparación del bioplástico tiene una relación directa con la biodegradabilidad de la lámina; pues si se aumenta la cantidad de glicerol, aumenta la biodegradabilidad de las láminas.

Nazario et al. (2020) en Lima, desarrollaron su investigación sobre: “Reforzamiento de películas biodegradables de almidón de semilla de mango mediante la incorporación de extracto de piel de mango para su uso como envase activo”, con el objetivo de estudiar el efecto de la incorporación de extracto de piel de mango (EPM) sobre las propiedades de películas

biodegradables fabricadas a partir de almidón de semillas de mango y comprobar su potencial para ser usado en envasado activo. En su metodología, diseño experimental; las propiedades de las películas fabricadas fueron caracterizadas usando Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), Espectroscopía FTIR, cinética de absorción de agua y curvas Esfuerzo-Deformación. Los análisis FTIR confirman la formación de bioplástico de almidón por la presencia de los grupos funcionales O-H, C-H, C-O y O=H. Concluyen que al añadir EPM se logra un aumento en la rigidez de las películas, pero una disminución en la elasticidad, además de reducir la capacidad de absorber agua, evidenciando los beneficios de los residuos de mango y su potencial para su uso en la industria alimentaria como material para envase activo.

Anticona y Torres (2020), en Lambayeque, realizó un estudio titulado: “Efecto de la concentración de almidón de almendra de mango criollo (*mangifera indica* L.) en la obtención de películas”, con el objetivo de determinar el efecto de la concentración de almidón de almendra de mango criollo (*mangifera indica* L.) en la obtención de películas, por el cual se utilizó mango maduro, extrayendo harina y almidón de la almendra. En su metodología, diseño experimental a partir del cual usaron el método AOAC-2016 para identificar los grupos funcionales mediante la espectrofotometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). Posteriormente, elaboraron películas variando las concentraciones de almidón de 8, 10, 12, 14 y 16% en solución acuosa, con la adición de glicerina y ácido acético. Concluyen, la presencia de polímeros entre ellos carbohidratos con un 80.51%. La cantidad de almidón óptima en la solución formadora de películas corresponde a la formulación D (7 g de almidón, 3.50 ml de glicerina, 2.10 ml de ácido acético y 50 ml de agua). Las propiedades físicas y mecánicas óptimas corresponden a la película con formulación D, con un espesor de 246.667 μm , solubilidad de 42.584 ± 0.623 %, resistencia a la

tracción de 0.376 ± 0.083 MPa y elongación de rotura de 33.045 ± 3.829 %.

2.1.3. LOCAL

No se encontraron estudios similares

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. BIOPLÁSTICO

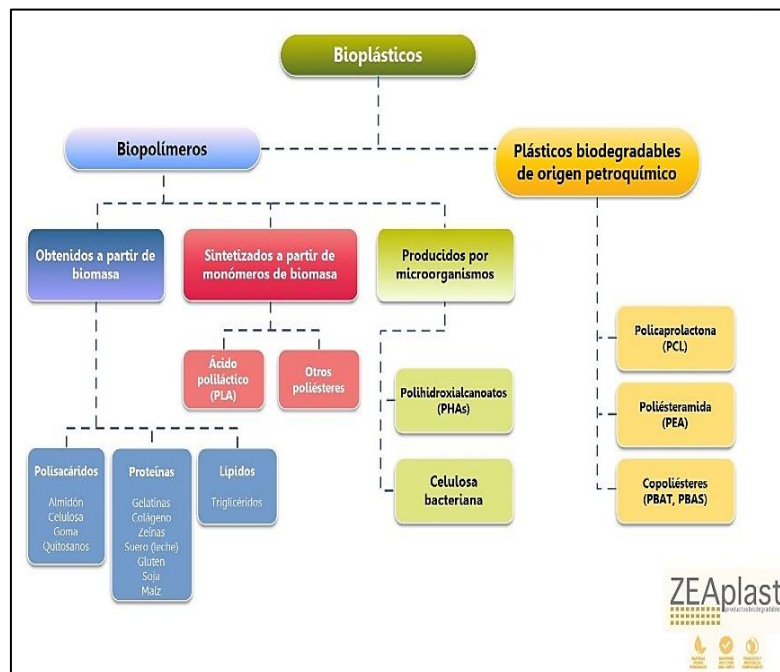
Los bioplásticos son materiales poliméricos de base biológica (total o parcialmente) o biodegradables, o ambos; que comúnmente se presentan como alternativas a los plásticos convencionales a base de petróleo, con daños menos graves en comparación con los plásticos convencionales. Son materiales elaborados a partir de fibras vegetales, materiales biológicos y materiales de desecho poliméricos que se descomponen más fácilmente en entornos naturales, lo que reduce los desechos plásticos y su impacto perjudicial en los ecosistemas (Atiweh et al., 2021).

Pueden ser manufacturados utilizando tecnologías similares a las aplicadas en los plásticos convencionales, como extrusión, inyección, soplado o termoformado. Se clasifican en tres grupos principales según su origen: bioplásticos procedentes de recursos renovables, que incluyen derivados de biomasa como almidón y celulosa; bioplásticos sintetizados biotecnológicamente, obtenidos mediante fermentación microbiana o polimerización de monómeros biotecnológicamente producidos; y polímeros biodegradables sintéticos derivados de monómeros fósiles. Sin embargo, una clasificación más rigurosa distingue entre bioplásticos derivados de fuentes fósiles y aquellos originados exclusivamente de materias primas naturales, denominados biopolímeros. Además de los mencionados, existen otros polímeros renovables menos comunes, pero de potencial interés: lignina, pectina, quitina, quitosano, hemicelulosa y proteínas de origen vegetal y animal,

que amplían las opciones sostenibles en el mercado de los materiales plásticos. (López-Velázquez et al., 2023)

Figura 1

Clasificación de Bioplásticos



Nota. La figura muestra la clasificación de Bioplásticos Llerena y Monzón (2017).

2.2.2. PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas están relacionadas con la naturaleza del material, constituyendo características esenciales que pueden ser medidas y cuantificadas. La densidad y la rigidez, son fundamentales para entender su comportamiento y aplicaciones. Estas propiedades son críticas en la selección de materiales para aplicaciones específicas, ya que afectan directamente la funcionalidad, durabilidad y eficiencia de productos en sectores como la ingeniería (Srihanam et al., 2023).

- **Color.** Es una propiedad perceptible por el ojo humano que describe la apariencia visual de objetos, pinturas, tintas de impresión y otros materiales. Se dividen en pigmentos, que son insolubles y se dispersan en el medio para impartir color, y tintes, que son solubles y se disuelven en el medio para teñirlo. Están organizados según un sistema de clasificación

conocido como el Índice de Colorantes (C.I.), que facilita la identificación y catalogación de diferentes pigmentos y tintes con números específicos para su referencia y aplicación en diversas industrias (Gauss, 2019). Se calcula mediante la fórmula:

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_{estandar} - L_{muestra})^2 + (a_{estandar} - a_{muestra})^2 + (b_{estandar} - b_{muestra})^2}$$

- **Espesor.** Se define como la distancia entre las dos caras opuestas de un objeto o material, generalmente en sentido perpendicular a la superficie, que afecta significativamente a sus propiedades físicas, como la distribución de la tensión y características. Se mide directamente con herramientas como micrómetros o calibres en unidades de longitud, como milímetros (mm) o micrómetros (μm). (Zhang , Cao, & Xi, 2024)
- **Densidad.** La densidad se refiere a la masa por unidad de volumen de un material, indicando su peso relativo y afectando aspectos como la flotabilidad y la facilidad de manejo (Vieira & Braga, 2020). Se calcula mediante la fórmula:

$$Densidad = \frac{masa}{volumen}$$

- **Humedad.** Cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera en un momento dado. Es crucial para entender las condiciones climáticas y meteorológicas. Se expresa típicamente como un porcentaje relativo a la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener el aire a una temperatura y presión específicas (Tschentscher et al., 2020). Se calcula mediante la fórmula:

$$Humedad (\%) = \left(\frac{W1 - W2}{W1} \right) \times 100$$

Donde:

W1: Peso húmedo de la muestra.

W2: Peso seco de la muestra.

- **Opacidad (O).** Es una propiedad óptica que describe la capacidad de un material para bloquear o restringir el paso de la luz a través de él. Un material opaco no permite la transmisión de luz, mientras que los materiales más transparentes dejan pasar la luz con mayor facilidad. La opacidad depende del espesor del material, su composición y su estructura interna. Se calcula a partir de la transmitancia (T), que es la proporción de luz que atraviesa la materia (Liwei & Guang-Hong, 2020). La fórmula es:

$$Opacidad (\%) = \left(\frac{A_{600nm}}{X} \right)$$

Donde:

A_{600nm} = absorbancia a 600 nm

X = es el espesor del bioplástico (mm)

- **Solubilidad.** Es la capacidad de una sustancia (solute) para disolverse en un solvente y formar una solución homogénea. Se expresa como la cantidad máxima de soluto que puede disolverse en una cantidad determinada de solvente a una temperatura específica, normalmente en unidades de gramos por litro (g/L) o moles por litro (mol/L). (Barrett, Yang, Skolnik, Belliveau, & Patros, 2022). La fórmula es:

$$Solubilidad biodegr(\%) = \left(\frac{W_0 - W_1}{W_0} \right) \times 100$$

Donde:

W_0 = Peso de muestra seca inicial.

W_1 = Peso de muestra no disuelta seca.

2.2.3. PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas reflejan la resistencia de un material al aplicar esfuerzos externos, evaluándose mediante ensayos mecánicos que someten el material a diversas fuerzas. La tracción y la elongación, son indicadores clave de su comportamiento bajo carga y deformación. Estas propiedades influyen significativamente en la selección y diseño de

bioplásticos para diversas aplicaciones industriales y de consumo, asegurando que puedan cumplir con requisitos específicos de resistencia y rendimiento mecánico (Tan et al., 2022).

- **Fuerza de ruptura en tensión.** Es la cantidad de fuerza máxima que un material puede soportar antes de romperse cuando se le somete a una carga de tensión (es decir, cuando se estira). Es un valor absoluto de fuerza, generalmente medido en Newtons (N) o kilonewtons (kN), y se refiere a la fuerza total aplicada sobre el material en el momento en que se produce la ruptura, calculada por el analizador de textura. (Pintaude, 2023)
- **Elongación.** La elongación, es la capacidad de un material para estirarse o deformarse antes de fallar, proporcionando información sobre su ductilidad y flexibilidad, expresada como un porcentaje de la longitud original de la muestra (karim et al., 2022). Se calcula como:

$$E (\%) = \left(\frac{Cf - Ci}{Ci} \right) \times 100$$

Donde:

ε (épsilon) = elongación (%).

$Cf - Ci$ (mm) = deformación según pico de fuerza.

Ci = longitud inicial (mm).

- **Fuerza de tracción.** Es la capacidad de un material para resistir fuerzas de tensión, mostrando cuánto puede estirarse antes de romperse. Es crucial en aplicaciones donde la resistencia y la durabilidad son importantes, como en envases y componentes estructurales (Rojas, 2022). La fórmula para calcular la tracción es:

$$TS = \frac{F}{h \times L}$$

Donde:

Fuerza es el pico de carga (N).

h = es el espesor de la tira (mm).

L = es el ancho de la tira (mm).

h y L = representa el área (m^2)

- **Fuerza de ruptura en punción.** Resistencia mecánica que presenta el bioplástico ante la perforación realizada por una sonda específica. La medición de punción evalúa la capacidad del material para resistir dicha fuerza hasta el punto de ruptura, proporcionando una medida del comportamiento mecánico del bioplástico a través de un Analizador de Textura (CT3 BROOKFIELD), que aplica una fuerza controlada sobre una muestra de bioplástico hasta que esta es perforada.

2.2.4. PROPIEDADES MORFOLÓGICAS

Características estructurales y superficiales observadas a través de microscopía electrónica de barrido (SEM). El SEM es una herramienta fundamental que involucra la evaluación de texturas, formas, y distribución de los componentes a escalas microscópicas, a fin de discernir la uniformidad, integridad y la interacción entre los materiales. Proporciona datos cuantitativos sobre el tamaño, forma y distribución de las fases, que son esenciales para comprender las propiedades y rendimiento de los materiales. (Makhtar, Hamed, & Hamdan, 2024)

2.2.5. BIODEGRADABILIDAD

Es la capacidad de una sustancia o material para descomponerse de manera natural en componentes más simples a través de la acción de microorganismos, como bacterias, hongos y otros organismos biológicos. Este proceso ocurre en condiciones ambientales favorables y transforma el material en compuestos como dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O), metano (CH_4), biomasa y otros subproductos que se reincorporan al ciclo natural sin causar daños significativos al entorno. La fórmula para calcular es:

$$\text{Biodegradabilidad (\%)} = \left(\frac{W_0 - W_t}{W_0} \right) \times 100$$

Donde:

W₀ = peso inicial de la muestra antes de secarse, antes del entierro

W_t = peso final de la muestra después del entierro y secado.

2.2.6. BIOPLÁSTICO A BASE DE CÁSCARA DE MANGO

El bioplástico a base de cáscara de mango es un material polimérico renovable y biodegradable, elaborado principalmente a partir de los residuos de la cáscara del mango. Este biopolímero utiliza la pectina como componente principal, que se extrae de la cáscara mediante técnicas como la hidrólisis ácida o la extracción asistida por microondas. La pectina actúa como agente formador y aglutinante, mientras que otros aditivos naturales o modificadores pueden ser incorporados para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. El bioplástico de cáscara de mango no solo ofrece una alternativa sostenible a los plásticos convencionales derivados del petróleo, sino que también contribuye a la valorización de los subproductos agrícolas y a la reducción de residuos. Su aplicación abarca desde envases biodegradables hasta materiales para empaques y productos desechables, promoviendo así prácticas más ecológicas y sostenibles en diversas industrias. (Bher et al., 2023)

- **Aditivos para mejorar las propiedades mecánicas del bioplástico**

La formulación óptima para películas bioplásticas a partir de quitosano y almidón de semilla de mango es una proporción de masa de quitosano a almidón de 1:1,17 y 15,86% de glicerol. Los bioplásticos de almidón de semilla de mango con 6% de nanopartículas de óxido de zinc y 25% de etilenglicol muestran una mejor morfología y dispersión de la superficie que aquellos con 0% de relleno y 100% de etilenglicol. Los bioplásticos reforzados con almidón de semilla de mango con un 6 % de arcilla y un 25 % de glicerol tienen una resistencia a la tracción de 5,657

MPa y un porcentaje de alargamiento a la rotura del 43,431%. (Amba et al., 2023)

2.2.7. MANGO (*Mangifera indica*)

a) Descripción general

Originario del noroeste de la India, fue llevado a Sudamérica durante la conquista española, convirtiéndose en uno de los frutos más cultivados del mundo por su importancia económica y nutricional. Es el tercer fruto más producido en países tropicales. En India, ha sido una fuente crucial de nutrientes y su cultivo se extendió al sureste de Asia y el archipiélago Malayo. En el siglo XVI a.C., llegó al sur de África, y en el siglo XVIII, a las islas Canarias y Madeira. Su cultivo se extendió a EE. UU. (Florida y Hawái), Australia e Israel en el siglo XIX. Llegó al mundo occidental a través de las rutas marítimas portuguesas al Lejano Oriente en el siglo XVI, pero fueron los españoles quienes lo introdujeron en sus colonias americanas y en sus viajes a Filipinas y la costa oeste de México en los siglos XV y XVI. (Lubis et al., 2020)

b) Descripción botánica

Su árbol crece verticalmente y puede alcanzar alturas de 10 a 30 metros, con una corona amplia y redondeada. Sus hojas lanceoladas miden entre 10 y 32 cm de largo, y las flores, de color verde amarillento, se producen en las ramas finales, midiendo entre 0,2 y 0,4 cm de largo y 0,5 a 0,7 cm de diámetro. Sus frutos son drupas carnosas, variado en forma, tamaño, color y calidad, pudiendo ser casi redondos u ovalados, con tamaños de 6,25 a 25 cm de largo y un peso entre 1,8 y 2,26 kilogramos. (Maulida et al., 2018)

c) Taxonomía

Tabla 1

*Clasificación taxonómica del mango (*Mangifera Indica*)*

Taxonomía	
Reino	Plantae

División	Magnoliophyta
Subdivisión	Magnoliophytina
Clase	Rosidae
Orden	Sapindales
Familia	Anacardaceae
Género	Mangifera
Especie	Mangifera indica L.

Nota. La tabla muestra la clasificación taxonómica del mango (*Mangifera Indica*). (Maulida et al., 2018).

d) Morfología

Algunas características morfológicas de la planta de mango son:

Hojas:

- Las hojas son simples, alternas, lanceoladas y de color verde oscuro.
- Tienen un peciolo corto y una lámina coriácea.
- Las hojas jóvenes suelen ser de color rojo o púrpura.

Flores:

- Son pequeñas, con cinco pétalos y cinco sépalos.
- Generalmente, se agrupan en panículas terminales.
- Pueden ser de color blanco, amarillo o rosado.

Fruto:

- Es una drupa de forma ovoide o redondeada.
- Presenta una piel delgada y suave, de color verde, amarillo o rojo.
- La pulpa es jugosa, dulce y de color amarillo o anaranjado.
- Dentro del fruto se encuentra una semilla plana y alargada, conocida como hueso o carozo.

Sistema radicular:

- Tiene un sistema radicular profundo y extenso.
- Cuenta con una raíz principal pivotante y numerosas raíces secundarias.

Tallo:

- El tronco del mango es más o menos recto y cilíndrico.

- Diámetro de 75-100 cm y una corteza de color gris.
- La corona del árbol es densa y ligeramente ovalada o globular.
- Las ramas son gruesas y robustas, con grupos alternos de entrenudos largos y cortos.

Raíz:

- Posee una raíz principal larga que se ramifican en dos y cuatro raíces profundas, alcanzan los 6 metros de longitud.
- Las raíces secundarias se concentran en el primer metro de profundidad y se extienden siguiendo el diámetro de la copa del árbol.
- La distribución de las raíces finas varía según la estación y la humedad del suelo (Lebaka et al., 2021).

Figura 2

Morfología de planta de mango (Mangifera Indica)



Nota. La figura muestra la Morfología de planta de mango (*Mangifera Indica*). Agro krebs (2022).

e) Morfología Anatómica

El mango es una drupa con un endocarpio fibroso que rodea la semilla, ofreciendo protección y soporte estructural. Las fibras del endocarpio se extienden por el fruto, contribuyendo a su textura característica. El pericarpio del mango se divide en tres capas: el exocarpio, que es la piel exterior del fruto; el mesocarpio, que es la pulpa carnosa y comestible, rica en nutrientes y azúcares;

y el endocarpio, que envuelve la semilla. La semilla está contenida dentro de una testa dura, que es la capa externa protectora. Dentro de la testa, se encuentran los cotiledones, que son las estructuras que almacenan nutrientes esenciales para la germinación de la planta (Paul et al., 2019).

Figura 3

Morfología del mango (Mangifera Indica)



Nota. La figura muestra la morfología del mango (*Mangifera Indica*).

Agroquímicos Arca (2022).

f) Composición química

La biomasa del mango es una valiosa fuente de carbohidratos, incluyendo fibra soluble (29%) e insoluble (27%), que ayudan a reducir los niveles de colesterol y glucosa en la sangre, así como los triglicéridos en el plasma. Además, favorecen la eliminación de ácidos biliares y el crecimiento de la flora bacteriana. Contiene azúcares como sacarosa (5%), fructosa (2%) y glucosa (0.5%), almidón (0.3%) y pectina (15-32%) (Mwaurah et al., 2020).

Tabla 2

Composición nutricional de 100 gr de pulpa de mango fresco

Composición	Valor
Agua	83,4gr.
Proteína	0,8gr.
Lípidos totales	0,4gr.
Fibra dietética total	1,6gr.
Azúcares	13,6gr.

Ácidos grasos poliinsaturados	0,07gr.
Ácidos grasos monoinsaturados	0,1gr.
Beta-caroteno	640ug.
Alfa-caroteno	9ug.
Ácido ascórbico	36.4mg.

Nota. La tabla muestra la composición nutricional de 100 gr de pulpa de mango fresco. Pacheco et al. (2023).

Tabla 3

Propiedades fisicoquímicas de pulpa de mango fresco

Parámetro	Pulpa de mango
PH	4,0 – 5,6
Azúcares totales (%)	10,5 – 18,5
Acidez titulable expresada en ácido cítrico (%)	0,327

Nota. Propiedades fisicoquímicas de pulpa de mango fresco. Pacheco et al. (2023)

Tabla 4

Cantidad de vitaminas y minerales de la pulpa de 100 gr de mango fresco

Vitaminas y minerales	Cantidad
Vitamina A (UI)	1082mg.
Vitamina B6	0,12mg.
Tiamina	0,03mg.
Riboflavina	0,04mg.
Niacina	0.67mg.
Calcio (Ca)	11mg.
Hierro (Fe)	0,16mg.
Magnesio (Mg)	10mg.
Fósforo (P)	14mg.
Potasio (K)	168mg.
Sodio (Na)	1mg.
Zinc (Zn)	0,09mg.

Nota. La tabla muestra la cantidad de vitaminas y minerales de la pulpa de 100gr de mango fresco. Pacheco et al. (2023).

g) Siembra y cosecha

Actualmente, Perú cuenta con más de 30,000 hectáreas dedicadas al cultivo de mango, predominando la variedad Kent en la producción nacional. El clima de la costa norte, especialmente en Piura, es ideal para su cultivo. En 2020, la producción nacional alcanzó 497.5 millones de toneladas, con picos en enero y diciembre. Aunque la producción de mango se extiende por casi todo el país, los mayores índices se registran en la costa norte (Piura y Lambayeque). La superficie agrícola cultivada en Perú es de 4,155,678 hectáreas, de las cuales el 0.94 % es destinada al mango. Actualmente, se estima que hay entre 29,000 y 30,000 hectáreas de mango, con la variedad Kent siendo la más predominante (Instituto Nacional de Innovación Agraria , 2022) La producción de mangos se concentra en dos periodos específicos: el primer y el último trimestre del año. Este fruto requiere de un clima cálido, con al menos un mes de diferencia entre las lluvias y la sequía, para estimular la floración. La temperatura juega un papel crucial en la maduración del mango; si aumenta, la maduración se acelera. Sin embargo, las lluvias pueden ser perjudiciales, ya que incrementan la humedad relativa y favorecen la propagación de hongos en los campos de cultivo. El mango se considera un cultivo permanente, cultivándose durante todo el año y requiriendo temperaturas entre 24 y 28 °C para una producción óptima, aunque puede tolerar mínimas de 17 °C. La cosecha comienza cuatro años después de la siembra o injerto, dando inicio a la producción comercial, con una vida útil técnica de hasta 15 años.

h) Principales productores

Tabla 5

Principales productores de mango (Mangifera Indica)

Región	Cantidad
Piura	373,097.00 t.
Lambayeque	52,845.00 t.
Cajamarca	10,371.19 t.
Ancash	10,682.00 t.
Ica	7,409.84 t.
Lima	5,761.80 t.

Nota. La tabla muestra los principales productores de mango (*Mangifera Indica*). (Instituto Nacional de Innovación Agraria , 2022)

i) Principales variedades

Tabla 6

Principales variedades de mango (Mangifera Indica)

Variedad	Sabor	Características
Haden	Mantecoso, con matices aromáticos.	Textura: La pulpa es firme con fibras delgadas. Color: Rojo vivo con tonalidades verdes y amarillas. Forma: Tamaño mediano a grande y forma ovalada a redonda. Maduración: Las áreas verdes del mango se tornan amarillas. Principal país: México. Disponibilidad pico: Abril y Mayo.

Kent	Dulce y mantecoso. Adecuado para jugo y mango deshidratado.	Textura: Pulpa jugosa y tierna con poca fibra. Color: Verde oscuro y algunos matices rojizos oscuros. Forma: Grande ovalada. Maduración: Matices amarillos oscuros que se van extendiendo por toda la cáscara. Principal país: México, Ecuador, Perú. Disponibilidad pico: Enero-marzo y junio- agosto
		Textura: Pulpa firme con fibras delgadas. Color: Rojizo oscuro con matices verdes y anaranjados. Forma: Oval de tamaño moderado a grande. Maduración: Será necesario manipular la fruta para evaluar su madurez. Principal país: México, Guatemala, Brasil, Ecuador y Perú. Disponibilidad pico: Marzo- julio y octubre-enero
Tommy Atkins	Dulce y suave. Variedad comercial con mayor producción en los Estados Unidos	Textura: Pulpa jugosa, baja en fibras. Color: El color puede variar de rosa a amarillo-naranja. Forma: Redonda u oblonga. Maduración: Color verde con matices rosados. Disponibilidad pico: Octubre a diciembre

Nota. La tabla muestra las principales variedades de mango (*Mangifera Indica*) (Instituto Nacional de Innovación Agraria , 2022).

j) **Cáscara de mango**

Es gruesa y su color varía según el estado de maduración, pasando de verde claro en la fruta inmadura a tonos amarillos, rosados, rojos y violetas en la fruta madura. Contiene lenticelas, que permiten el intercambio gaseoso. La caracterización fisicoquímica del mango está influenciada por su proceso de maduración. Durante este proceso, el contenido de almidón disminuye y se observan cambios en los aromas, sabores, colores y componentes. A medida que el mango madura, su color cambia de verde a amarillo, su textura se suaviza, y se produce una hidrólisis del almidón. También hay cambios en el pH, un aumento de sólidos solubles y una disminución de la acidez (Marcal & Pintado, 2021).

La cáscara del mango Ataulfo, que representa el 14% del peso del fruto, contiene alrededor del 20% de pectina y es rica en vitaminas A y C, además de otras vitaminas en menor proporción. Su alto contenido antioxidante, medido como RSA (Radical Scavenging Capacity), y los ácidos gálicos (61%), protocatéico (35%), clorogénico (28%) y vanílico (11%), están relacionados con la prevención de enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer. También es una fuente de taninos, ácidos orgánicos, y antioxidantes como la vitamina C y E, carotenoides, fenoles, y minerales como hierro, fósforo, calcio, potasio y magnesio. Además, contiene mangiferina, un compuesto utilizado en cosméticos, nutrición y medicina, que ha demostrado tener propiedades antioxidantes, antivirales, antitumorales e inmunomoduladoras en animales. Un extracto etanólico de cáscara de mango muestra altos contenidos de diversos ácidos y compuestos beneficiosos ($19.8 \pm 0.31 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), procianidina B2 ($12. \pm 0.61 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), ácido caféico ($11.4 \pm 0.08 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), ácido gálico ($7.0 \pm 0.57 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), ácido oleanólico ($3.0 \pm 0.25 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) y

aldehído vanílico (0.55 ± 0.04 mg·kg⁻¹) (Suleria et al., 2020).

k) Pectina de cáscara de mango

Es un polisacárido complejo que se encuentra en las paredes celulares de las plantas. Constituye una fuente significativa de fibra dietética, representando entre el 15% y el 32% de su composición. Es conocido por sus propiedades gelificantes, emulsionantes y estabilizadoras, lo que lo hace valioso en la industria alimentaria para la elaboración de mermeladas, jaleas y otros productos procesados. Además, posee beneficios nutricionales, como la capacidad de reducir los niveles de colesterol y glucosa en la sangre, y promover la salud intestinal. Su extracción y uso no solo aprovechan un subproducto de la industria del mango, sino que también contribuyen a la sostenibilidad al reducir el desperdicio de alimentos. (Guo et al., 2023)

La extracción de pectina de la cáscara de mango, se extrae mediante dos métodos de extracción: convencional y de control de fase asistida por microondas (PCEAM). El método PCEAM, operando a 500 W, logra un mayor rendimiento de pectina (10.5%) en comparación con el método convencional (8.8%). Este hallazgo sugiere que el uso de microondas bajo condiciones controladas puede mejorar significativamente la eficiencia de extracción de pectina de la cáscara de mango, destacando la viabilidad de esta técnica para aplicaciones industriales y farmacéuticas que requieren altos rendimientos de extracción con métodos rápidos y eficientes. (Quispe, 2024)

Existen diversas técnicas de extracción de pectina de la cáscara de mango, incluyendo métodos convencionales como la hidrólisis ácida y técnicas avanzadas como la extracción asistida por microondas (EAM). La extracción por hidrólisis ácida, utilizando ácidos como sulfúrico,

fosfórico o cítrico a temperaturas cercanas a los 100 °C durante varias horas, es común en la industria, pero, puede degradar la pectina debido a la alta temperatura y tiempo prolongado. En contraste, la EAM emplea radiación de microondas para reducir el tiempo de extracción y mejorar el rendimiento de la pectina, manteniendo su calidad con respecto al grado de esterificación y contenido de grupos metoxilo. Esta técnica ofrece ventajas como el uso eficiente de solventes y un control preciso de parámetros como tiempo y temperatura, factores cruciales para la eficacia de la extracción. Los resultados de distintos estudios que caracterizan la pectina extraída de diversas variedades de mango, destacan variaciones significativas en el rendimiento y calidad de la pectina según el cultivar y el método de extracción utilizado; además de diferentes factores: madurez del fruto y condiciones de extracción influyen en las propiedades físico-químicas de la pectina. (Picot-Allain et al., 2022)

Tabla 7

Contenido de pectina de mango y sus métodos de extracción

Materia prima	Pectina	Método de extracción
Cáscara de mango	26,3	Hidrólisis ácida
Cáscara de mango	31,8	Hidrólisis ácida/oxalato de amonio

Nota. La tabla muestra el contenido de pectina de mango y sus métodos de extracción pectina (Picot-Allain et al., 2022) .

I) Método de extracción

En el proceso de hidrólisis de biomasa, se utilizan diferentes métodos para descomponer los polímeros en azúcares simples, que luego pueden ser fermentados por

microorganismos. La hidrólisis química, incluyendo variantes ácidas como el ácido sulfúrico diluido, y alcalinas con hidróxido de sodio o calcio, descompone celulosa y hemicelulosa, aunque generan subproductos que pueden inhibir la fermentación. En contraste, la hidrólisis enzimática, que utiliza celulasas como endoglucanasas y β -glucosidasas para descomponer celulosa en glucosa, es más selectiva y se realiza en condiciones suaves, aunque no permite la recuperación de enzimas, lo que eleva los costos. Este método es preferido por su efectividad y por no generar subproductos inhibidores en grandes cantidades, facilitando así la producción de azúcares fermentables a partir de biomasa lignocelulósica. La hidrólisis ácida es preferida en muchos estudios debido a su relativa sencillez y control de parámetros, permitiendo obtener azúcares fermentables de manera eficiente a partir de biomasa lignocelulósica para aplicaciones en biocombustibles, productos químicos verdes, y otros fines industriales y biotecnológicos. (Valdivieso et al., 2021)

2.2.8. ESCALA DE LABORATORIO

Es un instrumento de medición utilizado para determinar el peso o masa de objetos con precisión en un entorno controlado. Este dispositivo consta de una plataforma donde se colocan los objetos a medir y un mecanismo de medición que puede ser analógico o digital, capaz de mostrar el valor exacto en unidades de masa, como gramos o kilogramos. Son esenciales en diversas disciplinas científicas y técnicas, permitiendo realizar experimentos, análisis químicos y físicos con precisión. Además, son fundamentales para la preparación de soluciones, dosificación de reactivos y medición de muestras en investigaciones biomédicas, ambientales, químicas y farmacéuticas. Su calibración periódica y el manejo adecuado son cruciales para asegurar la exactitud y reproducibilidad de los

resultados experimentales, garantizando así la validez y fiabilidad de los datos obtenidos en el laboratorio. (Assuncao et al., 2021)

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- a) **ALMIDÓN:** El término almidón alude a un carbohidrato que funciona como reserva de energía en la mayoría de los vegetales. Se trata de un polisacárido: un hidrato de carbono que se compone de una cadena extensa de monosacáridos. Los monosacáridos, por su parte, son polialcoholes que tiene un grupo extra cetónico o aldehídico. (Pérez Porto & Merino, 2022)
- b) **FIBRA:** La fibra es un componente vegetal que contiene polisacáridos y lignina y que es altamente resistente a la hidrólisis de las enzimas digestivas humanas. La fibra tiene un papel fundamental en la defecación y en el mantenimiento de la microflora del colon. (Plus, 2024)
- c) **OPACIDAD:** Opacidad es el nombre que recibe la característica de opaco. El término, que deriva de la lengua latina (*opacitas*), está vinculado a la propiedad de los materiales que bloquean gran parte de la luminosidad. (Pérez Porto & Merino, 2023)
- d) **HIDROCOLOIDES:** Los hidrocoloides conocidos coloquialmente como gomas son macromoléculas de carbohidratos neutros o sus formas ácidas u oxidadas, algunos con fracciones proteicas y otros con grupos químicos esterificados en los azúcares ácidos. (Group, 2024)
- e) **BIOPOLÍMERO:** Los biopolímeros son materiales con propiedades fisicoquímicas y termoplásticas comparables a los polímeros derivados del petróleo, pero con la ventaja crucial de biodegradarse tras su disposición. (Flórez et al., 2023)
- f) **BIODEGRADACIÓN:** La biodegradación es la disolución química de los materiales por bacterias u otros medios biológicos. El término se utiliza a menudo en relación con la ecología, la gestión de residuos, la biomedicina y el medio ambiente y es ahora comúnmente asociados con los productos respetuosos del medio

ambiente que son capaces de descomponerse nuevamente dentro de los elementos naturales. (BIOCOLPOM CHILE, 2024)

- g) **BIOMASA:** La biomasa es una fuente de energía renovable que se obtiene a partir de la materia orgánica, como los residuos forestales, agrícolas y urbanos, así como los cultivos energéticos. (Climate CONSULTING, 2024)
- h) **BIOPLÁSTICO:** Los bioplásticos son materiales plásticos y refuerzos procedentes de fuentes renovables naturales como lino, yute, cáñamo, residuos agrícolas, celulosa, etc.; bioplásticos sintetizados por vía biotecnológica o a partir de biomonomeros o bien, plásticos biodegradables. (AIMPLAS, 2024)
- i) **PLÁSTICO:** El término plástico se refiere a una amplia gama de compuestos sintéticos o semisintéticos producidos por una reacción de polimerización o condensación. Los plásticos producidos por estas reacciones son maleables y pueden moldearse o extruir para formar objetos o películas, o utilizarse en la fabricación de otros productos, como revestimientos y adhesivos. (WasteTrade, 2024)
- j) **POLÍMERO:** La palabra polímero proviene del griego y su significado es (muchas partes). En términos químicos, los polímeros son macromoléculas, que son moléculas grandes, formadas por una o más moléculas más pequeñas, conocidas como (monómeros). (SINTAC, 2024)
- k) **ECONOMÍA CIRCULAR:** La economía circular es un modelo de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido. De esta forma, el ciclo de vida se extiende. (EUROPARL, 2024)

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Hi1. Las propiedades físico-mecánicas y morfológicas son adecuadas de los bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*) a escala laboratorio, Huánuco – 2024.

Ho. Las propiedades físico-mecánicas y morfológicas no son adecuadas de los bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*) a escala laboratorio, Huánuco – 2024.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Hi. Existe diferencias de biodegradación de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango, el plástico compostable y plástico convencional.

Ho. No existe diferencias de biodegradación de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango, plástico compostable y plástico convencional.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Cáscara de mango (*Mangifera indica*).

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Propiedades físico-mecánicas y morfológicas de bioplásticos.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	Definición conceptual	Definición operacional	DIMENSIÓN	Indicador	Unidad de medida	Tipo de Variable y escala	Instrumento	
Variable Independiente	Cáscara de mango (<i>Mangifera indica</i>)	Cubierta exterior caracterizado por su grosor y variación de colores, rica en fibras y compuestos bioactivos (Conti et al., 2021).	Se caracterizará el mango mediante la composición química y la procesabilidad mediante métodos y pruebas.	Procesabilidad	Homogenización	Uniformidad	Cuantitativa continua Escala: proporcional	Ficha de registro para elaboración del bioplástico a partir de cáscara de mango (Gallardo & Velasquez, 2021)
				Caracterización	Humedad	%		
					Materia seca	%		
						Fibra	%	
				Variable dependiente	Son características que determinan su comportamiento bajo la aplicación de fuerzas y condiciones físicas y	Se medirá la densidad, rigidez, resistencia a la tracción y elongación a	Propiedades físicas	
Espesor	(mm)							
Densidad	g/cm3							
Opacidad	(%)							
Humedad	(%)							
Solubilidad	(%)							

Propiedades físico-mecánicas y morfológicas	morfológicas (Bezirhan et al., 2021).	través de ensayos.	Propiedades mecánicas	Resistencia de	(N)	Cuantitativa continua Escala: Proporcional.	(Gallardo & Velasquez, 2021)
				ruptura en			
				tensión			
				Elongación	(%)		
	Fuerza de tracción	(MPa)					
	Resistencia de	(N)					
	ruptura en						
	punción						
Propiedades morfológicas			Estructura	x100 – x1000	Cuantitativa continua Escala: Proporcional.	SEM	
Biodegradación			Días	(%)	Cuantitativa continua Escala: Proporcional.	Ficha de registro para el análisis del tiempo de biodegradación (Gallardo & Velasquez, 2021)	

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se empleó una investigación de tipo aplicado y prospectivo. Este enfoque aplicado se centró en solucionar un problema práctico, como la creación de un bioplástico sostenible. Fue prospectiva porque se recolectaron datos primarios mediante experimentos específicos y mediciones propias. Además, fue Longitudinal porque se realizaron medidas repetidas a la muestra para evaluar la caracterización, las propiedades físico- mecánicas del bioplástico y la biodegradación. Esto permitió validar la viabilidad del material en condiciones específicas y establecer una base de datos precisa para futuras investigaciones (Supo, 2024) .

3.1.1. ENFOQUE

Según Hernández y Mendoza (2018) la investigación fue cuantitativo. Este enfoque se caracteriza por la recolección y análisis de datos numéricos, permitiendo establecer patrones, probar teorías y hacer predicciones. En este caso, se midieron propiedades físico-mecánicas y morfológicas del bioplástico a base de cáscara de mango, utilizando métodos experimentales y ensayos controlados. Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente para determinar la eficacia del bioplástico. Fue adecuado porque ayudó a buscar resultados objetivos y replicables, necesarios para validar científicamente la viabilidad del material desarrollado. Además, permitió comparar los resultados con estándares establecidos y otros materiales similares.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

El nivel de la investigación fue explicativo, porque se centró en identificar las causas y efectos de los fenómenos estudiados, permitiendo entender por qué ocurrieron y cómo se relacionaron. En este caso, se investigó cómo la extracción y utilización de la

cáscara de mango afecta las propiedades del bioplástico resultante. Se analizaron las variables implicadas y se buscó establecer relaciones causales entre el proceso de fabricación y propiedades finales del bioplástico. Fue adecuado porque se buscó no solo describir las características del bioplástico, sino también entender los mecanismos que influyen en su desempeño (Hernández & Mendoza, 2018).

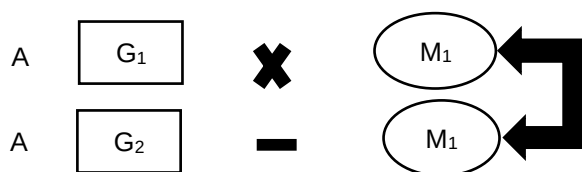
3.1.3. DISEÑO

Para la investigación se empleó un diseño cuantitativo experimental puro, porque cumplió con los tres requisitos indispensables de la metodología propuesta por Hernández y Mendoza (2018). Primero, la manipulación deliberada de la variable independiente: cáscara de (*Mangifera indica*). Segundo, se midió la variable dependiente: propiedades físico-mecánicas y morfológicas. Tercero, se controló la situación experimental para evaluar la validez interna de la cáscara de mango.

El grado de manipulación de la variable independiente fue: Presencia-ausencia), porque implicó la intervención deliberada y controlada del material principal (*Mangifera indica*) en la fabricación de los bioplásticos. Al manipular esta variable, se buscó evaluar cómo la inclusión o exclusión de las cáscaras de mango afectaron las propiedades de los bioplásticos resultantes. Asimismo, permitió comparar directamente los efectos de utilizar o no las cáscaras, controlando otros factores que podrían influir en los resultados. La presencia de la variable independiente facilitó la observación de sus efectos específicos sobre los bioplásticos y contribuyeron a determinar la viabilidad y potencial de este material en aplicaciones biodegradables. Se utilizó el diseño con posprueba únicamente y grupo de control:

Figura 4

Estructura diseño con posprueba únicamente y grupo de control



Nota. La figura muestra la estructura diseño con posprueba únicamente y grupo de control. (Hernández & Mendoza, 2018).

Donde:

A: Asignación al azar o aleatoria.

G: Grupo de casos.

G₁, Grupo 1: Experimental: bioplástico con cáscaras de mango.

G₂, Grupo 2: De control: bioplástico testigo, plástico compostable y convencional.

X: Condición experimental.

M : Medición de los casos.

—: Ausencia de estímulo.

↺: Comparación de mediciones.

Se asignaron aleatoriamente dos grupos: experimentales y de control, donde el grupo experimental estuvo conformado por el bioplástico con cáscaras de mango, mientras que el grupo control por el plástico convencional y compostable. Se analizaron las propiedades de los bioplásticos, así como su proceso de elaboración y tiempo de biodegradación, para evaluar los efectos de las variables independientes sobre los resultados obtenidos. Este enfoque aseguró la validez interna del estudio al controlar variables externas y permitió establecer relaciones de causa-efecto entre las variables manipuladas y resultados observados.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

2 kilos de mango (*Mangifera indica*).

Variedad: mango papaya – índice de madurez: 2 (verde).

3.2.2 MUESTRA

400 g cáscara de mango (*Mangifera indica*).

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1 PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Se utilizaron dos técnicas para proporcionar una perspectiva integral y rigurosa del desarrollo y evaluación de los bioplásticos.

La técnica de observación fue fundamental porque permitió registrar directamente el proceso de elaboración de los bioplásticos, observando detalladamente cada etapa y sus resultados. Facilitó la captura de datos específicos sobre las propiedades durante la fabricación y comportamiento posterior. Asimismo, se pudieron identificar aspectos críticos como la textura de la mezcla y tiempo de degradación.

El análisis documental complementó la observación al proporcionar antecedentes teóricos y datos científicos previos sobre el uso de bioplásticos de cáscaras de mango en investigaciones similares. A través de la revisión de literatura especializada, informes técnicos y documentos académicos se pudo validar la viabilidad y posibles limitaciones de la investigación, también entender mejor las propiedades de los materiales involucrados.

Durante la ejecución, los datos se recolectaron en el laboratorio de Ingeniería Agroindustrial de la UNHEVAL y del laboratorio CITEAGROINDUSTRIAL UT AMBO según las actividades establecidas.

La investigación tuvo una duración de 3 meses, iniciados en el mes de julio hasta el mes de setiembre del 2024, como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 8

Duración de las actividades del proceso de obtención de cáscara de mango

Actividades	Etapas	Inicio	Término
-------------	--------	--------	---------

Obtención de la cáscara de mango.	Etapa 1: Obtención de la materia prima.	12/07/2024	14/07/2024
Elaboración de películas de bioplástico de cáscara de mango.	Etapa 2 Elaboración del bioplástico.	15/07/2024	26/07/2024
Realización del bioplástico.	Etapa 3 Realización del bioplástico	29/07/2024	31/07/2024
Caracterización y evaluación de propiedades físico-mecánicas y morfológicas.	Etapa 4: Caracterización del extracto de la cáscara de mango. Evaluación de propiedades físicas. Evaluación de propiedades mecánicas. Evaluación de propiedades morfológicas.	01/08/2024	10/09/2024
Evaluación de la biodegradación	Determinación del porcentaje de biodegradación del plástico convencional, compostable y cáscara de mango (MT – 5% - 10% - 15%).	21/08/2024	17/09/2024

Nota. La tabla describe las cuatro etapas realizadas con sus respectivas actividades y fechas que tomaron desde el inicio a término .

a) INSTRUMENTOS

Instrumentos de laboratorio

Materiales

- Tubo falcon 50 ml. (JOANLAB)
- Probeta de 50 ml y 25 ml (ISOLAB – BORO 3.3).
- 26 placas Petri (NORMAX).
- Vasos precipitados de 1000 ml (1), 600 ml (1), 500 ml (1), 250 ml (2), 100 ml (12), 80 ml (1) y 50 ml (1). (ISOLAB – BORO 3.3) - (KINTEL) (DURAN).
- Tips de 0.1 a 5 ml, 50 a 1000 µl, 2.0 a 200 µl (PARALWALL).

- Micropipeta de 10 a 100 μ l (PLURIPET) y 1000 a 5000 μ l (INTLLAB).
- Cuvettes (13) (Spectrophotometer – polystyrene) de 1.5 a 3.5 ml (ISOLAB).
- Desecador de vidrio con placa de porcelana 240 MM-BORO 3.3 – 350-KN
- Espátula de acero inoxidable de 15 cm (CALENDULA).
- Piseta de 500 ml (VIREZA).
- Pinza metálica.
- Pastilla magnética de 8 mm x 30 mm (JOANLAB)
- Discos de carbón.
- Portamuestra (TED PELLA, INC).
- Jeringa de 5 ml (SEGURIMAX).
- Stretch film.
- Algodón de 100 g.

Materia biológica

- Cáscara de mango (2 kilos)

Equipo

- Agitador magnético MS-H280-PRO (DLAB).
- Balanza analítica compacta HR-250AZ, de 0.1 – 252 g (GALAXY - A&D).
- Balanza portátil SCOUT™ STX de 2.200 X 0.01 g (OHAUS).
- Colorímetro CR-400 (KONICA MINOLTA).
- Estufa MMM (ECOCELL).
- Texturómetro (CT3 BROOKFIELD).
- Espectrofotómetro (Genesys™ UV-Vis 150 Thermo Scientific™).
- Refrigerador RI-7890 D (INDURAMA).
- Micrómetro digital de cabezal plano: 0-12.7 mm/0.5 x 0.001 mm/0.00005. (PROMEQ).
- Microscopio de barrido (SEM) (Thermo Cientific PRISMA E (Ultradry).
- Licuadora (OSTER)

Reactivos

- Agua destilada
- Glicerina
- Ácido acético
- Aceite esencial de canela.

b) Instrumentos de evaluación

Se utilizará tres instrumentos, desarrollados por Gallardo y Velasquez (2021) los cuales fueron adaptados y modificados ligeramente a la realidad del estudio.

- Ficha de registro para elaboración del bioplástico a partir de cáscara de mango (*Mangifera Indica*). Este instrumento permitió registrar las cantidades exactas de ingredientes utilizados, como maicena, vinagre blanco, glicerina, limón, agua destilada y canela. Al proporcionar un registro sistemático y detallado, esta ficha ayudo a asegurar la reproducibilidad del experimento y a identificar cualquier variación que pueda afectar la calidad del bioplástico. De esta manera, facilitó el análisis y mejora continua del proceso de elaboración, contribuyendo a obtener un bioplástico de alta calidad y consistencia.
- Ficha de registro para el análisis de las propiedades físico-mecánicas del bioplástico de cáscara de mango. Conformado por tres dimensiones: propiedades físicas y mecánicas. Se utilizó para documentar y evaluar de manera sistemática las características presentes en el bioplástico como la resistencia a la tracción, elongación, dureza, condiciones de prueba, color, humedad, etc. Este marco estructurado facilitó el análisis comparativo con otros bioplásticos y materiales convencionales, permitiendo validar la efectividad del bioplástico en aplicaciones prácticas.

- Ficha de registro para el análisis del tiempo de biodegradación de bioplástico de cáscara de mango (*Mangifera Indica*). Se utilizó para documentar y evaluar de manera sistemática el proceso de descomposición del bioplástico. Este instrumento permitió registrar datos precisos sobre el tiempo transcurrido hasta que el bioplástico se degradó completamente, también observar y anotar el peso visible (peso inicial y final) a lo largo de los días. Además, proporcionaron una base sólida para analizar la eficiencia y tasa de biodegradación en comparación con plásticos convencionales y compostables.

c) Validación de instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos fueron validados con un promedio de valoración de 90% por Gallardo y Velasquez (2021) lo cual asegura la confiabilidad de los datos recolectados, garantiza la validez asegurando que los instrumentos realmente sirven para medir. Además, proporcionó una base sólida de credibilidad científica, ya que fueron evaluados y aprobados por expertos en el campo, lo que facilitó la comparabilidad de los resultados con otros estudios similares, permitiendo situar los hallazgos dentro del contexto más amplio de la investigación sobre bioplásticos.

3.3.2 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para elaborar el procesamiento desde la obtención de la cáscara de mango se tuvo en cuenta los aspectos éticos. Además, se consideró la confidencialidad de los datos recolectados y garantizó que todos los procedimientos cumplan con las normativas éticas y legales vigentes.

En primer lugar, se presentó una solicitud detallada al laboratorio de la UNHEVAL, especificando la naturaleza del estudio y delineando los objetivos, procedimientos y tipos de análisis

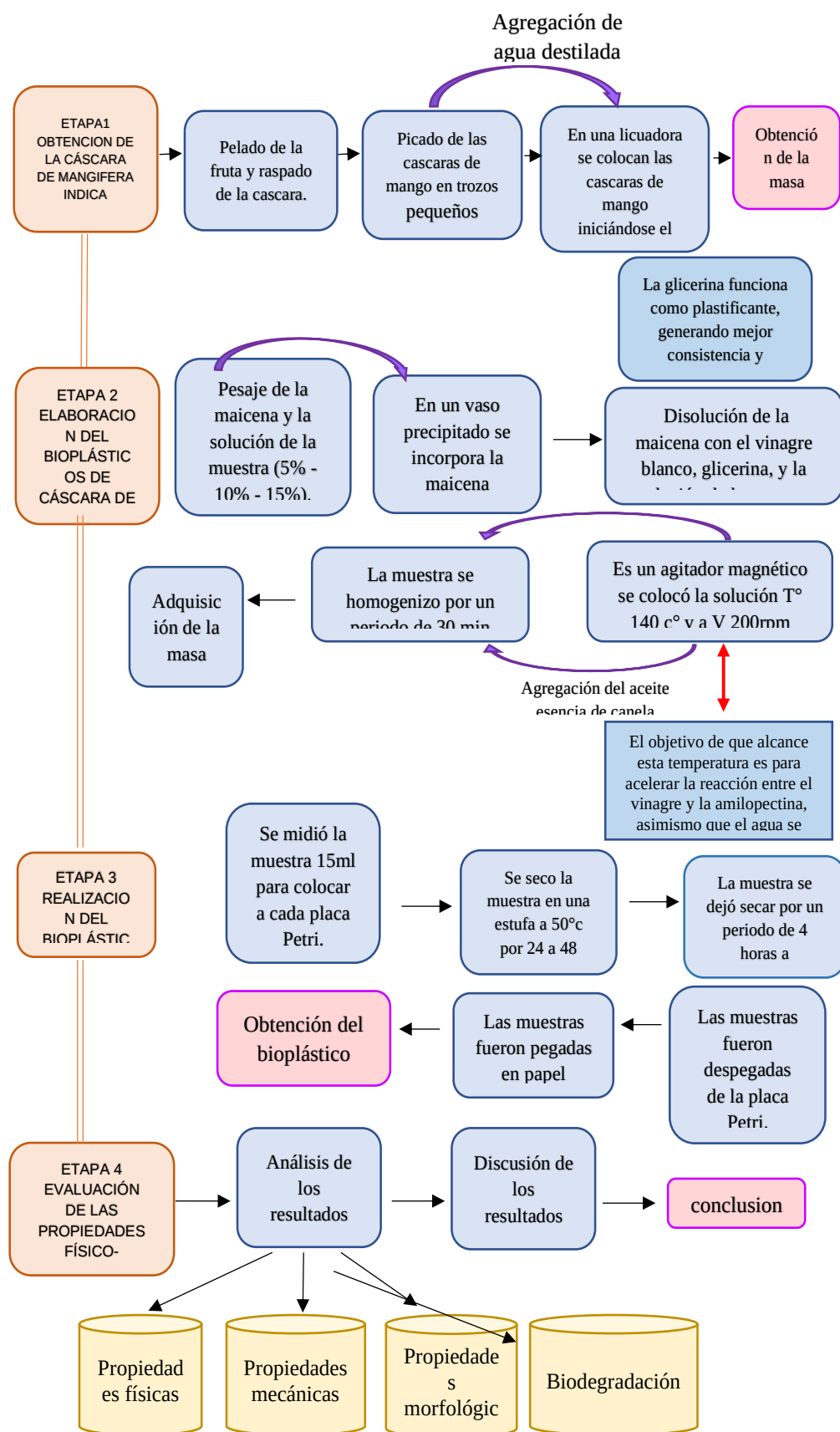
requeridos. Asimismo, se solicitó el acceso a equipos específicos como máquinas de ensayo y cámaras controladas, junto con parámetros precisos de prueba como condiciones ambientales.

En segundo lugar, se solicitó la colaboración de un experto del laboratorio para supervisar y garantizar la correcta ejecución de los procedimientos.

En tercer lugar, se aplicó la técnica de observación directa para registrar las características físicas de los bioplásticos durante su elaboración y posterior secado. Asimismo, se emplearon ensayos para determinar las propiedades a medir del bioplástico mediante equipos de medición precisos. Se utilizaron la maicena como polímero base para que proporcione la estructura principal del bioplástico. El vinagre blanco, como agente acidificante para modificar las propiedades del polímero y mejorar la mezcla de los componentes. La glicerina (plastificante) para aumentar la flexibilidad del bioplástico y evitar que se vuelva quebradizo. El agua destilada para disolver y homogeneizar los componentes; y la canela como aditivo natural para proporcionar propiedades antimicrobianas o aromatizar el bioplástico. El procedimiento tuvo cuatro etapas, descritos de la siguiente manera:

Figura 5

Diagrama de flujo de la elaboración del bioplástico



1. ETAPA 1: obtención de la cáscara de mango

Tuvo como fin la extracción eficiente del pericarpio (cáscara) como fuente orgánica primordial del bioplástico.

Procedimiento

Después de comprar 2 kilos de mango, se realizó los siguientes pasos:

Figura 6

Proceso de lavado del mango con agua



Nota. La figura muestra el lavado del mango.

Figura 7

Proceso de enjuague del mango con agua destilada



Nota. La figura muestra el enjuague del mango.

Figura 8

Proceso de pesaje del mango en la balanza analítica



Nota. La figura muestra el pesaje de 2 kg de mango verde.

Figura 9

Proceso de retiro el pericarpio (cáscara) del mesocarpio (pulpa) del mango



Nota. La figura muestra el retiro de la pulpa de cáscara.

Figura 10

Proceso de picado del mango en trozos pequeños



Nota. La figura muestra el picado en trozos de 2 kg de mango verde.

Figura 11

Proceso de pesaje de los trozos pequeños



Nota. La figura evidencia el peso de los 400 g de cáscara de mango.

Figura 12

Proceso de licuado de los trozos pequeños



Nota. La figura evidencia el licuado de 100 g de mango con 100 ml de agua destilada.

Figura 13

Proceso de colado del extracto de mango



Nota. La figura evidencia el colado del extracto de la cáscara del mango con ayuda de un tamizador y tela organza.

2. ETAPA 2: elaboración de películas de bioplástico de cáscara de mango

Se elaboraron las películas de bioplástico con el extracto de obtenido en el paso anterior. A continuación, se detalla el proceso:

Figura 14

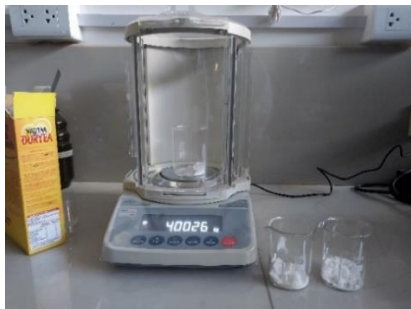
Proceso de pesaje del extracto de cáscara de mango



Nota. La figura evidencia el pesaje de la muestra de cáscara de mango 5%, 10% y 15%.

Figura 15

Proceso del pesado de la maicena



Nota. La figura evidencia el peso de 4 g de maicena para cada concentración (5%, 10% y 15%).

Figura 16

Proceso de agregado de glicerina y vinagre al extracto de cáscara de mango



Nota. La figura evidencia cómo se agregó 4 ml de glicerina y vinagre al 5%, 10% y 15% del extracto de cáscara de mango.

Figura 17

Proceso de agregado de aceite esencial de canela al extracto de cáscara de mango



Nota. La figura evidencia cómo se agregó 0,15 ml de aceite esencial de canela al 5%, 10% y 15% del extracto de cáscara de mango. Luego se homogenizó por un periodo de 30 minutos a una temperatura de 140 °C y una velocidad de 200 rpm.

3. ETAPA 3: Realización del bioplástico

Después de la homogenización se elaboró el bioplástico con la muestra extraída de cáscara. A continuación, se detalla el proceso:

Figura 18

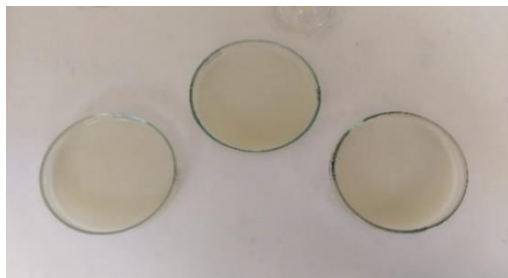
Proceso de agregado de la muestra gelidificada a cada placa Petri



Nota. La figura evidencia cómo se agregó 15 ml de muestra gelidificada a la placa Petri.

Figura 19

Proceso después de secado en la estufa



Nota. La figura evidencia cómo quedaron las muestras después de colocarlos a la estufa a una temperatura de 50° C, de 24 a 48 horas.

Figura.20

Proceso de enfriamiento de las muestras



Nota. La figura evidencia cómo se dejó enfriar la muestra por 3 horas después de ser sacadas de la estufa. Después fueron despegadas y colocadas en papel manteca.

4. ETAPA Caracterización y evaluación de propiedades físico-mecánicas y morfológicas

a) Caracterización de la muestra de la cáscara de mango

Después de la obtención de la muestra final extraída en el procedimiento anterior, se caracterizó cada una de las muestras. A continuación, se detalla el proceso .

• Humedad

Para determinar la humedad se utilizó la ecuación, el resultado correspondió a 3 réplicas.

$$\text{humedad \%} = \frac{P_m - (P_f - P_p)}{P_m} \times 100.$$

Figura.21

Proceso de pesaje de la muestra



Nota. La figura describe el pesaje de las 3 placas Petri con muestra de 5 g en la balanza analítica.

Figura.22

Proceso de enfriamiento de la muestra



Nota. La figura describe el enfriamiento de la muestra en el desecador por 10 minutos.

Figura 23

Proceso de pesaje de la muestra



Nota. La figura describe el peso de la muestra en cada placa Petri en la balanza analítica después de la colocación en la estufa a 80 °C por 24 horas, posterior al enfriamiento por 10 minutos en el desecador y nuevo pesaje de la placa.

- **Materia seca**

La materia seca se determinó tomando en cuenta el 100% de materia seca base menos los resultados del % de humedad. El resultado correspondió a 3 réplicas.

- **Fibra**

Para determinar la fibra se necesitó dos vasos precipitados para realizar los siguientes pasos:

Figura 24

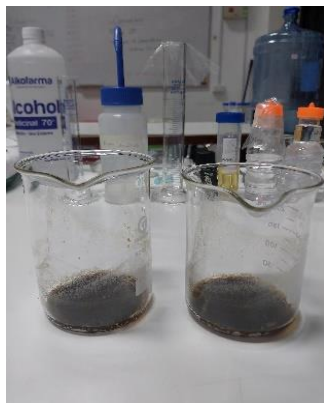
Proceso de agregado y secado de la muestra



Nota. La figura describe el agregado de 50 ml de muestra a los vasos precipitados para ser secados en la estufa.

Figura 25

Proceso de secado de la muestra



Nota. La figura describe cómo se retiró la muestra seca en el vaso precipitado, secado en la estufa a una T° de 80°C por 24 horas.

Figura 26

Proceso de almacenamiento de la muestra



Nota. La figura describe el almacenamiento de 5 g de muestra en él tuvo falcon que luego fue enviado al laboratorio del CITEAGROINDUSTRIAL UT AMBO.

b) Propiedades físicas

• Color

El estudio se hizo usando el espacio de color CIELAB, también llamado Lab*, un sistema de colores creado por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) en 1976. Es un sistema de tres dimensiones con tres colores diferentes: L^* para la luminosidad, a^* para el rojo o verde, y b^* para el amarillo o azul Hernández et al.(2016). Para analizar el color de las muestras, se utilizó un dispositivo llamado colorímetro modelo CR-400 marca Konica Minolta. Las muestras tenían forma redonda y mediana 90 mm de ancho. Se hicieron cuatro mediciones en

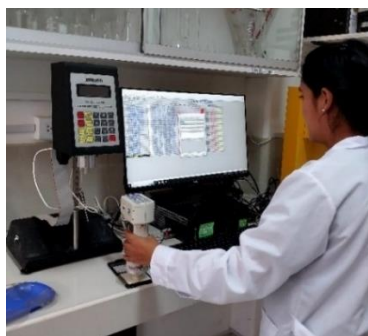
cada muestra para cada cantidad. Los datos obtenidos usando los valores L^* , a^* y b^* , se calcularon promediando tres mediciones por muestras para garantizar la precisión de la información. Además, se calculó la diferencia de color (ΔE) utilizando la fórmula.

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_{estandar} - L_{muestra})^2 + (a^*_{estandar} - a^*_{muestra})^2 + (b^*_{estandar} - b^*_{muestra})^2}$$

Lo que ayudó a medir con precisión los cambios de color en cada muestra estudiada.

Figura 27

Estudio del color en el sistema CIELAB



Nota. La figura describe la medición del color en CIELAB.

- **Espesor**

El espesor del bioplástico se determinó usando un Micrómetro digital de cabezal plano, con un tamaño de muestra de $2 \times 2 \text{ cm}^2$.

Figura 28

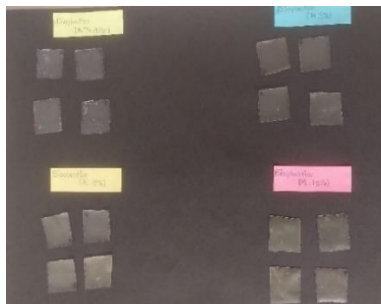
Medición de las muestras con el Micrómetro digital



Nota. La figura muestra el equipo utilizado para medir la variación del espesor de los bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango.

Figura 29

Corte de las muestras



Nota. La figura describe los cortes de 2x2 cm realizados a cada concentración.

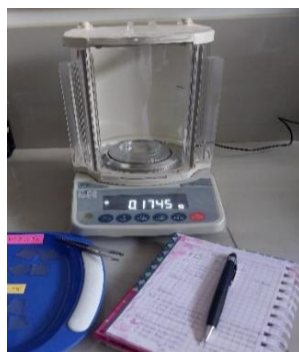
- **Densidad**

La densidad del bioplástico se determinó usando la norma ASTM D792. (mexpolimeros, 2020) Con tamaño de muestra de 2x2cm el peso de las muestras fueron medidas con una balanza analítica. La densidad fue calculada mediante su ecuación:

$$Densidad = \frac{masa}{volumen} g/cm^3.$$

Figura 30

Proceso de medición de la densidad de la muestra



Nota. La figura describe el cálculo y proceso de medición de cada concentración.

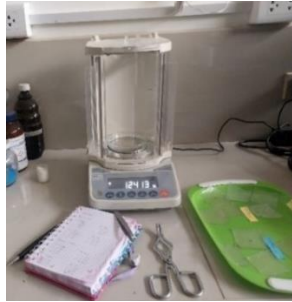
- **Humedad**

Se realizó siguiendo la metodología reportada por Olugbenga et al. (2018) con ligeras modificaciones, el tamaño de muestra fue 5x5 cm, para determinar la humedad solo se tomó el último peso seco de muestra (W2). Se utilizó la ecuación:

$$Humedad (\%) = \left(\frac{W1 - W2}{W1} \right) \times 100$$

Figura 31

Proceso de medición de humedad de la muestra



Nota. La figura describe el peso la muestra húmeda (W1) realizada con la balanza.

Figura 32

Proceso de enfriamiento de la muestra



Nota. La figura evidencia la muestra colocada en el desecador después de permanecer en la estufa a una temperatura de 90° a 105° por 24 horas [durante ese periodo se pesó en 4 momentos hasta tener un peso constante].

Figura 33

Proceso de extracción de las muestras



Nota. La figura describe las muestras extraídas de la estufa con pinzas metálicas que fueron enfriadas en un desecador de vidrio por 10 minutos para cada pesaje.

- **Opacidad**

Para el análisis de opacidad se realizó siguiendo la metodología reportada por Olugbenga et al. (2018) con ligeras modificaciones. El porcentaje de opacidad se determinó a partir de la transmitancia de la luz del Espectrofotómetro (Genesys™ UV-Vis 150 Thermo Scientific™) a 600 nm. Se calculó utilizando la ecuación:

$$Opacidad (\%) = \left(\frac{A_{600nm}}{X} \right)$$

Figura 34

Muestras de 4 cm x 1 cm en las cubetas.



Nota. La figura evidencia el tamaño de las muestras (4 cm x 1 cm) que fueron pegadas a las cubetas vacía de control.

Figura 35

Lectura del Espectrofotómetro



Nota. La figura evidencia la lectura del Espectrofotómetro con 3 réplicas.

- **Solubilidad**

Para el análisis se utilizó el método descrito por Jong-Whan et al. (2007) El tamaño de muestra fue $2 \times 2 \text{ cm}^2$ para determinar los pesos secos iniciales (W_0), se secó en una estufa por 3

horas, con temperatura de 105 °C, se dejó enfriar 10 minutos en el desecador de vidrio y se pesó, después la muestra se sumergió en un vaso precipitado cubierto con stretch film con 40 ml de agua destilada por 24 horas. Posteriormente, la muestra no disuelta (W1) fue retirada del vaso precipitado y colocada en placas Petri e ingresada a la estufa por 3 horas, luego retiradas y colocadas en el desecador de vidrio durante 10 minutos y pesadas en la balanza analítica. La solubilidad se calculó usando la ecuación:

$$\text{Solubilidad (\%)} = \left(\frac{W_0 - W_1}{W_0} \right) \times 100$$

Figura 36

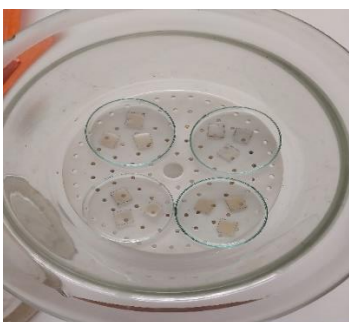
Extracción de la muestra de la estufa



Nota. La figura evidencia el enfriamiento de la muestra después del secado en la una estufa por tres horas (150 °C).

Figura 37

Enfriamiento de la muestra



Nota. La figura evidencia el enfriamiento en el desecador de vidrio por 10 min.

Figura 38

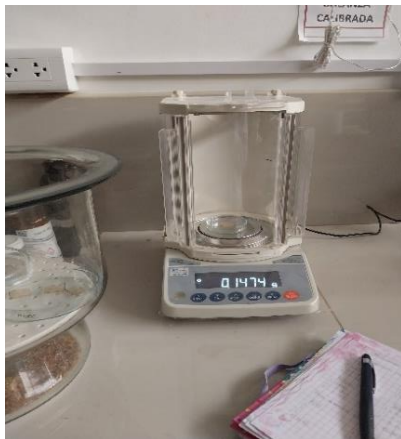
Sumersión de la muestra en agua destilada



Nota. La figura evidencia las muestras listas para ser sumergidas en los vasos precipitados y ser cubiertos con strech film, con 40 ml de agua destilada por 24 horas.

Figura 39

Pesado de la muestra en la balanza analítica



Nota. La figura evidencia la muestra el pesaje de la muestra después de ser secadas en la estufa por un tiempo de 3 horas, que fueron retiradas y colocadas en el desecador de vidrio durante 10 minutos.

c) Propiedad mecánica

- **Resistencia de ruptura en tensión**

Se evaluaron según el método (ATSM D882-02: Método de prueba estándar para las propiedades de tracción de películas y láminas de plástico delgada). (Industrial Physics, 2024) Se determinó usando el Texturómetro (CT3 BROOKFIELD) equipada con pinzas de tracción, el tamaño de muestra fue 1,5 cm x 5 cm, se colocaron las tiras entre las

pinzas con una separación de 3 cm, una velocidad de 5,00 mm/s, carga de activación de 0,05 (N), hasta que las tiras se rompieran, durante la prueba el analizador de textura conectado a una computadora construyó gráficos del proceso del tirón de fuerza: Newton (N) aplicada por el equipo versus la distancia (tiempo en segundos) de separación entre las pinzas (mm). La fuerza estuvo representada por el pico de carga (N), calculada por el analizador de textura .

Figura 40

Muestra en tiras de 1,5 cm x 5 cm



Nota. La figura evidencia las muestras cortadas en 1,5 cm x 5 cm.

Figura 41

Análisis en el Texturómetro



Nota. La figura evidencia el estiramiento de las tiras de muestra con una velocidad de 5,00 mm/s y carga de activación de 0,05 (N).

- **Elongación**

Para calcular la elongación se usó la fórmula:

$$E (\%) = \left(\frac{C_f - C_i}{C_i} \right) \times 100.$$

- **Fuerza de tracción**

Para calcular la fuerza de tracción (Mpa), se usó la fórmula:

$$TS = \frac{F}{h \times L}$$

- **Resistencia de ruptura en punción**

La punción se determinó estadísticamente por el Analizador de Textura (CT3 BROOKFIELD), con tamaño de muestra $2 \times 2 \text{ cm}^2$, se evaluaron 6 muestras por cada concentración de bioplástico, con una velocidad de formación 1,00 mm/s, carga de activación de 0,05 (N) hasta que la muestra fuera perforada por la sonda (TA 39).

Figura 42

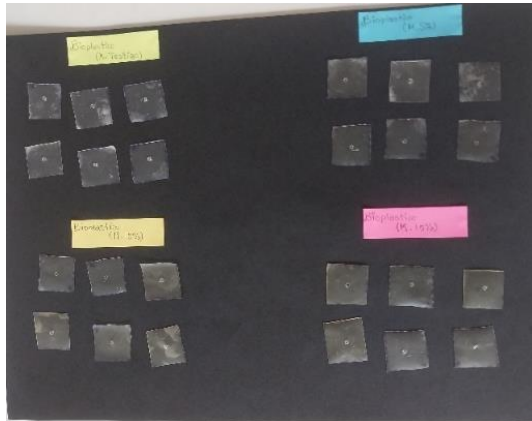
Punción de la muestra $2 \times 2 \text{ cm}^2$



Nota. La figura evidencia la punción de la muestra en el analizador CT3 BROOKFIELD.

Figura 43

Resultado de la muestra después analizador



Nota. La figura evidencia la muestra perforada por el analizador CT3 BROOKFIELD.

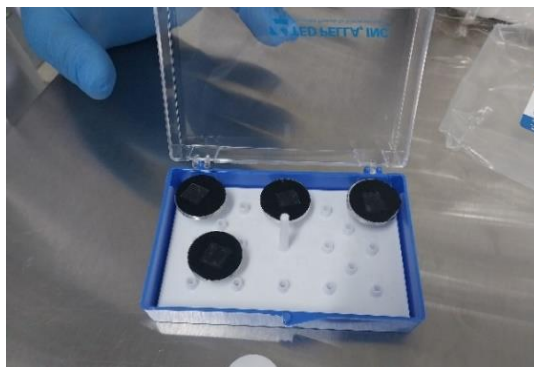
d) Propiedad morfológica

- **Estructura**

Se realizó usando el SEM (Thermo Cientific PRISMA E - Ultradry). El tamaño de muestra de $1 \times 1 \text{ cm}^2$, puesto por discos de carbono de 25 mm ubicadas en el stub para que puedan ser situadas en el porta-muestra del SEM, se trabajó en bajo vacío, con un nivel de porta-muestra de 10 mm para emitir el haz de electrones y visualizar la muestras, con una presión de 0,75 Torr, con 15 kv, escala de 2 mm magnificación de x100 y escala de 200 μm con una magnificación x1000.

Figura 44

Ubicación de la muestra en los discos de carbono del stub



Nota. La figura evidencia la muestra de $1 \times 1 \text{ cm}^2$ con discos de carbono de 25 mm ubicadas en el stub del porta muestra de -10 mm

Figura 45

Medición de la magnificación en el porta-muestra del SEM



Nota. La figura evidencia las muestras colocadas en el SEM para ser lecturadas.

e) Biodegradación

Para análisis se siguió el método descrito por Olugbenga et al. (2018) con ligeras modificaciones. Para el porcentaje de biodegradabilidad se llevó a cabo una prueba de entierro a escala laboratorio, el tamaño de las muestras fue de $2 \times 2 \text{ cm}^2$. Se usó vasos de plástico transparente donde se perforaron 10 agujeros en la base, en cada vaso se pesó 250 g de tierra preparada húmeda, las muestras fueron secadas en una estufa a temperatura de 90 a 105° por 6 horas, se dejó enfriar por 10 minutos en el desecador, después las muestras fueron enterradas a una profundidad de 3,5 cm. La evaluación (peso) fue cada 7 días, antes de realizar el peso la muestra se colocaba en la estufa por 5 minutos a temperatura de 105 °C. Para continuar con el periodo de valoración se agregaron 10 ml de agua destilada cada cierto tiempo. El experimento se realizó por triplicado, para calcular el porcentaje de biodegradabilidad y se usó la ecuación:

$$\text{Biodegradabilidad (\%)} = \left(\frac{W_0 - W_t}{W_0} \right) \times 100$$

3.3.3 PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Se recopilaron los datos mediante fichas de registro, donde se anotaron los resultados de los ensayos y observaciones. Estos datos fueron tabulados en Excel, analizados estadísticamente en SPSS para identificar tendencias y determinar la eficacia del bioplástico elaborado a partir de cáscara de mango en comparación con materiales convencionales. El análisis incluyó la interpretación de gráficos y tablas que facilitaron la visualización de los resultados obtenidos.

3.3.4 PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Para el análisis descriptivo, las variables categóricas se presentaron mediante tablas de frecuencia y gráficos de barras. Las numéricas: densidad, resistencia de tracción y otros, se calcularon la media y desviación estándar para evaluar la variabilidad de los datos alrededor de la media; se presentaron a través de gráfico de líneas apiladas y gráfico de barra con desviación estándar.

Se procedió a realizar la prueba de normalidad, porque se emplearon variables cuantitativas, y los pasos del procedimiento incluyeron la formulación de la hipótesis de normalidad (nivel de significancia $>0,05$). Por tanto, se aplicó las pruebas de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov debido al tamaño variable de la muestra.

Al analizar los resultados de ambas pruebas, se observaron valores de significancia variados. Según Kolmogorov-Smirnov, todas las varias variables presentaron un valor de significancia mayor a 0,05 indicando una distribución normal. Por otro lado, Shapiro-Wilk confirmó resultados similares. De manera que, se determinó que todas las variables siguen una distribución normal. Por tanto, fue necesario utilizar pruebas paramétricas porque cumplen con la normalidad.

Tabla 9

Pruebas de normalidad para variables propiedades físicas, mecánicas morfológicas y los bioplásticos

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Color	,272	6	,186	,899	6	,368
Espesor	,259	6	,200*	,942	6	,672
Densidad	,236	6	,200*	,956	6	,785
Húmedad	,288	6	,130	,799	6	,057
Opacidad	,325	6	,057	,822	6	,092
Solubilidad	,243	6	,200*	,920	6	,504
Resistencia de ruptura en tensión	,347	6	,053	,812	6	,075
Elongación	,145	6	,200*	,987	6	,981
Fuerza de tracción	,271	6	,192	,909	6	,427
Resistencia de ruptura en punción	,238	6	,200*	,906	6	,413
Magnificación	,319	6	,056	,683	6	,054
Observación	,319	6	,056	,683	6	,054
Fracción de almidón	,352	6	,059	,812	6	,062

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota. La tabla presenta los valores de las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para las variables analizadas, con un nivel de significancia de 0,05. Los valores de significancia indican que los datos siguen una distribución normal.

Posteriormente, se realizó el análisis comparativo para contrastar los resultados obtenidos con estándares internacionales y otras investigaciones similares. Se utilizaron técnicas estadísticas adecuadas para interpretar los datos, incluyendo la prueba intra-sujetos y análisis de varianza (ANOVA) con el fin de determinar la fiabilidad y relevancia de los resultados.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

1. Obtención de la cáscara de mango

Tabla 10

Resultados del proceso de obtención de la cáscara de mango (Mangifera indica)

Muestra		N = 4		
Cantidad inicial de mango (kg)	Lavado y enjuague	Proporción de agua destilada (ml)	Peso final (gr)	
2	Agua y agua destilada	100	400	

Nota. La tabla muestra los 2 kilos de mango que fueron lavadas con agua y enjuagadas con 100 ml de agua destilada y posterior a ello se obtuvo 400 gramos de cáscara de mango.

Figura 46

Muestra lista para la elaboración del bioplástico



Nota. La figura muestra el extracto de la cáscara del mango colado.

La tabla 10 muestra el proceso de obtención de la muestra. Al principio, se consiguieron 2 kilos de mangos frescos para obtener la cáscara de mango. Primero, los frutos se lavaron muy bien con agua para quitar la suciedad, luego se enjuagaron con agua destilada para asegurarse de eliminar cualquier resto de químicos

o bacterias. Luego, se volvió a pesar los dos kilos de mango y se quitó la cáscara (pericarpio) y pulpa (mesocarpio). Se cortaron en pedazos pequeños para poder facilitar la extracción. Con una balanza especial, se pesaron 400 gramos de estas cáscaras para usarlas en la muestra. Para conseguir el extracto, se mezclaron 100 ml de agua purificada por cada 100 gramos de cáscara en una licuadora. Por último, el extracto se filtró con un colador y una tela fina, logrando una mezcla uniforme lista para el siguiente paso.

2. Elaboración de películas de bioplástico de cáscara de mango

Se siguió el método de homogenización hasta obtener una muestra de mango con una textura cremosa. Se utilizaron 2 kg de cáscara de mango (*Mangifera indica*) para hacer el bioplástico y realizar las pruebas físicas, mecánicas, morfológicas y de biodegradación.

Tabla 11

Resultados de la homogenización para la elaboración de bioplástico

Muestra	N = 4						
	Maicena (g)	Vinagre blanco (ml)	Glicerina (ml)	Agua destilada (ml)	Aceite esencial de canela (ml)	Tiempo (min)	Temperatura (T°)
Testigo	4	4	4	50	0,15	30	140
5%	4	4	4	50	0,15	30	140
10%	4	4	4	50	0,15	30	140
15%	4	4	4	50	0,15	30	140

Nota. La tabla muestra las cantidades de cada ingrediente empleado en la procesabilidad de la muestra testigo, 5%, 10%, y 15% extraído de los 400 g de cáscara de mango y las condiciones controladas de tiempo y temperatura aplicadas.

Figura 47

Proceso de homogenización y obtención de muestra gelidificada con consistencia cremosa



Nota. La figura evidencia la homogenización de la muestra en un lapso de 30 minutos a una temperatura de 140° y velocidad de 200 rpm.

La tabla 11 y figura 47, muestra el proceso de homogenización que se realizó. Cada muestra contenía 400 gramos de cáscara de mango cortada. Después de triturarla y colarla se añadió 1,25 gramos a la muestra 5%; 2,5 gramos para el 10% y 3,75 gramos para el 15%, menos a la muestra testigo porque servirá como punto de comparación para evaluar el efecto de este componente en la biodegradación y otras propiedades del bioplástico. Los demás ingredientes (maicena, vinagre, glicerina, agua destilada y aceite esencial) se añadieron de manera proporcional en todas las muestras para mantener la consistencia.

Cada combinación se puso en una placa magnética, un aparato que calienta y mezcla la muestra de manera uniforme, asegurando que los ingredientes se distribuyan de manera pareja se fijaron reglas iguales para todas las muestras: se consideró 30 minutos, una temperatura de 140 grados y velocidad de 200 rpm.

3. ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO

Los bioplásticos se hicieron con el gel extraído de la muestra en la etapa previa. Se completó todo el proceso para hacerlos y luego se sacaron de los moldes de vidrio y se pusieron en papel manteca. Además, las cuatro películas creadas fueron sometidas a diferentes pruebas, llegando finalmente a la etapa final de descomposición biológica.

Tabla 12

Resultados del bioplástico elaborado a partir de la muestra gelificada obtenida de la extracción de cáscara de mango

Muestra	N = 4		
	Cantidad (ml)	Secado 50° (hora)	Enfriamiento (hora)
Testigo	15	24 a 48	3
5%	15	24 a 48	3
10%	15	24 a 48	3
15%	15	24 a 48	3

Nota. La tabla muestra la cantidad, el tratamiento de secado y enfriamiento aplicado (temperatura ambiente) a las muestras de bioplástico con diferentes concentraciones de la muestra testigo, 5%, 10%, y 15%.

Figura 48

Bioplástico elaborado a partir de la muestra gelificada obtenida de la extracción de cáscara de mango mediante la homogenización



Nota. La figura evidencia la muestra final (bioplástico) colocadas en papel manteca.

La tabla 12 y figura 48, muestra la preparación y tratamiento de las muestras para hacer bioplástico con cáscara de mango. Se crearon y analizaron distintas muestras de bioplástico con diferentes cantidades (testigo, 5%, 10% y 15%) para ver cómo afecta a las características del bioplástico. Las muestras fueron secadas y enfriadas bajo condiciones controladas para garantizar una textura uniforme y adecuada para el estudio.

Se usó la misma cantidad de 15 ml para cada muestra, asegurando que las diferencias en los resultados se deban solo a la cantidad y no al volumen total de la mezcla. Las muestras se secaron en un lugar controlado a 50 °C por un lapso de 24 a 48 horas. Este periodo de secado se fijó para garantizar que la muestra tenga la consistencia sólida necesaria para hacer el bioplástico.

Después de secarlas, las muestras se dejaron enfriar durante 3 horas. Este proceso de enfriamiento lento garantizó que el bioplástico se mantenga estable, evite que su estructura cambie, y perjudique su calidad.

4. CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y MORFOLÓGICAS

a) Resultado de la caracterización de la muestra de la cáscara de mango

Se caracterizó la humedad bajo una ecuación, la materia seca bajo los resultados del porcentaje de humedad y la fibra se obtuvo de los datos que se multiplicaron por los resultados de la materia seca (números reales) y se convirtió en % para el producto final. Ambos resultados corresponden a 3 réplicas.

Tabla 13

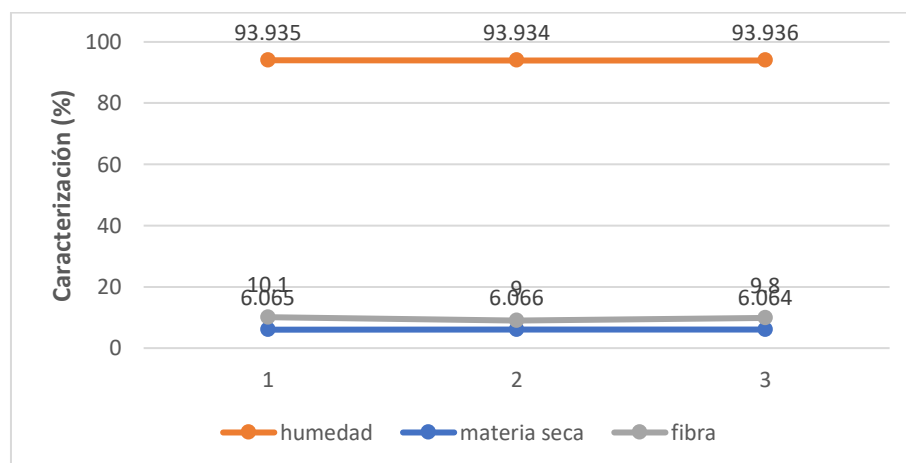
Resultado de la medición de humedad, materia seca y fibra

Réplicas	N = 3		
	Humedad (%)	Materia seca (%)	Fibra (%)
1	93,935 ± 0,001	6,065 ± 0,001	10,1 ± 0,57
2	93,934 ± 0,001	6,066 ± 0,001	9,0 ± 0,57
3	93,936 ± 0,001	6,064 ± 0,001	9,8 ± 0,57

Nota. Los valores representan la media y la desviación estándar de la humedad, materia seca y fibra en tres réplicas realizadas en la cáscara de mango.

Figura 49

Descripción de los resultados de medición de la humedad, materia seca y fibra



Nota. La figura muestra la variación de los resultados de cada una de las características del bioplástico elaborado.

La tabla 13 y figura 49, describe el resultado de la medición de humedad, materia seca y fibra de la cáscara de mango (*Mangifera indica*). Donde las tres muestras indicaron que los valores eran consistentes.

Después de utilizar la ecuación se obtuvo los promedios de humedad de tres muestras: 93,934% y 93,936% con muy poca variación ($\pm 0,001$). La poca diferencia entre las réplicas sugiere que todas tienen la misma cantidad de humedad. Esto significa

que fueron conservadas correctamente, evitando cambios en los niveles de humedad.

La Materia seca se determinó tomando en cuenta el 100% de la base menos los resultados del porcentaje de humedad correspondiente a 3 réplicas. Se obtuvo un promedio de 6,065% a 6,066%, con una pequeña variación ($\pm 0,001$). Estos valores mostraron que el contenido del material era muy similar en todas las réplicas, confirmando que el material era uniforme durante el proceso de recolección.

La muestra de fibra enviada al laboratorio CITEAGROINDUSTRIAL UT AMBO obtuvo como análisis fisicoquímico: 1.66; 1.48 y 1,62. Estos se multiplicaron por los resultados de la materia seca (números reales) y convirtió en porcentaje para el producto final. Se encontró que la cantidad de fibra variaba entre las demás, con valores desde 9,0% hasta 10,1% y una desviación estándar $\pm 0,57$. Esta diferencia fue mucho mayor que la que se observa en la humedad y cantidad de materia sólida, lo que podría indicar que hay cambios en cómo está hecho el material que se examinó.

b) Resultado de la evaluación de las propiedades físicas de bioplástico elaborado a base de cáscara de mango.

- Color**

Los datos obtenidos del CIELAB correspondieron al promedio de 3 réplicas por muestra tanto para la muestra testigo, 5%, 10% y 15%

Tabla 14

Resultado del color de los bioplásticos

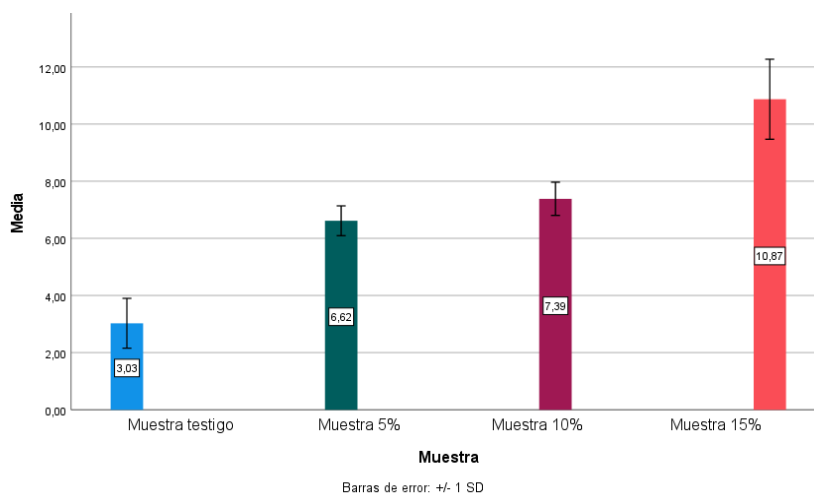
Muestra	N = 48
	Color
Testigo	3,02 $\pm$ 0,87
5%	6,62 $\pm$ 0,52

10%	$7,39 \pm 0,58$
15%	$10,87 \pm 1,40$

Nota. Los valores representan la media y desviación estándar del color por cada concentración de muestra. La muestra de control fue comparada con las concentraciones de 5%, 10%, y 15% de bioplástico para evaluar diferencias.

Figura 50

Descripción del color de los bioplásticos



Nota. La figura muestra la variación en el color de los bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango.

La tabla 14 y figura 50, describe el resultado del promedio de todas las muestras analizadas con el colorímetro. Se evidenció un color gris claro uniforme, significa que los valores de luminosidad, tonalidad roja y verde estaban equilibrados. Además, fue muy brillante, se percibió como muy ligera.

El grupo control (0%) no tuvo extracto de cáscara de mango, por eso tuvo menos color. Esto indicaba que cuando no hay pigmentos naturales en la cáscara, el bioplástico se mantendría con un color neutro o suave. La

desviación estándar de 0,87 mostró que hay poca variación, aunque fue menor en concentraciones más altas.

Al agregar un 5% de extracto de cáscara de mango, su color aumentó significativamente, promediando 6,62. Esto demostró que los colores naturales en el extracto tuvieron un gran efecto en el color. La baja variación (0,52) indicó que esta cantidad producía un color uniforme.

Cuando se aumentó la cantidad de extracto al 10%, se notó que el color fue más intenso, con un promedio de 7,39. Esto indicaba que, a mayor cantidad de extracto, más intenso sería el color. La desviación estándar de 0,58 fue baja, lo que significaba que los colores en esta concentración fueron bastante uniformes.

Cuando se aumentó la cantidad de extracto al 15% tuvo un color más fuerte, con un promedio de 10,87. Esto demostró que cuando hay más cáscara de mango, el bioplástico resultante tiene un color mucho más fuerte. No obstante, la variabilidad en el color es mayor, posiblemente porque el extracto no está distribuido de manera uniforme en esta concentración, lo que se refleja en la desviación estándar más alta (1,40).

A medida que se aumentaba la cantidad, el color del bioplástico se volvía más intenso de manera positiva. La diferencia de colores, creció con las cantidades más grandes, de manera que una mayor cantidad dificultaba la mezcla uniforme del bioplástico y provocaba cambios en el color. Este hecho podría ser un aspecto a mejorar durante la producción para conseguir un color más parejo en altas cantidades.

- **Espesor**

De la muestra de 2x2 cm se tomaron cuatro mediciones en diferentes puntos por cada concentración de muestra.

Tabla 15

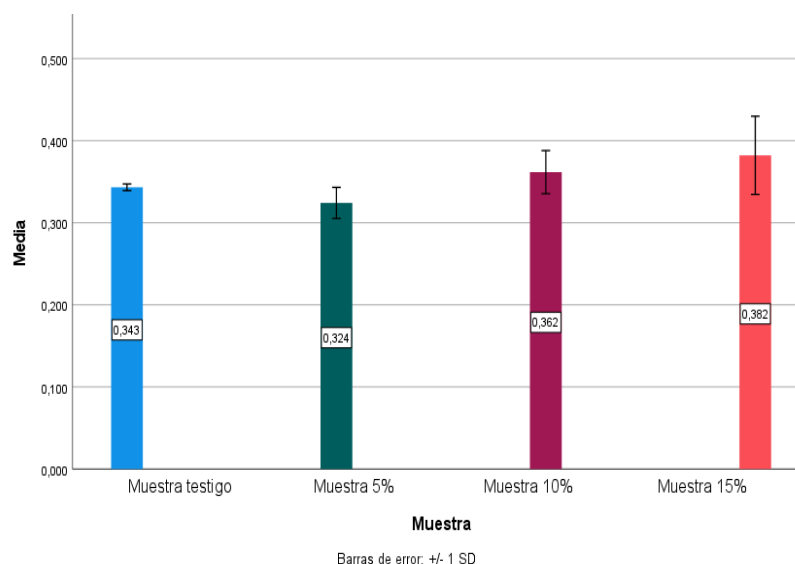
Resultado del espesor de los bioplásticos

Muestra	N = 4
	Espesor
Testigo	0,343 ± 0,004
5%	0,324 ± 0,019
10%	0,362 ± 0,026
15%	0,382 ± 0,048

Nota. Los valores representan la media y desviación estándar del espesor por cada concentración de muestra. La muestra de control fue comparada con las concentraciones de 5%, 10%, y 15% de bioplástico para evaluar diferencias.

Figura 51

Descripción del espesor de los bioplásticos



Nota. La figura muestra la variación del espesor de los bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango.

La tabla 15 y figura 51 describe el resultado del espesor correspondiente al promedio de cuatro réplicas:

La muestra de control sin añadir extracto tuvo un grosor promedio de 0,343 mm con una pequeña variación de 0,004; lo que indicaba que la película de bioplástico sin tratar fue uniforme.

Al agregar un poco de extracto de cáscara de mango al bioplástico, su grosor promedio disminuyó un poco a 0,324 mm y al mismo tiempo, la variabilidad del grosor aumentó a 0,019. Esto significa que el grosor de esta muestra varió más que el de la muestra original, lo que sugiere que el extracto pudo haber alterado la uniformidad de la película.

Con un extracto concentrado al 10%, el grosor promedio del bioplástico aumentó a 0,362 mm siendo más grueso que en las muestras anteriores. La desviación estándar de 0,026 mostró que había más diferencias, lo que indica que la concentración afectó la uniformidad del grosor.

La muestra que contenía un 15% de extracto tuvo el mayor grosor promedio de 0,382 mm y la mayor variabilidad con una desviación estándar de 0,048. Esto revelaba que el grosor aumentó, pero la uniformidad de la película de bioplástico disminuyó a esta concentración.

Los datos mostraron que el grosor del bioplástico aumentaba gradualmente al usar más extracto de cáscara de mango. No obstante, el aumento en la variabilidad a niveles más altos indicaba que el grosor era menos uniforme. Estos descubrimientos indicaron que agregar el extracto hizo que la película fuera más gruesa, pero si se usaba demasiado podría haber afectado la firmeza del bioplástico.

- **Densidad**

Los resultados obtenidos correspondieron al promedio de cuatro réplicas.

Tabla 16

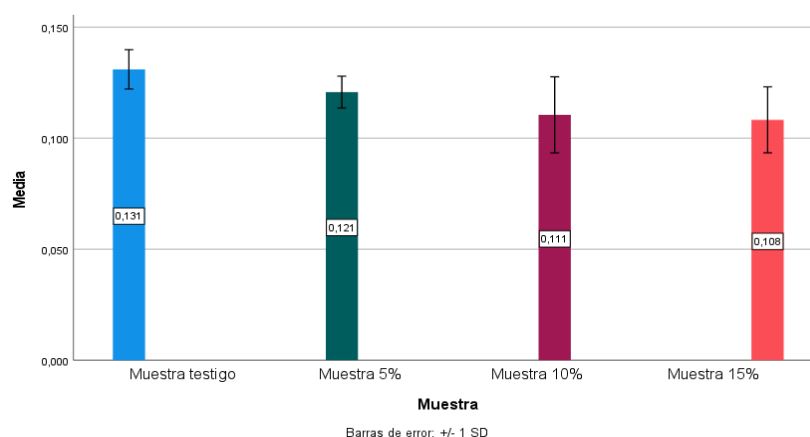
Resultado de la densidad de los bioplásticos

Muestra	N = 16
	Densidad
Testigo	0,131 ± 0,009
5%	0,121 ± 0,007
10%	0,111 ± 0,017
15%	0,108 ± 0,015

Nota. Los valores representan la media y desviación estándar de la densidad por cada concentración de muestra. La muestra de control fue comparada con las concentraciones de 5%, 10%, y 15% de bioplástico para evaluar diferencias.

Figura 52

Descripción de la densidad de los bioplásticos



Nota. La figura muestra la variación en la densidad de los bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*).

La tabla 16 y figura 52, describe los resultados de la densidad correspondientes al promedio de cuatro réplicas:

La muestra de control, que no tenía extracto de cáscara de mango, tuvo una densidad promedio de $0,131 \text{ g/cm}^3$ con una variación de $0,009$. Este valor fijo fue utilizado como punto de referencia para comparar las muestras que contenían extracto añadido.

Al agregar un 5% de extracto de cáscara de mango redujo la densidad promedio a $0,121 \text{ g/cm}^3$. La desviación estándar de $0,007$ mostró que la estructura tenía poca variabilidad y se comportaba de manera uniforme.

Cuando se agregó más extracto hasta llegar al 10%, la densidad promedio disminuyó a $0,111 \text{ g/cm}^3$. La variación del espesor de las películas aumento ($0,017$) debido a cómo interactúan los ingredientes de la mezcla.

En el grupo que contenía un 15% de extracto, la densidad promedio fue la más baja, llegando a $0,108 \text{ g/cm}^3$ con una variación de $0,015$. Esta disminución en la densidad significa que cuando hay más extracto, el bioplástico se vuelve menos compacto, quizás porque ingreso aire o hubo cambios la interacción entre los materiales.

Los datos indicaron que a medida que se añadía más extracto de cáscara de mango, la densidad del bioplástico disminuía. Esta disminución en la cantidad de material por unidad de medida, junto con una mayor variación, indican que al agregar más extracto se afectará la compresión del material de forma negativa, lo cual podría tener un impacto en sus características mecánicas y en su utilidad para futuros usos.

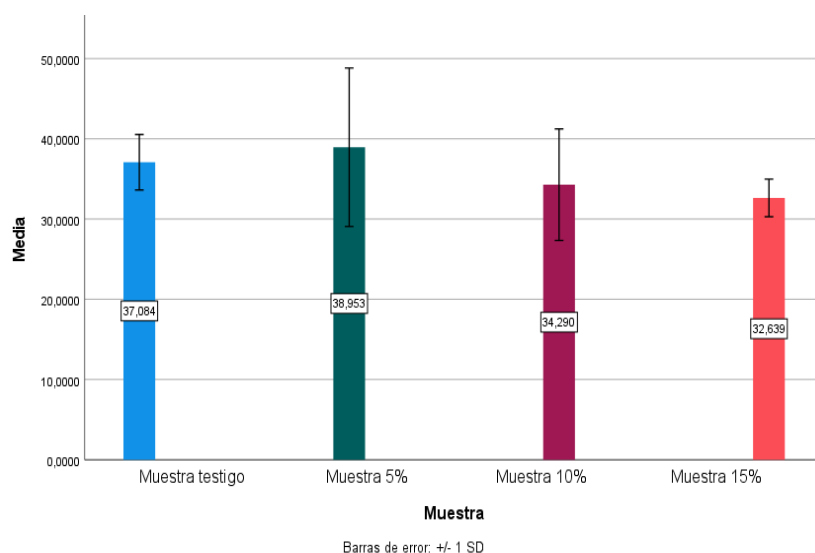
- **Humedad**

Los resultados mostrados corresponden al promedio de tres réplicas.

Tabla 17*Resultado de humedad de los bioplásticos*

Muestra	N = 12
	Humedad
Testigo	37,084 ± 3,462
5%	38,953 ± 9,876
10%	34,290 ± 6,956
15%	32,639 ± 2,342

Nota. Los valores representan la media y desviación estándar de la humedad por cada concentración de muestra. La muestra de control fue comparada con las concentraciones de 5%, 10%, y 15% de bioplástico para evaluar diferencias.

Figura 53*Descripción de la humedad de los bioplásticos*

Nota. La figura muestra la variación en la humedad de los bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*).

La tabla 17 y figura 53 describe los resultados de humedad correspondientes al promedio de tres réplicas:

La muestra de control, que no tenía extracto de cáscara de mango, tenía un promedio de humedad del

37,084% con una variación de 3,462. Este valor fue utilizado como guía para las otras muestras.

Al agregar un 5% de extracto de cáscara de mango aumentó la humedad promedio a 38,953% con una desviación estándar alta de 9,876. Este aumento y cambio en la humedad indicaron que al agregar extracto se modificó la capacidad del bioplástico para retener agua, quizás por la naturaleza absorbente del material.

Cuando se aumentó la cantidad de extracto al 10%, la humedad promedio bajó a 34,290%. Esta disminución en la humedad se debió a que el bioplástico estuvo más compacto y tuvo menos espacio para retener agua. La variación en el contenido de humedad fue moderada, con una desviación estándar de 6,956.

En el grupo de muestras con un 15% de extracto, el nivel de humedad promedio fue de 32,639% siendo el más bajo de todas las muestras estudiadas. El estándar de desviación de 2,342 indicó que hay menos diferencias en comparación con muestras anteriores. Esto significa que, si se usa más extracto, el bioplástico podría haber tenido una estructura más compacta, lo que impidió que retuviera humedad.

Los datos indicaron que a medida que se añadía más extracto de cáscara de mango al bioplástico, este contenía menos humedad. Este comportamiento indica que, aunque al principio el extracto aumentó la humedad, al usar cantidades mayores se compactó más el material, lo que provocó que disminuyera la capacidad de retener agua. Esta característica podría cambiar cómo queda el bioplástico al final y afectar en qué situaciones se puede usar.

- **Opacidad**

Los resultados que se obtuvieron de un micrómetro corresponden al promedio de tres réplicas.

Tabla18

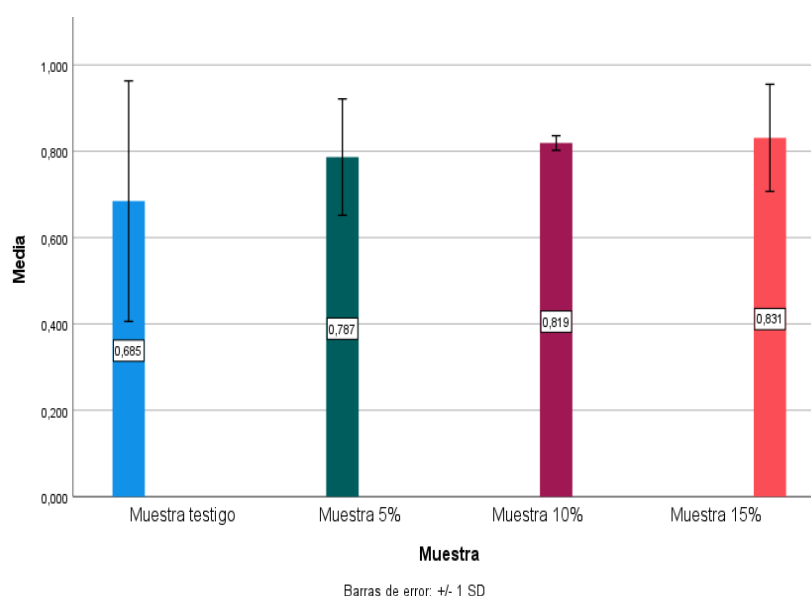
Resultado de la opacidad de los bioplásticos

Muestra	N = 12
	Opacidad
Testigo	0,685 ± 0,279
5%	0,787 ± 0,135
10%	0,819 ± 0,017
15%	0,831 ± 0,124

Nota. Los valores representan la media y desviación estándar de la opacidad por cada concentración de muestra. La muestra de control fue comparada con las concentraciones de 5%, 10%, y 15% de bioplástico para evaluar diferencias.

Figura 54

Descripción de la opacidad de los bioplásticos



Nota La figura muestra la variación en la opacidad de los bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*) .

La tabla 18 y figura 54 describen el resultado de la opacidad correspondiente al promedio de tres réplicas:

La muestra de control, que no tenía extracto de cáscara de mango, tuvo un nivel de opacidad promedio de 0,685 nm/mm con una variación de 0,279. Este número se usó como medida basal para ver cómo las cantidades de extracto afectan la transparencia del bioplástico.

Al agregar un 5% de extracto de cáscara de mango aumentó la opacidad promedio a 0,787 nm/mm. El estándar de desviación de 0,135 indica que hay poca variabilidad. Este aumento en la falta de transparencia fue causado por la mayor dispersión de partículas en el material del bioplástico, debido a la adición del extracto.

Con un 10% de extracto, la opacidad promedio subió a 0,819 nm/mm con una pequeña variación de 0,017 lo que demuestra que los resultados son consistentes. Este aumento indicó que, al tener más extracto en el material, la luz se dispersaba más, por lo que fue más opaco.

En el grupo que contenía un 15% de extracto, el nivel de opacidad promedio fue de 0,831 nm/mm con una variación de 0,124. Este pequeño aumento en comparación con el grupo del 10% indicaba que la opacidad seguía aumentando, pero de forma menos marcada, debido a un tope en el efecto del extracto.

Los resultados mostraron que a medida que se añadía más extracto de cáscara de mango, el bioplástico se volvía más opaco. Este comportamiento mostró que, al usar más extracto, la luz se dispersó más, haciendo que el material se vea más opaco. Esta característica es muy importante para saber en qué se puede usar el bioplástico, sobre todo en situaciones donde es importante que no se

vea a través, como en el embalaje de alimentos o productos que no deben exponerse a la luz.

- **Solubilidad**

Los resultados correspondieron al promedio de 3 réplicas por muestra.

Tabla 19

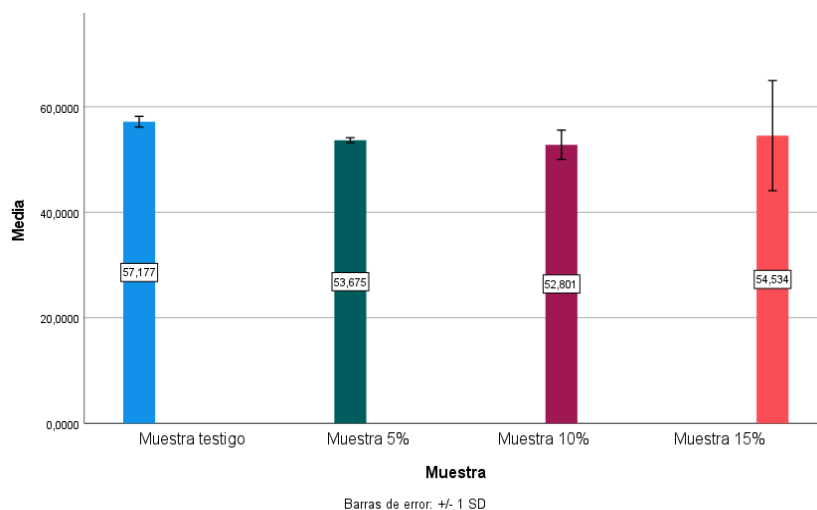
Resultado de la solubilidad de los bioplásticos

Muestra	N = 12
	Solubilidad
Testigo	57,177 ± 1,019
5%	53,675 ± 0,470
10%	52,801 ± 2,780
15%	54,534 ± 10,446

Nota. Los valores representan la media y desviación estándar de la solubilidad por cada concentración de muestra. La muestra de control fue comparada con las concentraciones de 5%, 10%, y 15% de bioplástico para evaluar diferencias.

Figura 55

Descripción de la solubilidad de los bioplásticos



Nota. La figura muestra la variación en la solubilidad de los bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*).

La tabla 19 y figura 55 describe el resultado de solubilidad correspondiente al promedio de tres réplicas:

La muestra de control, que no tenía extracto de cáscara de mango, tuvo un valor promedio de solubilidad de 57,177% con una variación de 1,019. Este hallazgo proporcionó una base para analizar cómo las cantidades de extracto afectan la capacidad del bioplástico para disolverse.

Al agregar un 5% de extracto de cáscara de mango redujo la solubilidad promedio a 53,675%. La desviación estándar de 0,470 mostró que los datos tenían poca variación. Esta disminución en la capacidad de disolverse indica que el extracto de cáscara de mango ayudó a que las partículas del bioplástico se unieran mejor.

Con una cantidad del 10% de extracto, la cantidad promedio que se puede disolver disminuyó aún más a 52,800%. La desviación estándar de 2,780 mostró que había más diferencias en comparación con la anterior. Este cambio mostró que el bioplástico se volvía más unido y estable, quizás porque el extracto y estructura del bioplástico interactuaban de manera más eficiente.

En el grupo que contenía un 15% de extracto, la cantidad promedio que se disolvió fue de 54,534% con una variación de 10,446. Este aumento fue causado por la mayor cantidad de extracto en la mezcla de los ingredientes del bioplástico, pero la variabilidad indicó que este resultado quizás no sea típico de manera constante.

La información mostró que, al agregar extracto de cáscara de mango, la solubilidad del bioplástico disminuyó en general. Esto indicaba que las concentraciones más bajas ayudaron a que el material se mantuviera unido. No obstante, la capacidad de disolverse aumentó en la muestra que contenía un 15% de extracto, lo que sugiere

que la forma en que los componentes interactuaron en la estructura del bioplástico pudo haber cambiado. Estos descubrimientos son importantes para saber cómo se puede usar el bioplástico, ya que su capacidad para disolverse afecta cuánto resistirá a cosas como la humedad y contacto con líquidos.

c) Resultado de la evaluación de las propiedades mecánicas del bioplástico elaborado a base de cáscara de mango.

- **Resistencia de ruptura en tensión**

Los resultados obtenidos fueron el promedio de doce repeticiones de cada concentración de muestra.

Tabla 20

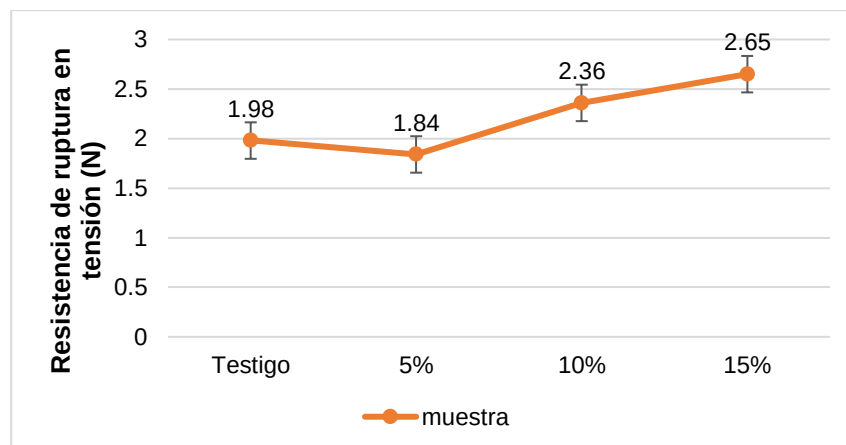
Resultado de la resistencia de ruptura en tensión de los bioplásticos

Muestra	N = 48
	Resistencia de ruptura en tensión
Testigo	1,98 ± 0,363
5%	1,84 ± 0,822
10%	2,36 ± 0,405
15%	2,65 ± 0,298

Nota. Los valores representan la media y desviación estándar de la resistencia de ruptura en tensión por cada concentración de muestra, comparada con las concentraciones de 5%, 10%, y 15% del bioplástico.

Figura 56

Descripción de la resistencia de ruptura en tensión de los bioplásticos



Nota. La figura muestra la fuerza de variación en la resistencia de ruptura en tensión de los bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*).

La tabla 20 y figura 56 describen el resultado de resistencia de ruptura en tensión correspondiente al promedio de doce replicas:

La muestra examinada, que no contenía extracto de cáscara de mango, mostró una resistencia de ruptura media de 1,98 N con una desviación estándar de 0,363. Este valor fue el punto inicial de referencia para contrastar el impacto del extracto de cáscara en la resistencia del bioplástico.

El 5% de extracto en la muestra presentó un nivel de reducción en la resistencia de ruptura a 1,84 N. El desvío estándar de 0,822 mostró una variabilidad superior en relación con la muestra observada, lo que podría indicar una distribución menos homogénea del material en la matriz del bioplástico a dicha concentración.

Al elevar el nivel de extracción al 10%, la resistencia media a la tensión aumentó a 2,36 N con una desviación estándar de 0,405 reduciéndose en comparación con la muestra anterior. Este incremento en la resistencia podría ser

resultado de una interacción estructural más intensa entre el extracto y los elementos del bioplástico, reforzando así la cohesión y estabilidad del material.

La que contenía un 15% de extracto logró la resistencia en tensión más alta, registrando un promedio de 2,65 N y una desviación estándar de 0,298 la más baja de todas las muestras. Esto demostró una mayor estabilidad y uniformidad en la composición del bioplástico, indicando que una concentración del 15% contribuyó a una estructura resistente, probablemente mejorando las características mecánicas.

La información evidencia una tendencia al aumento de la resistencia de ruptura en tensión a medida que se incrementaba la concentración de extracto de cáscara de mango. Esto indica que el extracto ayudó a fortalecer la cohesión del bioplástico, logrando el nivel de resistencia más alto en la muestra con un 15% de extracto. Esta información es relevante para la creación de bioplásticos más duraderos, ya que una mayor resistencia a la tensión podría ampliar sus usos prácticos, optimizando su desempeño frente a esfuerzos mecánicos.

- **Elongación**

Los resultados obtenidos fueron el promedio de doce repeticiones de cada concentración de muestra.

Tabla 21

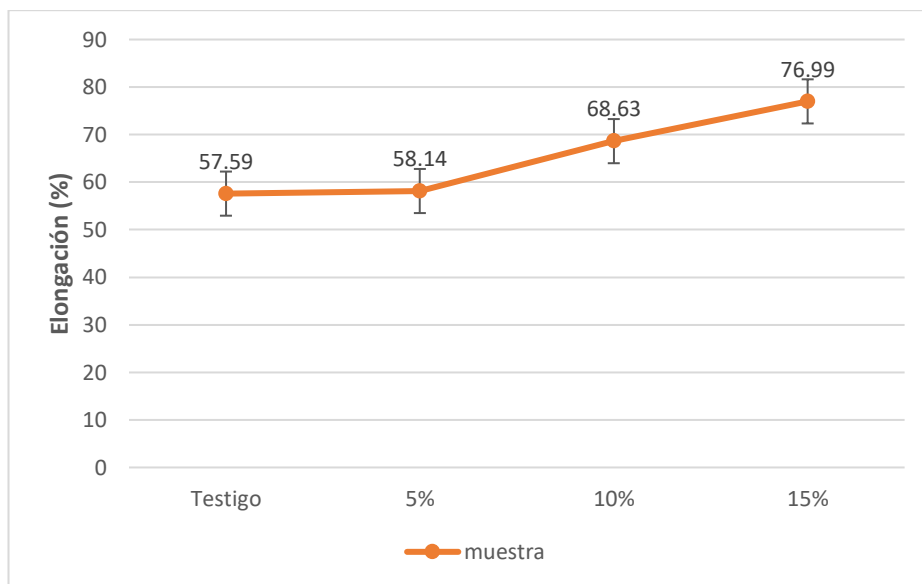
Resultado de la elongación de los bioplásticos

Muestra	N = 48
	Elongación
Testigo	57,59 ± 9,275
5%	58,14 ± 12,656
10%	68,63 ± 7,837
15%	76,99 ± 7,441

Nota. Los valores representan la media y desviación estándar de elongación por cada concentración de muestra. La muestra de control fue comparada con las concentraciones de 5%, 10%, y 15% de bioplástico para evaluar diferencias.

Figura 57

Descripción de la elongación de los bioplásticos



Nota. La figura muestra el porcentaje de variación en la elongación de los bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*).

La tabla 21 y figura 57 describe el resultado de elongación correspondiente al promedio de doce réplicas:

La muestra examinada, que no contenía extracto de cáscara de mango, mostró una longitud media de 57,59% con una desviación estándar de 9,275. Este valor constituyó el fundamento inicial para analizar el impacto del extracto de cáscara en la habilidad del bioplástico para extenderse.

La muestra que contenía un 5% de extracto evidenció un leve incremento en la longitud, logrando un valor medio de 58,14%. La desviación estándar superior (12,656) señaló una variabilidad más grande en la capacidad de elongación, probablemente debido a una distribución menos homogénea del extracto en la matriz del bioplástico.

Con el extracto del 10%, la longitud media se incrementó a 68,63% presentando una desviación estándar de 7,837 inferior a la registrada en la muestra anterior. Este aumento en la extensión indicó una interacción más efectiva del extracto de cáscara con los elementos del bioplástico, potenciando su flexibilidad y resistencia ante la deformación.

La que contenía un 15% de extracto mostró el valor más alto de elongación, logrando un promedio de 76,99% con una desviación estándar de 7,441 la más baja tras la observación. Esto evidenció una cohesión y uniformidad superior del bioplástico, lo que indica que esta concentración mejoró la habilidad del material para extenderse.

Los hallazgos mostraron una tendencia ascendente en la extensión del bioplástico a medida que se elevaba la concentración de extracto de cáscara de mango. La muestra con un 15% de extracto evidenció la mayor capacidad de alargamiento y menor variabilidad, lo que señala un incremento en la flexibilidad y adaptabilidad del bioplástico, de manera que su expansión es adecuada en productos que necesitan resistencia a la deformación.

- **Fuerza de tracción**

Los resultados obtenidos fueron el promedio de doce repeticiones de cada concentración de muestra.

Tabla 22

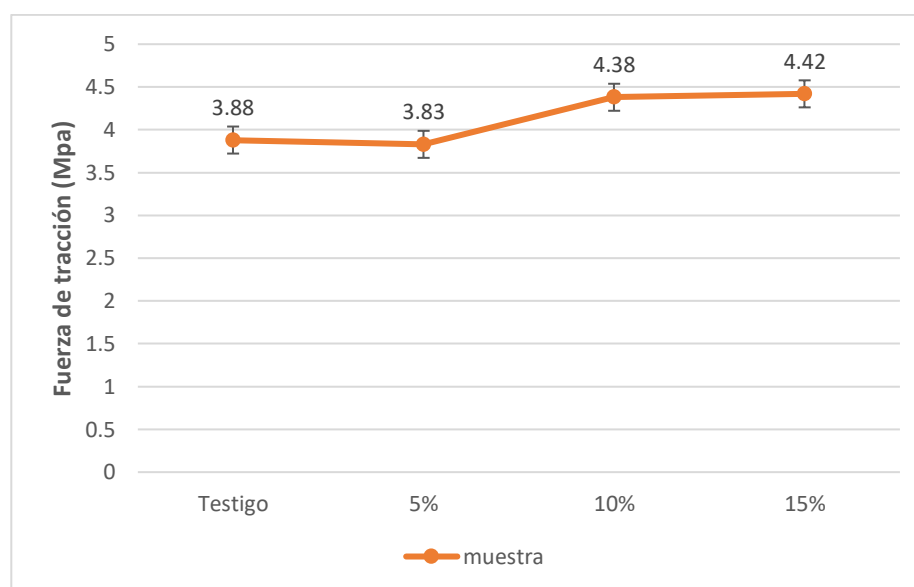
Resultado de la fuerza de tracción de los bioplásticos

Muestra	N = 48
	Fuerza de tracción
Testigo	3,88 ± 0,712
5%	3,83 ± 1,714
10%	4,38 ± 0,749
15%	4,42 ± 0,494

Nota. Los valores representan la media y desviación estándar de la fuerza de tracción por cada concentración de muestra. La muestra de control fue comparada con las concentraciones de 5%, 10%, y 15% de bioplástico para evaluar diferencias.

Figura 58

Descripción de la fuerza de tracción de los bioplásticos



Nota. La figura muestra la variación en la fuerza de tracción de los bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*).

La tabla 22 y figura 58 describe el resultado de fuerza de tracción correspondiente al promedio de doce réplicas:

La muestra observada, sin el extracto de cáscara de mango, registró una media de fuerza de tracción de 3,88 Mpa con una desviación estándar de 0,712 lo que constituyó el punto de partida para valorar el efecto del extracto en este indicador.

El 5% de extracto en la muestra mostró una fuerza de tracción media de 3,83 Mpa. No obstante, una elevada desviación estándar (1,714) mostró una gran variabilidad en la resistencia del material, probablemente a causa de una distribución inconsistente del extracto en la matriz del bioplástico.

El promedio de la muestra con un 10% de extracto fue de 4,38 Mpa lo que indicó un incremento en la fuerza de tracción en relación con las muestras anteriores. El bajo diámetro estándar (0,749) mostró una consistencia superior en la resistencia del bioplástico.

El extracto de cáscara de mango contenido en el 15% de la muestra evidenció la fuerza de tracción más alta, con un promedio de 4,42 Mpa y una desviación estándar de 0,494 la más baja de todas las muestras. Esto propuso una cohesión y uniformidad incrementadas en la estructura del bioplástico, potenciando su resistencia a la tracción.

Los hallazgos mostraron un aumento en la fuerza de tracción conforme se incrementaba la concentración de extracto de cáscara de mango, particularmente en las muestras del 10% y 15%, que lograron los valores más elevados con menor variabilidad. El 15% de extracto en la muestra evidencia una mayor resistencia y consistencia estructural, lo que sugiere que esta concentración mejoró la resistencia del bioplástico, pudiendo ser el más apropiado para usos que exigen una mayor capacidad de carga.

- **Resistencia de ruptura en punción**

Los resultados obtenidos fueron el promedio de seis repeticiones de cada concentración de muestra.

Tabla 23

Resultado de la fuerza de punción de los bioplásticos

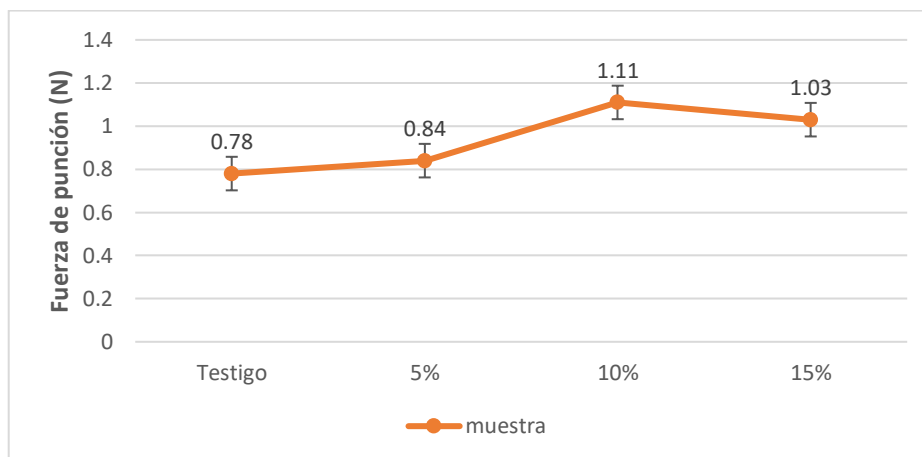
Muestra	N = 24
	Resistencia de ruptura en punción
Testigo	0,78 ± 0,160
5%	0,84 ± 0,207
10%	1,11 ± 0,079

15%	1,03 ± 0,250
-----	--------------

Nota. Los valores representan la media y desviación estándar de la fuerza de punción por cada concentración de muestra. La muestra de control fue comparada con las concentraciones de 5%, 10%, y 15% de bioplástico para evaluar diferencias.

Figura 59

Descripción de la fuerza de punción de los bioplásticos



Nota. La figura muestra la variación en la fuerza de punción de los bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*).

La tabla 23 y figura 59 describe el resultado de fuerza de punción correspondiente al promedio de seis réplicas:

La prueba sin el extracto de cáscara de mango tuvo una fuerza de punción promedio de 0,78 N. Esto nos da un punto de partida para comparar cómo afecta la adición del extracto a este parámetro.

Al agregar un 5% de extracto aumentó ligeramente la fuerza de punción promedio a 0,84 N. La desviación estándar más alta (0,207) mostró que la resistencia a la punción variaba más, posiblemente debido a que el extracto no estaba distribuido de manera uniforme en el material.

La muestra que contenía un 10% de extracto mostró la fuerza de punción más alta en promedio (1,11 N) con una

desviación estándar baja (0,079). Esto indicó una mejora significativa en la resistencia a la punción y una mayor uniformidad en la estructura del bioplástico.

En el grupo que contenía un 15% de extracto, la fuerza necesaria para perforar fue en promedio de 1,03 N. Una desviación estándar de 0,250 indicó que hay más variabilidad en las concentraciones altas que en las bajas, lo que pudo haber afectado la resistencia a la punción del bioplástico.

Agregar más cáscara de mango al bioplástico hizo que fuera más resistente a ser perforado. La muestra con un 10% de extracto fue la más fuerte y uniforme en su estructura.

Sin embargo, la prueba con un 15% de concentración mostró que la fuerza de perforación disminuyó un poco y los datos se dispersaron más. Esto sugiere que concentraciones más altas podrían hacer que el material sea menos consistente.

d) Resultado de la evaluación de las propiedades morfológicas del bioplástico elaborado a base de cáscara de mango.

- Estructura**

Las imágenes de cada concentración de muestra fueron obtenidas del SEM.

Tabla 24

Descripción de la propiedad morfológica de los bioplásticos

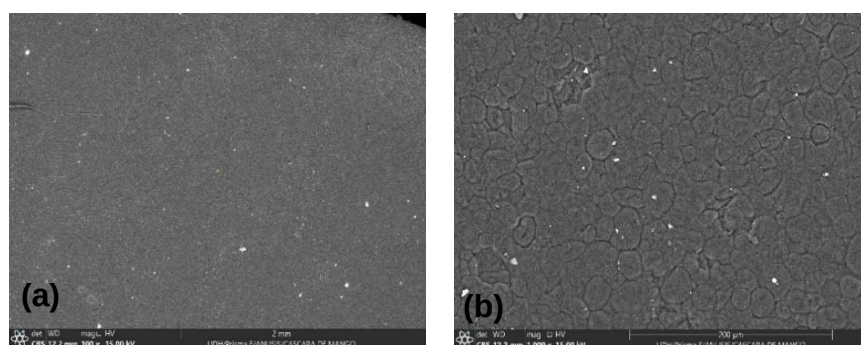
Muestra	N = 4		
	Magnificación	Superficie	Almidón
Testigo	100	Sin grietas, rugosidad, agujeros ni vacíos	No disueltas
	1000	Con protuberancias y fibras de cáscara	No disueltas
5%	100	Sin grietas, rugosidad, agujeros ni vacíos	No disueltas
	1000	Con protuberancias y fibras de cáscara	No disueltas
10%	100	Sin grietas, rugosidad, agujeros ni vacíos	No disueltas

15%	1000	Con protuberancias y fibras de cáscara	No disueltas
	100	Sin grietas, rugosidad, agujeros ni vacíos	No disueltas
	1000	Con protuberancias y fibras de cáscara	No disueltas

Nota. Los valores representan las características morfológicas observadas en cada concentración de muestra bajo dos niveles de magnificación. La muestra de control fue comparada con bioplásticos a concentraciones del 5%, 10%, y 15%.

Figura 60

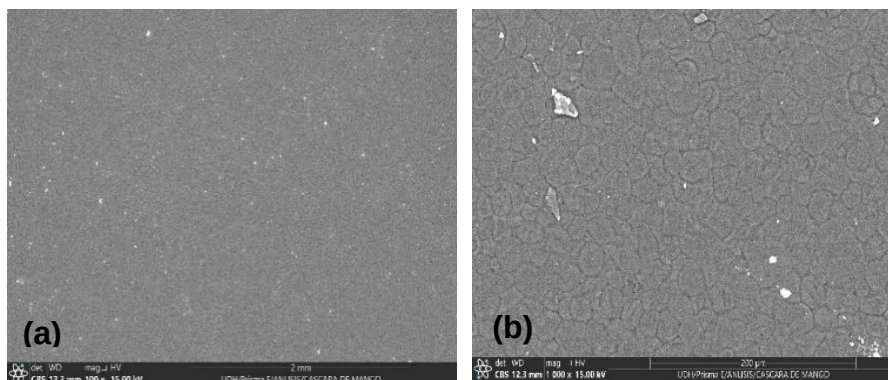
Imágenes SEM de bioplásticos a base de cáscara de mango M (T) a magnificación de x100 y x1000



Nota. La figura (a) bajo el nivel de magnificación x100 mostró características morfológicas con una superficie sin grietas, rugosidad, agujeros ni vacíos. Mientras que la figura (b) nivel de magnificación x1000 superficies con protuberancias y fibras de cáscara. En ambas se observ fracciones de almidón no disueltas.

Figura 61

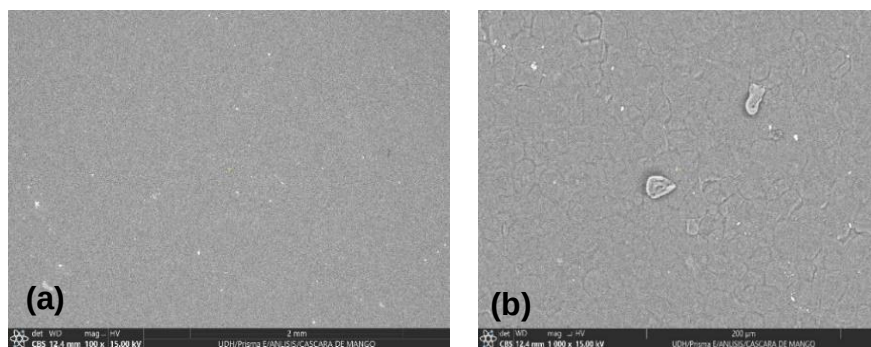
Imágenes SEM de bioplásticos a base de cáscara de mango M (5%) a magnificación de x100 y x1000



Nota. La figura (a) bajo el nivel de magnificación x100 mostró características morfológicas con una superficie sin grietas, rugosidad, agujeros ni vacíos. Mientras que la figura (b) magnificación x1000, superficies con protuberancias y fibras de cáscara. En ambas se observó fracciones de almidón no disueltas.

Figura 62

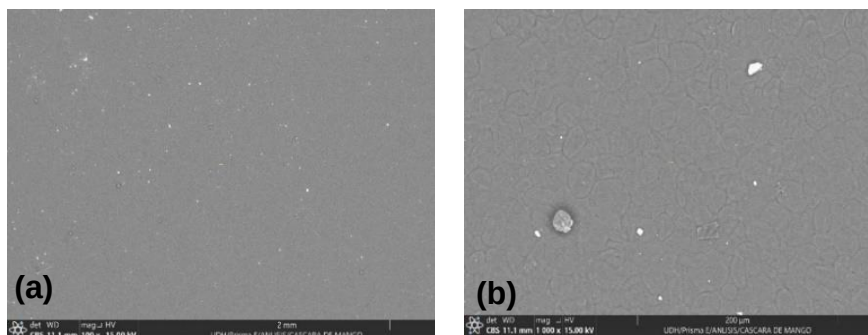
Imágenes SEM de bioplásticos a base de cáscara de mango M (10%) a magnificación de x100 y x1000



Nota. La figura (a) bajo el nivel de magnificación x100 mostró características morfológicas con una superficie sin grietas, rugosidad, agujeros ni vacíos. Mientras que la figura (b) magnificación x1000, superficies con protuberancias y fibras de cáscara. En ambas se observó fracciones de almidón no disueltas.

Figura 63

Imágenes SEM de bioplásticos a base de cáscara de mango M (15%) a magnificación de x100 y x1000



Nota. La figura (a) bajo el nivel de magnificación x100 mostró características morfológicas con una superficie sin grietas, rugosidad, agujeros ni vacíos. Mientras que la figura (b) magnificación x1000, superficies con protuberancias y fibras de cáscara. En ambas se observó fracciones de almidón no disueltas.

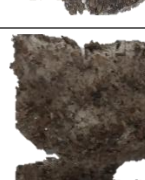
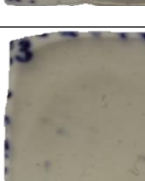
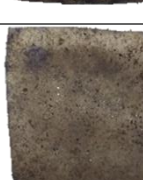
La tabla 24 y figuras 60 al 63 describe el resultado de las propiedades morfológicas a una ampliación de x100, se vio que tanto la muestra original como las mezclas de 5%, 10% y 15% tenían superficies lisas, sin grietas ni agujeros. La estructura fue uniforme y no tuvo imperfecciones visibles a simple vista, los componentes estuvieron distribuidos de manera adecuada en el material. Con un aumento mayor (x1000), se observaron bultos y fibras de la cáscara de mango en todas las muestras, confirmando la existencia de material vegetal en el bioplástico. También, en ambos aumentos y en todas las cantidades, se encontraron partículas de almidón que no se disolvieron por completo. Esta calidad podría afectar cómo se comporta y se descompone el bioplástico, ya que el almidón sin disolver puede crear áreas débiles en su estructura.

e) **Resultado de biodegradación elaborado a base de cáscara de mango, plástico compostable y convencional.**

El proceso se llevó a cabo desde el entierro de las muestras y las evaluaciones periódicas cada siete días hasta el día 28.

Figura 64

Proceso de biodegradación de plástico convencional, compostable y bioplásticos a base de cáscara de mango (M(T), 5%, 10% y 15%)

	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28
<i>Plástico convencional</i>					
<i>Plástico compostable</i>					
<i>Bioplástico testigo</i>					
<i>Bioplástico 5%</i>					
<i>Bioplástico 10%</i>					
<i>Bioplástico 15%</i>					

Nota. Las imágenes muestran el proceso de biodegradación observado en los intervalos de 0, 7, 14, 21 y 28 días.

Tabla 25

Resultado porcentual de biodegradación del plástico convencional, compostable y los bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango (T – 5% - 10% - 15)

Muestra	N = 18				
	Inicio	7 días	14 días	21 días	28 días
Plástico convencional	0%	0%	0%	0%	1%
Plástico compostable	0%	0%	1%	2%	3%
Bioplástico testigo	0%	12%	23%	46%	90%
Bioplástico 5%	0%	16%	28%	42%	57%
Bioplástico 10%	0%	4%	9%	21%	40%
Bioplástico 15%	0%	3%	7%	10%	18%

Nota. Los valores representan el porcentaje de biodegradación observado en los intervalos de 7, 14, 21 y 28 días. Se compararon las biodegradaciones del plástico convencional y del plástico compostable con las de los bioplásticos a concentraciones del 5%, 10% y 15%.

La tabla 25 y figura 64 describen el resultado de biodegradación de la muestra. El plástico normal apenas se descompuso, solo un 1% después de 28 días. En cambio, el plástico que se puede compostar mostró un aumento lento, con un 3% de división al final del tiempo de estudio.

Por otro lado, el bioplástico sin cáscara de mango se descompuso más rápidamente que el bioplástico con cáscara de mango. Al principio, se descompuso un 12% en una semana y llegó a descomponerse hasta un 90% en 28 días. Por último, el plástico ecológico con un 15% de cáscara de mango mostró la menor tasa de tratamiento de todos los plásticos probados. Al cabo de 7 días, solo se había degradado un 3%, y luego aumentó más lentamente hasta llegar al 18% después de 28 días.

En cuanto a la cantidad de cáscara de mango en los bioplásticos, el que tenía un 5% mostró una degradación constante

y bastante alta. Se descompuso en un 16% en los primeros 7 días y llegó al 57% a los 28 días. Los resultados muestran que el tipo de material y cantidad de cáscara de mango afectan el procesamiento de los plásticos analizados. Los bioplásticos que no tenían cáscara o que tenían menos cantidad de este material (5%) se descompusieron más fácilmente que los que tuvieron más cáscara de mango y plástico normal.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

Tabla 26

Resultados del ANOVA de medidas repetidas para las dimensiones de las propiedades físico-mecánicas y morfológicas de bioplásticos.

		Pruebas de efectos intra-sujetos				
		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Dimensiones	Esfericidad asumida	1625414,341	12	135451,195	7,222	,000
	Greenhouse-Geisser	1625414,341	1,001	1624326,302	7,222	,043
	Huynh-Feldt	1625414,341	1,001	1623510,910	7,222	,043
	Límite inferior	1625414,341	1,000	1625414,341	7,222	,043
Error (Dimensiones)	Esfericidad asumida	1125344,880	60	18755,748		
	Greenhouse-Geisser	1125344,880	5,003	224918,317		
	Huynh-Feldt	1125344,880	5,006	224805,410		
	Límite inferior	1125344,880	5,000	225068,976		

Nota. La tabla muestra los resultados de las pruebas de efectos intra-sujetos mediante el análisis de varianza (ANOVA) para las dimensiones de las propiedades físico-mecánicas y morfológicas de los bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*) en condiciones de laboratorio.

La tabla 26 de prueba intra-sujetos evidenció los datos de un análisis de varianza de medidas repetidas. La suma de los cuadrados de las dimensiones fue 1625414,341 con 12 grados de libertad. El valor cuadrático medio 135451,195. El valor F obtenido 7,222 y significancia (p) asumiendo que los datos son similares fue 0,000 lo cual muestra una diferencia importante entre las dimensiones. Aunque la prueba de esfericidad de Mauchly mostró que la esfericidad no se cumplió (W de

Mauchly = 0,000), los valores corregidos según Greenhouse-Geisser y Huynh-Feldt fueron 0,043. Esto significa que, incluso sin considerar la esfericidad, hubo diferencias importantes en las medidas.

Como el valor de p fue menor que 0,05 ($p = 0,000$ y $p = 0,043$), se pudo descartar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alternativa (H_{i1}). Esto indica que hay diferencias importantes en las características físicas y mecánicas, así como en la forma, de los bioplásticos hechos con cáscara de mango. Estas características fueron adecuadas y variaron según las dimensiones analizadas.

Por tanto, se aprueba la Hipótesis Alternativa (H_{i1}): Las propiedades físico-mecánicas y morfológicas son adecuadas de los bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*) a escala laboratorio, Huánuco – 2024. Ya que los resultados mostraron que hay características importantes que prueban que los bioplásticos fueron apropiados según los aspectos medidos.

Los hallazgos indicaron que las cualidades de las medidas analizadas (color, grosor, densidad, etc.) tuvieron un efecto positivo en las características de los bioplásticos, lo cual es importante para su avance y uso en diferentes sectores industriales.

Tabla 27

Resultados del ANOVA para la comparación de biodegradación entre bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango, plástico compostable y plástico convencional en diferentes días

		ANOVA				
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Biodegradación al inicio	Entre grupos	,000	5	,000	.	.
	Dentro de grupos	,000	12	,000		
	Total	,000	17			
Biodegradación día 7	Entre grupos	640,129	5	128,026	14,242	,000
	Dentro de grupos	107,873	12	8,989		
	Total	748,003	17			
Biodegradación día 14	Entre grupos	2037,978	5	407,596	25,400	,000
	Dentro de grupos	192,567	12	16,047		
	Total	2230,544	17			
Biodegradación día 21	Entre grupos	5880,992	5	1176,198	26,493	,000
	Dentro de grupos	532,753	12	44,396		
	Total	6413,745	17			
Biodegradación día 28	Entre grupos	18029,711	5	3605,942	149,143	,000
	Dentro de grupos	290,133	12	24,178		
	Total	18319,844	17			

Nota. Esta tabla presenta los resultados del ANOVA realizados para evaluar las diferencias de biodegradación entre bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango, plástico compostable y convencional en cinco intervalos de tiempo.

La tabla 27 de prueba ANOVA muestra una comparación de cómo se descompusieron varios tipos de plásticos en diferentes momentos (inicio, día 7, día 14, día 21 y día 28).

Al principio, los valores dentro de los grupos no mostraron diferencias, lo que indica que al principio no hubo variaciones notables en

la descomposición de los diferentes tipos de plásticos analizados. Esto es normal, porque la descomposición aún no había empezado.

Mientras que la descomposición a partir del séptimo día hasta el día 28, los valores de F fueron altos y muy significativos ($p < 0,05$ en cada periodo), lo que demuestra que hubo diferencias importantes en la descomposición de los diferentes tipos de plásticos en todos los días que se analizaron.

La media cuadrada y el valor de F aumentaron con el tiempo, especialmente en el día 28, donde F (149,143) y p (0,000). Este aumento significaba que las diferencias en descomposición entre los grupos se hicieron más grandes a medida que pasaba el tiempo.

Finalmente, dado que el valor de significancia fue 0,000 en todos los días estudiados, se aceptó la hipótesis de investigación: Existe diferencias de biodegradación de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango, el plástico compostable y plástico convencional.

Confirmándose que el bioplástico hecho de cáscara de mango, plástico compostable y plástico convencional se degradan de manera distinta a medida que pasa el tiempo. Este descubrimiento indica que los materiales que se descomponen naturalmente, como el elaborado, pueden tener un comportamiento distinto al plástico normal y compostable, resaltando su utilidad como una opción amigable con el medio ambiente.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Respecto al objetivo general: Analizar las propiedades físico-mecánicas y morfológicas del bioplástico elaborados a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*) a escala laboratorio, Huánuco – 2024.

Los resultados muestran que una mezcla con 4 gramos de almidón de maíz, 4 mililitros de vinagre, 50 mililitros de agua purificada; 0,15 mililitros de aceite esencial de canela y glicerina tiene un impacto importante en las características físicas y estructurales del bioplástico. Estos descubrimientos coinciden con lo mencionado por Acosta (2022) quien afirma que la cáscara de mango tiene propiedades mecánicas útiles. Puede ser utilizada para hacer portavasos, transporta-vasos, pizarras, material aislante para bebidas calientes y envases para dulces deshidratados de fruta. No obstante, tienen una opinión distinta a la de Anticono y Torres (2020) quienes dicen que se logran las mejores propiedades usando una mezcla diferente (7 g de almidón; 3,5 ml de glicerina, 2,1 ml de ácido acético y 50 ml de agua). La diferencia entre los resultados debe porque usaron diferentes ingredientes y formas de hacer los bioplásticos, lo que indica que la composición de los bioplásticos afecta la propiedad física y estructura. Estos resultados confirman la idea propuesta en la investigación, demostrando que el bioplástico hecho con cáscara de mango en las condiciones experimentales establecidas es adecuado para diferentes usos.

Conforme al primer objetivo específico: Identificar las propiedades físicas de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango.

En relación al color, se observó un tono gris claro que se hace más fuerte a medida que aumenta la cantidad de extracto de cáscara de mango. Esto se debe a que hay sustancias naturales en el extracto, como los carotenoides (zeaxantina y β -criptoxantina). Este descubrimiento coincide con investigaciones previas realizadas por Fernández y Gil (2023) Acosta (2022) y Gallardo y Velasquez (2021) quienes también observaron cambios en el color de las capas biológicas extraídas de desechos de mango. Estos estudios

indican que los colores naturales ayudan a que los bioplásticos tengan colores más vivos y parejos. Sin embargo, los estudios muestran resultados diferentes. Fernández y Gil (2023) encontraron un color marrón, mientras que Acosta (2022) un tono más oscuro en las muestras de mango en comparación con las de maracuyá, debido a las condiciones del proceso y tipo de residuo utilizado. Además, Gallardo y Velásquez (2021) mencionaron que era de color amarillo oscuro. Estos hallazgos indican que las características de color, están influenciadas por la cantidad de extractos naturales utilizados y condiciones de experimentación. Esto confirma que los pigmentos de la cáscara de mango afectan el color del bioplástico.

En lo que se refiere al espesor, las muestras analizadas (T, 5%, 10% y 15%) tuvieron medidas de 0,344 mm; 0,324 mm; 0,362 mm y 0,388 mm respectivamente. Se ha encontrado que, a mayor cantidad de extracto de cáscara de mango en el bioplástico, este es más grueso. La mayor medida registrada fue con un 15% de extracto. Este aumento puede ser causado por la mayor cantidad de sustancias sólidas en la mezcla, lo que ayuda a que la estructura sea más compacta y firme. Estos hallazgos coinciden con la investigación de Fernández y Gil (2023) quienes encontraron que los bioplásticos similares tenían un grosor de 0,45 mm y un tamaño de alrededor de 65 mm. Por su parte, Anticona y Torres (2020) encontraron variación en el grosor de su muestra 246,667 μ m. Las variaciones en el grosor final se deben a cambios en las formulaciones y en cómo se hacen, lo que indica que la cantidad de ingredientes sólidos es muy importante para la forma final del bioplástico.

En cuanto a la capacidad de disolverse y la variabilidad de los resultados (57,1766 $\pm$ 1,019; 53,6748 $\pm$ 0,470; 52,8007 $\pm$ 2,780 y 54,5339 $\pm$ 10,446), se nota que la solubilidad disminuye a medida que se llega al 10% de concentración. Esto indica que el bioplástico es menos propenso a descomponerse en agua, lo que mejora su estabilidad. Por otra parte, cuando hay más cantidad, la capacidad de disolverse aumenta un poco, pero esto no tiene un impacto importante en cómo funciona el material. Estos resultados coinciden con lo que encontraron. Anticona y Torres (2020) Ellos informaron

que la solubilidad fue de $42,584 \pm 0,623$ confirmando que una menor solubilidad es efectiva en bioplásticos con características parecidas.

Conforme al segundo objetivo específico: Identificar las propiedades mecánicas de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango.

En el estudio de la resistencia a la fuerza ($1,98 \pm 0,363$; $1,84 \pm 0,822$; $2,36 \pm 0,405$ y $2,65 \pm 0,298$), estiramiento ($3,88 \pm 0,712$; $3,83 \pm 1,714$; $4,38 \pm 0,749$ y $4,42 \pm 0,494$) y flexibilidad ($57,59 \pm 9,275$; $58,14 \pm 12,656$; $68,63 \pm 7,837$ y $76,99 \pm 7,441$) se nota que, al aumentar la cantidad de extracto de cáscara de mango, el bioplástico mejorará su resistencia y capacidad de estirarse, logrando los valores más altos al llegar al 15%. Esto indica que las sustancias en la cáscara, como el almidón y otros carbohidratos, ayudan a que la cáscara sea más fuerte y resistente. Los hallazgos son similares al realizado por Fernández y Gil (2023) Ellos también observaron un aumento en la resistencia de capas biológicas hechas con mango, resaltando la importancia de los elementos de las plantas en fortalecer la estructura del material. Además, según Avendaño (2022) los biopolímeros son muy flexibles y no se rompen cuando se les aplica la máxima fuerza, lo que demuestra que son resistentes a esfuerzos fuertes. Por otro lado, el estudio de Nazario et al. (2020) descubrió que, al agregar extracto de piel de mango a las películas, se vuelven más rígidas, pero menos elásticas y con menor capacidad para absorber agua. Esto demuestra los beneficios de utilizar los residuos de mango como material de empaque activo en la industria de alimentos porque mejoran la resistencia del bioplástico y tienen características especiales, al ser más rígidos con menos agua.

Por otro lado, investigaciones como la de Cavalcanti et al. (2020) han encontrado que los bioplásticos hechos de materiales vegetales como maíz y papa tienen distintos niveles de resistencia y capacidad de estiramiento. Con resistencia a la tracción de 0,73 MPa y 0,36 MPa, elongaciones de 7,5% y 3,4% respectivamente. Ates y Kuz (2020) encontraron que los bioplásticos con TiO₂ tienen una resistencia a ser estirados de 8,39MPa y se alargan un 62%. Por otro lado, Gallardo y Velasquez (2021) descubrieron que estos bioplásticos tienen una resistencia a ser estirados de 8,862MPa y se alargan

un 10,2%. Además, Anticon y Torres (2020) descubrieron que la resistencia a la tracción es de $0,376 \pm 0,083$ MPa y la elongación de rotura es de $33,045 \pm 3,829\%$.

Conforme al tercer objetivo específico: Identificar las propiedades morfológicas de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango.

El análisis morfológico mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) a x1000 se evidenció la presencia de protuberancias, almidón no disuelto y cáscaras de mango en la estructura del bioplástico. A x100 una distribución homogénea, ausencia de grietas y almidón no disuelto, lo cual indica una buena integración de los componentes. Estas investigaciones son coherentes con estudios previos donde el uso de residuos de frutas en bioplásticos ha demostrado una adecuada adherencia y uniformidad en la matriz del material, favoreciendo la estabilidad y resistencia del bioplástico.

Conforme al cuarto objetivo específico: Comparar la biodegradación de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango, plástico compostable y plástico convencional.

En cuanto a la descomposición, se descubrió que los bioplásticos hechos con cáscara de mango se descomponen más rápido que el plástico normal (1%) y el compostable (3%) en un período de 28 días. El bioplástico testigo se descompone en un 90% en 28 días. En cambio, los bioplásticos con un 5%, 10% y 15% de extracto se descomponen en un 57%, 40% y 18%, respectivamente. Esta conducta podría deberse a que la cáscara de mango contiene sustancias naturales y fibras de plantas que ayudan a los microorganismos a descomponerla.

Resultados contradictorios al de Avendaño (2022) quien también menciona que los bioplásticos hechos con residuos de mango se descomponen, pero de manera más rápida que lo observado en este estudio, lo que los hace útiles para ser usados en formas amigables con el medio ambiente. Igualmente, Cavalcanti et al. (2020) descubrieron que los plásticos hechos de almidón de papa se descomponen en 5 días, mientras que los hechos de almidón de maíz en 40 días. Sugieren que al agregar soluciones de silicato de sodio provenientes de fuentes renovables se puede mejorar la

capacidad de descomposición de los plásticos biodegradables, y también proporcionar propiedades antifúngicas en los envases. Proaño (2021) sugiere que, para mejorar la descomposición natural y aplicación en envolturas de alimentos, se puede tratar la cáscara de mango verde con bisulfito de sodio. Esto se debe a que la cáscara tiene más almidón y así se eliminan los taninos. De la misma manera, el estudio de Gallardo y Velásquez (2021) encontró que el mango se degrada en un 80% en tan solo una semana. Esto sugiere que los sorbetes hechos de este material son una opción efectiva y rápida para reemplazar a los tradicionales. Además, Sernaqué et al. (2020) indican que la cantidad de glicerol agregado al bioplástico afecta su capacidad de descomposición y acelera su velocidad a medida que se aumenta la cantidad.

Las diferencias en los niveles de descomposición pueden deberse a los tipos de materiales y sustancias añadidas, como el glicerol o el silicato de sodio, que afectan la rapidez con la que se descomponen. Además, la forma en que se preparan y tratan las cáscaras con el químico bisulfito de sodio, parece influir en la descomposición del bioplástico porque cambia su estructura y compuestos orgánicos. Esto indica que al crear bioplásticos se debe tener en cuenta de dónde proviene la materia prima y qué sustancias se añaden para que puedan descomponerse de manera efectiva.

La investigación muestra que el extracto de cáscara de mango no solo hace que el bioplástico sea más resistente y fuerte, sino que también ayuda a que se descomponga más fácilmente, lo que lo convierte en una buena opción para usar en el medio ambiente. Estos resultados muestran que se pueden usar restos de plantas en la creación de materiales que se descomponen naturalmente. Esto coincide con estudios anteriores y resalta la importancia de investigar más para ver si esto es viable a gran escala y en distintos entornos.

CONCLUSIONES

En la investigación se logró analizar las propiedades físico-mecánicas y morfológicas del bioplástico elaborados a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*) a escala laboratorio. Los resultados mostraron que estos materiales son adecuados para ser usados en el medio ambiente. Además, el extracto de cáscara de mango mejoró las características físicas, como el color, densidad, y propiedades mecánicas, como la resistencia y capacidad de estiramiento. Además, al estudiar la morfología, se observó que están bien distribuidas, lo que indica que tienen una estructura uniforme y unida.

Se logró identificar las propiedades físicas de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango. Los resultados mostraron cambios importantes en su aspecto, grosor y peso, dependiendo de la cantidad de extracto utilizada. Cuando hay más cáscara, el bioplástico se volvía más oscuro y menos denso. Esto indica que el extracto de planta afecta la estructura del material y cómo se ve.

Se logró identificar las propiedades mecánicas de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango. Se evidenció que la cáscara de mango cambió la resistencia y flexibilidad de los bioplásticos. Las muestras con más cantidad del extracto fueron más fuertes y flexibles, especialmente las que tenían un 15% de concentración. Esto significa que podían resistir mejor la tensión y fueron más maleables en usos prácticos.

Se logró identificar las propiedades morfológicas de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango. Al estudiar la forma, se observó que los bioplásticos con y sin extracto de cáscara de mango tenían sus componentes distribuidos de manera uniforme en su estructura. A mayor nivel de aumento, se encontraron partículas de almidón sin disolver por completo y fibras de plantas, especialmente en las muestras con más extracto, lo que contribuye a la resistencia y densidad del material.

Se logró comparar la biodegradación de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango, plástico compostable y plástico convencional. El plástico hecho con cáscara de mango se descompone más rápido que el

plástico normal y el compostable. No obstante, agregar cáscara de mango hizo que el bioplástico se descompusiera un poco más despacio que el bioplástico sin extracto. Las muestras con un 5% de cáscara se descompusieron bien, llegando al 57% en 28 días. Esto las hace prometedoras para ser usadas en desechos controlados y reciclaje natural para ayudar a reducir el impacto ambiental de la basura plástica. Estos descubrimientos respaldan la posibilidad de crear plásticos ecológicos a partir de fuentes renovables, destacando la cáscara de mango como un material alternativo para encontrar soluciones sostenibles en la industria del plástico.

RECOMENDACIONES

Una vez que se ha evaluado lo respetuoso con el medio ambiente que es este material hecho de la cáscara de mango, es necesario que sea considerado como una opción ecológica para reemplazar los plásticos tradicionales, ya que las propiedades físico-mecánicas y morfológicas de los bioclásticos elaborados a base de cascara de mango son adecuados.

Para las propiedades físicas de los bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango, se recomienda realizar bien la homogenización de la mezcla para obtener muestras más uniformes y evitar mayores variaciones.

Para las propiedades mecánicas de los bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango, se recomienda hacer el uso de concentraciones del 10% y 15% ya que tienen mayor compactación y resistencia.

Para las propiedades morfológicas de los bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango, se recomienda utilizar el equipo de laboratorio ultrasonido ya que puede aumentar la solubilidad en la estructura física de las partículas del almidón mostradas en el SEM.

Se recomienda a las universidades ofrecer cursos sobre bioplásticos y materiales de fácil descomposición. Estos proyectos deben abarcar teoría y práctica para que los estudiantes aprendan habilidades como usar materiales sostenibles y llevar a cabo investigación sobre recursos locales.

Se recomienda que los expertos en medio ambiente y sostenibilidad fomentar el uso de bioplásticos en áreas con mucha basura plástica [agricultura y alimentación]. Es importante crear reglas que animen a la gente a usar bioplásticos y hacer campañas para explicar cómo ayudan a reducir el impacto del medio ambiente; clave para que más personas los usen.

Se sugiere a los funcionarios gubernamentales crear y aplicar reglas que apoyen el uso de materiales amigables, y que den beneficios fiscales a las compañías que elijan usarlo. También, respetar las reglas que controlan el uso y desecho de plásticos. Esto ayudará a cambiar de a poco a las opciones más amigables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta. (2022). *Aprovechamiento de residuos de maracuyá (Passiflora edulis) y mango (Mangífera indica) para la elaboración de un bioplástico*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Pamplona, Repositorio institucional Universidad de Pamplona. doi:http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/5552/1/Acosta_2021_TG.pdf
- Agro krebs. (2022). Obtenido de <https://m.facebook.com/agrokrebs/photos/morfolog%C3%ADa-del-mangora%C3%ADzel-mango-tiene-una-ra%C3%ADz-principal-larga-de-la-que-ramifi/1317162298768219/>
- Agroquímicos Arca . (2022). Obtenido de https://www.facebook.com/permalink.php/?story_fbid=1983200278546890&id=1064814503718810&locale=da_DK
- Agwamba. (2020). Comparative study of sucrose plasticised bioplastic derivatives with selected petro-plastics. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 12(1), 386 - 394 . doi:<http://dx.doi.org/10.4314/bajopas.v12i1.58S>
- AIMPLAS. (25 de Agosto de 2024). *¿Qué son los bioplásticos?* Obtenido de <https://www.aimplas.es/blog/que-se-entiende-por-bioplásticos/#:~:text=Los%20biopl%C3%A1sticos%20son%20material es%20pl%C3%A1sticos,de%20fuentes%20f%C3%B3siles%20o%20n o>
- Amba et al. (2023). Preparation of bioplastic film from chitosan and mango (Mangifera Indica L. Anacardiaceae) kernel starch by casting method. *Applied Chemical Engineering*, 6(3). doi:<https://doi.org/10.24294/ace.v6i3.2819>
- Anticona, & Torres. (2020). *Efecto de la concentración de almidón de almendra de mango criollo (mangifera indica L.) en la obtención de películas*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruiz

- Gallo, Repositorio Institucional UNPRG. Obtenido de <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8715>
- Assuncao et al. (2021). Reduced Scale Laboratory for Training and Research in Condition-Based Maintenance Strategies for Combustion Engine Power Plants and a Novel Method for Monitoring of Inlet and Exhaust Valves. *Energies*, 14(19). doi:<https://doi.org/10.3390/en14196298>
- Ates , M., & Kuz, P. (2020). Starch-Based Bioplastic Materials for Packaging Industry. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 8. doi:<https://doi.org/10.29187/jscmt.2020.44>
- Atiweh et al. (2021). Environmental impact of bioplastic use: A review. *Heliyon*, 7(9). doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07918>
- Avendaño. (2022). *Evaluación de la síntesis de una película bioplástica a escala laboratorio a partir de residuos de mango (Mangífera Índica)*. Tesis de Licenciatura, Fundación Universidad de América, Repositorio institucional Universidad de América. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8828/1/6162928-2022-1-IQ.pdf>
- Bangar et al. (2021). Mango seed starch: A sustainable and eco-friendly alternative to increasing industrial requirements. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 1087-1817. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.157>.
- Barrett, J., Yang, W., Skolnik, S., Belliveau, L., & Patros, K. (2022). Discovery solubility measurement and assessment of small molecules with drug development in mind. *Drug Discovery Today*, 27(5), 11. doi:<https://doi.org/10.1016/j.drudis.2022.01.017>.
- Bezirhan et al. (2021). Innovative Technologies Adopted for the Production of Bioplastics at Industrial Level. In: Kuddus, M., Roohi (eds) Bioplastics for Sustainable Development. *Springer*, 83-101. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-16-1823-9_3
- Bher et al. (2023). Boosting Degradation of Biodegradable Polymers. *Macromol. Rapid Commun*, 44. doi:<https://doi.org/10.1002/marc.202200769>

- BIOCOLPOM CHILE. (25 de Agosto de 2024). *¿Qué es la biodegradación?* Obtenido de <https://biopolcom.cl/index.php/2019/07/19/que-es-la-biodegradacion/>
- Blancia. (2021). The Potential of Mango Starch and Snake Plant Fibers as Bio-Plastic. *Asian Journal of Plant Science and Research*(11), 171-175. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/354542219_The_Potential_of_Mango_Starch_and_Snake_Plant_Fibers_as_Bio-Plastic
- Casalino. (2022). *Impacto ambiental por el uso de bioplástico frente a las bolsas plásticas convencionales en Ica, 2021*. Tesis de Licenciatura, Universidad Cesar Vallejo, Repositorio Institucional UCV. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/87012/Casalino_D%c3%81FC-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cavalcanti , L., Rovani, S., Santos, J., Batista, D., Souza, S., Freire, F., . . . Alves, D. (2020). Biodegradable Films Derived from Corn and Potato Starch and. *ACS Applied Polymer Materials*, 27. Obtenido de <https://scihub.se/downloads/2020-05-15/fa/10.1021@acsapm.0c00124.pdf>
- Chitra et al. (2023). Bioplastic From Jumbled Fruit Peels - A Budding. *IJARST*, 13(3). Obtenido de <https://ijarsct.co.in/Paper10768.pdf>
- Climate CONSULTING. (26 de Agosto de 2024). *Biomasa: definición, ventajas y situación en España*. Obtenido de <https://climate.selectra.com/es/que-es/biomasa>
- Conti et al. (2021). Legislation to limit the environmental plastic and microplastic pollution and their influence on human exposure. *Environ Pollut*, 288(1). doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117708>
- Cortes. (2023). A importância da manobra de peso para a engenharia mecânica. *Rev Científica Sem Acadêmica*, 11(232), 1-15. Obtenido de https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/101_artigo_-_felippe_e_matheus_rev2_0.pdf
- Dekeba Tafa, k., Satheesh, N., & Abera, W. (2023). Mechanical properties of tef starch based edible films: Development and process optimization.

Helyon, IV, 14. doi:<https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2405-8440%2823%2900367-5>

Eriksen et al. (2023). A growing plastic smog, now estimated to be over 170 trillion plastic particles afloat in the world's oceans—Urgent solutions required. *PLOS ONE*, 18(3). doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281596>

EUROPARL. (25 de Agosto de 2024). *Economía circular: definición, importancia y beneficios*. Obtenido de <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>

Fernández, & Gil. (2023). *Publicación: Análisis de la viabilidad de una biopelícula fabricada a partir del almidón de la semilla del mango Tommy para uso en ingeniería de tejidos*. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Occidente, Repositorio institucional UAO. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10614/15148>

Flórez et al. (2023). Selected Biopolymers' Processing and Their Applications: A Review. *Polymers*, 15(3). doi:<https://doi.org/10.3390/polym15030641>

Flórez, & Gutiérrez. (2022). *Evaluación de bioplástico a partir de la semilla del mango*. Tesis de Licenciatura, Universidad Francisco de Paula Santander, Repositorio institucional UFPS. Obtenido de https://repositorio.ufps.edu.co/bitstream/handle/ufps/7271/1980966_1980897.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Folino et al. (2020). Biodegradation of Wasted Bioplastics in Natural and Industrial Environments: A Review. *MDPI*, 12(15). doi:<https://doi.org/10.3390/su12156030>

Gallardo, & Velasquez. (2021). *Elaboración de sorbetes biodegradables a partir de cáscara de Mangifera indica y Vitis vinífera*. Tesis de Licenciatura, Universidad Cesar Vallejo, Repositorio Institucional UCV. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/67476/Gallardo_BCV-Velasquez_RXA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Gauss. (2019). Fundamentos de la percepción del color. *Vincentz Network*. doi:<https://doi.org/10.1515/9783748600282-002>
- Group, A. (24 de Agosto de 2024). *Hidrocoloides, Modificando la textura de los alimentos*. Obtenido de <https://alfagroup.cl/hidrocoloides-modificando-la-textura-de-los-alimentos/>
- Guo et al. (2023). Pectin mediates the mechanism of host blood glucose regulation through intestinal flora. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-23. doi:<https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2173719>
- Hernández, & Mendoza. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Obtenido de <https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
- Hernández, B., Sáenz, C., Alberdi, C., & Diñeiro, J. (2016). CIELAB color coordinates versus relative proportions of myoglobin redox forms in the description of fresh meat appearance. *Springer*, 53, 4159-4167. Recuperado el 10 de Agosto de 2020, de <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-016-2394-6>
- Industrial Physics*. (12 de Agosto de 2024). Obtenido de <https://industrialphysics.com/es/normas/astm-d882-es/#:~:text=ASTM%20D882%20es%20un%20m%C3%A9todo,alimentos%20a%20productos%20de%20consumo.>
- INEI. (2024). *Producción nacional*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/inei/noticias/920802-produccion-nacional-aumento-1-37-en-enero-de-2024>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2022). *Estudio de tendencias de mercado - Mango*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12955/2025>
- Jong-Whan, R., Jun Ho, L., & Perry, K. (2007). Propiedades mecánicas y de barrera de películas biodegradables a base de aislado de proteína de soja recubiertas con ácido poliláctico. *Food Science and Technology*, 40(2), 232-238. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002364380500232X>

- karim et al. (2022). Pectin from lemon and mango peel: Extraction, characterisation and application in biodegradable film. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 4, 2666-8939. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carpta.2022.100258>
- Kumagai et al. (2020). Latest Trends and Challenges in Feedstock Recycling of Polyolefinic Plastics. *J-STAGE*, 63(6). doi:<https://doi.org/10.1627/jpi.63.345>
- Lebaka et al. (2021). Nutritional Composition and Bioactive Compounds in Three Different Parts of Mango Fruit. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18(2). doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph18020741>
- Liwei, A., & Guang-Hong, Y. (2020). Opacity Enforcement for Confidential Robust Control in Linear Cyber-Physical Systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 65(3). Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8747469>
- Llerena, & Monzón. (2017). *Elaboración de un Envase Biodegradable a partir de Almidón Obtenido de Arroz Quebrado (Oryza Sativa), Queratina Obtenida de Residuos Avícolas (Plumas) Fortificado con Residuos de Cáscaras de Mango (Mangifera Indica)*. Tesis de Licenciatura, Universidad Católica de Santa María, Repositorio Institucional UCSM. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e2e9f66d-5b3e-4bc3-b5b5-defd187b0835/content>
- López-Velázquez et al. (2023). Bioplastics: Environment-friendly materials and their production technologies. *Agro Productividad*, 16(5). doi:<https://doi.org/10.32854/agrop.v16i4.2373>
- Lubis et al. (2020). Mechanical, SEM and FTIR characteristics of bioplastics from mango seed starch with nanoparticle zinc oxide as filler and ethylene glycol as plasticizers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1003(1). doi:<http://doi.org/10.1088/1757-899X/1003/1/012122>

- Makhtar, S., Hamed, N., & Hamdan, M. (2024). 10 - Morphological analysis of photocatalytic membrane (SEM, FESEM, TEM). *Elsevier*, 15. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95418-1.00006-9>.
- Marcal, & Pintado. (2021). Mango peels as food ingredient / additive: nutritional value, processing, safety and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 472-489. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.012>
- Maulida et al. (2018). Utilization of mango seed starch in manufacture of bioplastic reinforced with microparticle clay using glycerol as plasticizer. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 309(1). doi:<http://doi.org/10.1088/1757-899X/309/1/012068>
- mexpolimeros. (Agosto de 2020). Obtenido de <https://www.mexpolimeros.com/lab/astm-d-792.html>
- MINAM. (25 de Agosto de 2020). *Menos plástico más vida*. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/>
- Mwaurah et al. (2020). Physicochemical characteristics, bioactive compounds and industrial applications of mango kernel and its products: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(2), 1-26. doi:<http://doi.org/10.1111/1541-4337.12598>
- Nazario et al. (2020). Reinforcement of mango seed starch based biodegradable films through incorporation of mango peel extracts for active packaging [Reforzamiento de películas biodegradables de almidón de semilla de mango mediante la incorporación de extracto de piel de mango. *LACCEI*. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/28008/Reinforce%20of%20mango%20seed%20starch%20based%20biodegradable%20films%20through%20incorporation.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Olugbenga, O., Temitayo, F., Oluwasegun, J., & Idahagbon, N. (2018). Mejora de las propiedades físicas y mecánicas de las películas de almidón de

- Dioscorea dumetorum con una solución de almidón dialdehído. *Starch*, 70(3-4). doi:<https://doi.org/10.1002/star.201700148>
- Oluwasina, O. o., Fayola, T., Wahab, O. J., & Idahagbon, N. B. (2017). Enhancement of Physical and Mechanical Properties of Dioscorea Dumetorum Starch Films. *Starch - Stärke*, 26. doi:<https://doi.org/10.1002/star.201700148>
- Pacheco et al. (2023). otencial industrial de la cáscara de mango (Mangifera indica L.) para la obtención de pectina en México. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 24(1). doi:<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.419>
- Paul et al. (2019). Varietal variations in rate of ripening and respiration of mango (Mangifera indica L.) fruits: anatomical substantiation. *Plant Physiol. Rep*, 24, 340-350. doi:<https://doi.org/10.1007/s40502-019-00466-8>
- Peréz Porto , J., & Merino, M. (05 de Octubre de 2022). *Almidón - Qué es, características, importancia y beneficios*. Obtenido de <https://definicion.de/almidon/>
- Pérez Porto, J., & Merino, M. (24 de Enero de 2023). *Opacidad - Qué es, en el lenguaje coloquial, definición y concepto*. Obtenido de <https://definicion.de/opacidad/>
- Picot-Allain et al. (2022). Extraction, Characterisation, and Application of Pectin from Tropical and Sub-Tropical Fruits: A Review. *Food Reviews International*, 38(3). doi:<https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1733008>
- Pintaude. (2023). Hardness as an indicator of material strength: a critical review. *Revisiones críticas en ciencias de materiales y estado sólido* , 48(5), 623-641. doi:<https://doi.org/10.1080/10408436.2022.2085659>
- Plus, C. (20 de Agosto de 2024). *Fibra alimentaria*. Obtenido de <https://cuidateplus.marca.com/alimentacion/diccionario/fibra.html>
- Proaño. (2021). *Obtención de una película a partir de cáscara de mango (Mangifera indica) para el uso en alimentos*. Tesis de Licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Respositorio Institucional

ESPOCH.

doi:<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16936/1/96T00763.pdf>

- Quispe. (2024). *Análisis de mercado y comercialización de pulpa deshidratada de mango peruano (Mangifera indica Mill.) en Estados Unidos 2016-2020*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina, Repositorio Institucional UNALM. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/6284/quispe-lujan-gabriel-jesus.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rita Ferraz, A., Goulao, M., Santo, C. E., Anjos, O., Serralheiro, M. L., & Pintado, C. M. (2023). Novel, Edible Melanin-Protein-Based Bioactive Films for Cheeses: Antimicrobial, Mechanical and Chemical Characteristics. *MDPI, XII*, 20. doi:<https://www.mdpi.com/2304-8158/12/9/1806>
- Rojas. (2022). Hacia una teoría unificada de la mecánica de suelos: el uso de tensiones efectivas en suelos no saturados (tercera edición). *Bentham Science Publishers*, 10. doi:<https://doi.org/10.2174/97898150503561220101>
- RPP. (21 de Agosto de 2020). *Huánuco: constatan alto grado de contaminación en el río Huallaga*. Obtenido de <https://rpp.pe/peru/huanuco/huanuco-constatan-alto-grado-de-contaminacion-en-el-rio-huallaga-noticia-1049689>
- Sernaqué et al. (2020). Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de *Mangifera indica* y *Musa paradisiaca*. *Centro Agrícola*, 47(4). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852020000400022
- Shaibu et al. (2022). Short Communication: Extraction and characterization of pectin from ripe and unripe mango (*Mangifera indica*) peel. *Asian J Nat Prod Biochem*, 20(1), 16-20. doi:<https://doi.org/10.13057/biofar/f200104>

- Sharma et al. (2021). Bioplastics advances and their role in the management of plastic pollution. *NeuroPharmac Journal*, 6(2), 229-240. Obtenido de <https://www.neuropharmac.com/bioplastics-advances-and-their-role-in-the-managemet-of-plastic-pollution/>
- SINTAC. (24 de Agosto de 2024). ¿Qué es un polímero? Definición, tipos y materiales. Obtenido de <https://sintac.es/polimeros-que-es-tipos-materiales/>
- Srihanam et al. (2023). Phase Morphology, Mechanical, and Thermal Properties of Calcium Carbonate-Reinforced Poly(L-lactide)-b-poly(ethylene glycol)-b-poly(L-lactide) Bioplastics. *MDPI*, 15(2). doi:<https://doi.org/10.3390/polym15020301>
- Suleria et al. (2020). Screening and Characterization of Phenolic Compounds and Their Antioxidant Capacity in Different Fruit Peels. *Foods*, 9(9). doi:<https://doi.org/10.3390/foods9091206>
- Supo, J. (2024). Metodología de la investigación científica. En J. Supo, & H. Zacarías, *Niveles de Investigación* (Cuarta ed., pág. 344). Arequipa, Perú: BIOESTADISTICO EEDU EIRL.
- Susmitha et al. (2021). Development and characterization of corn starch-gelatin based edible films incorporated with mango and pineapple for active packaging. *Food Bioscience*, 41. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100977>.
- Tan et al. (2022). Characterization and Parametric Study on Mechanical Properties Enhancement in Biodegradable Chitosan-Reinforced Starch-Based Bioplastic Film. *Polymers*, 14(2). Obtenido de <https://doi.org/10.3390/polym14020278>
- Tschentscher et al. (2020). Influence of humidity on conduction processes in gas-insulated devices. *High Voltage*, 5(2), 143-150. doi: <https://doi.org/10.1049/hve.2019.0315>
- Valdivieso et al. (2021). Carboxylic acid-catalysed hydrolysis of polygalacturonic acid in subcritical water media. *The Journal of Supercritical Fluids*, 169. doi:<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.105103>

- Vieira, & Braga. (2020). Desenvolvimento do conceito de densidade no ensino fundamental / development of the concept of density in elementary education. *Revista Dynamis. Furb, Blumenau*, 6(1), 102-110. doi:<https://doi.org/10.7867/1982-4866.2020v26n1p102-115>
- Wagh et al. (2022). International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology. *IJRASET*, 10(3), 2-4. Obtenido de <https://www.ijraset.com/best-journal/plastic-buyback-policy>
- WasteTrade. (20 de Agosto de 2024). *Definición de plástico*. Obtenido de <https://www.wastetrade.com/es/resources/plastics/introduction-to-plastics/definition-of-plastics/>
- Widhiantari et al. (2021). Optimización de propiedades mecánicas de bioplásticos con la adición de ZnO y plastificante de glicerol. *Ciencia*, 712. doi:<http://doi.org/10.1088/1755-1315/712/1/012003>
- Zhang , K., Cao, Y., & Xi, S. (2024). Study on Physical Mechanisms of Thickness Effect of Incremental Hole-Drilling Method Based on Energy Analysis. *Metals*, 14(1), 15. doi:<https://doi.org/10.3390/met14010086>

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

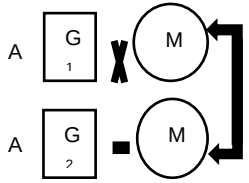
Barrera Falcón, P. (2024). Evaluación de propiedades físico-mecánicas y morfológicas de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*) a escala laboratorio Huánuco – 2024 [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y MORFOLÓGICAS DE BIOPLÁSTICOS ELABORADO A BASE CÁSCARA DE MANGO (*Mangifera indica*) A ESCALA LABORATORIO, HUÁNUCO – 2024”

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VAR IAB LES	DIMENSI ONES	INDICADO RES	METODOLOGÍA
GENERAL: ¿Cuáles son las propiedades físico-mecánicas y morfológicas del bioplástico elaborados a base de cáscara de mango (<i>Mangifera indica</i>) a escala laboratorio, Huánuco – 2024?	GENERAL: Analizar las propiedades físico-mecánicas y morfológicas de bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango (<i>Mangifera indica</i>) a escala laboratorio, Huánuco – 2024.	GENERAL: Hi. Las propiedades físico-mecánicas y morfológicas son adecuadas de los bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango (<i>Mangifera indica</i>) a escala laboratorio, Huánuco – 2024. Ho. Las propiedades físico-mecánicas y morfológicas no son adecuadas de los bioplásticos elaborados a base de cáscara de mango (<i>Mangifera indica</i>) a escala laboratorio, Huánuco – 2024.	Cáscara de mango (<i>Mangifera indica</i>)	Caracterización Procesabilidad	Humedad Materia seca Fibra Homogenización Color Espesor	CONFIGURACIÓN TIPO DE INVESTIGACIÓN Aplicado, prospectivo y transversal (Supo, 2024). NIVEL DE INVESTIGACIÓN Explicativo Hernández y Mendoza (2018) ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN cuantitativo. Hernández y Mendoza (2018), DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Cuantitativo experimental puro con posprueba únicamente y grupo de control. 
ESPECIFICOS:	ESPECIFICOS:	ESPECIFICOS:				MÉTODOS TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN Observación y análisis documental Hernández y Mendoza (2018) INSTRUMENTO Ficha de registro para elaboración del bioplástico. Ficha de registro para el análisis de las propiedades físico-mecánicas. Ficha de registro para el análisis del tiempo de biodegradación. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Se presentará una solicitud detallada al

Pe1. ¿Cuáles son las propiedades físicas del bioplástico elaborado a base de cáscara de mango?	Pe1. Identificar las propiedades físicas del bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango.	Hi. Existe diferencias de biodegradación de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango y el plástico compostable y convencional.	Propiedades físicas	Densidad Opacidad Humedad Solubilidad	Donde: A: Asignación al azar o aleatoria. G: Grupo de casos: G ₁ , Grupo 1: Experimental: bioplástico con cáscaras de mango. G ₂ , Grupo 2: De control: plástico compostable y convencional. X: Condición experimental.	laboratorio de la UNHEVAL. Se solicitará la colaboración de un experto del laboratorio. Se aplicará la técnica de observación directa para registrar las características físicas de los bioplásticos. Los datos recolectados se tabularán en el Excel y se procesará en el SPSS.
Pe2. ¿Cuáles son las propiedades mecánicas del bioplástico elaborado a base de cáscara de mango?	Pe2. Identificar las propiedades mecánicas del bioplástico elaborado a base de cáscara de mango.	Ho. No existe diferencias de biodegradación de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango y el plástico compostable y convencional.	Propiedades físicas o-mecánicas y morfológicas	Fuerza de ruptura en tensión	POBLACIÓN 2 kilos de mango (<i>Mangifera indica</i>). MUESTRA 400 g de cáscara (<i>Mangifera indica</i>).	El análisis descriptivo, las variables categóricas se presentarán mediante tablas de frecuencia y gráficos de barras, cuantitativas continuas medidas de tendencia central media, mediana, moda.
Pe2. ¿Cuáles son las propiedades morfológicas del bioplástico elaborado a base de cáscara de mango?	Pe2. Identificar las propiedades morfológicas del bioplástico elaborado a base de cáscara de mango.			Resistencia de tracción		El análisis inferencial, se realizará mediante ANOVA
Pe3. ¿Cuáles son las diferencias de biodegradación del bioplástico elaborado a base de cáscara de mango y el plástico compostable y el plástico convencional?	Pe3. Comparar la biodegradación del bioplástico elaborado a base de cáscara de mango y el plástico compostable y el plástico convencional.		Propiedades morfológicas	Elongación		
				Resistencia de ruptura en punción		
				Estructura		
			Biodegradación	Días		

ANEXO 2

INSTRUMENTOS

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Código: 2001

Fecha: 23, 08, 2024

FICHA DE REGISTRO PARA ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO A PARTIR DE CÁSCARA DE MANGO (*Mangifera Indica*)

Título de la Investigación: “Evaluación de propiedades físico-mecánicas y morfológicas de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*) a escala laboratorio, Huánuco–2024”.

Instrucciones: Rellene los siguientes enunciados de acuerdo a la observación de la muestra. El presente estudio es con fines académicos y tiene carácter de confidencialidad y derechos de autor.

Gracias.

DIMENSION 1: Caracterización							
Fecha: 22/08/2024				Hora: 18:00			
Investigadora: Barrera Falcon Patricia							
Muestra (repeticiones)	Peso (g)	Humedad (%)	Materia seca (%)	Fibra (%)			
1	5	93.935	6.065	10.1			
2	5	93.934	0.066	9.0			
3	5	93.936	0.064	9.8			
DIMENSION 2: Procesabilidad							
Fecha: 01/08/2024				Hora: 18:00			
Investigadora: Barrera Falcon Patricia							
Muestra	Cáscar a de mango picada (g)	Muestr a triturd a y colada (g)	Homogeneidad de la mezcla				
			Maicen a (g)	Vinagr e blanco (ml)	Glicerín a (ml)	Agua destilad a (ml)	Aceite esenci al de canela (ml)
M(T)	400g	0g	4g	4ml	4ml	50ml	0,15ml
M (5%)	400g	1.250g	4g	4ml	4ml	50ml	0,15ml
M (10%)	400g	2.500g	4g	4ml	4ml	50ml	0,15ml
M (15%)	400g	3.750g	4g	4ml	4ml	50ml	0,15ml

Fuente. (Gallardo & Velasquez, 2021)

ANEXO 3
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Código 2002

Fecha: 12, 09, 2024

**FICHA DE REGISTRO PARA EL ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES
FÍSICO-MECÁNICAS DEL BIOPLÁSTICO DE CÁSCARA DE MANGO
(*Mangifera indica*)**

Título de la Investigación: “Evaluación de propiedades físico-mecánicas y morfológicas de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*) a escala laboratorio, Huánuco–2024”.

Instrucciones: Rellene los siguientes enunciados de acuerdo a la observación de la muestra. El presente estudio es con fines académicos y tiene carácter de confidencialidad y derecho de autor.

Gracias.

DIMENSION 1: Propiedades físicas						
Fecha: 05/09/2024			Hora: 18:00			
Investigadora: Barrera Falcon Patricia						
Muestra	Color (ΔE)	Espesor (mm)	Densidad (g/cm3)	Humedad (%)	Opacidad (%)	Solubilidad (%)
M(T)	3.03	0.344	0.115	37.08	0.685	57.18
M (5%)	6.62	0.324	0.121	38.95	0.787	53.68
M (10%)	7.39	0.362	0.110	34.29	0.819	52.80
M (15%)	10.87	0.382	0.108	32.63	0.831	54.53
DIMENSION 2: Propiedades mecánicas						
Fecha:09/09/2024			Hora: 18:00			
Investigadora: Barrera Falcon Patricia						
Muestra	Resistencia de ruptura en tensión (N)	Elongación (%)	Fuerza de tracción (MPa)		Resistencia de ruptura en punción (N)	
M(T)	1.98	57.59	3.88		0.78	
M (5%)	1.84	58.14	3.83		0.84	
M (10%)	2.36	68.63	4.38		1.11	
M (15%)	2.65	76.99	4.42		1.03	

Fuente. (Gallardo & Velasquez, 2021).

ANEXO 4

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Código 2003
2024

Fecha: 18, 09,

FICHA DE REGISTRO PARA EL ANÁLISIS DEL TIEMPO DE BIODEGRADACIÓN DE BIOPLÁSTICO DE CÁSCARA DE MANGO (*Mangifera indica*).

Título de la Investigación: “Evaluación de propiedades físico-mecánicas de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*) a escala laboratorio, Huánuco – 2024”.

Instrucciones: Rellene los siguientes enunciados de acuerdo a la observación de la muestra. El presente estudio es con fines académicos y tiene carácter de confidencialidad y derecho de autor.

Gracias.

Tiempo de degradación						
Fecha:17/09/2024				Hora: 18:00		
Investigadora: Barrera Falcon, Patricia						
Pesos del proceso de degradación						
Muestra	Tipo de muestra	Días				
		Dia 0	Dia 7	Dia 14	Dia 21	Dia 28
		Peso inicial (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso final (g)
1	Plástico convencional	0%	0%	0%	0%	1%
2	Plástico compostable	0%	0%	1%	2%	3%
3	Bioplástico (T)	0%	12%	23%	46%	90%
4	Bioplástico (5%)	0%	16%	28%	42%	57%
5	Bioplástico (10%)	0%	4%	9%	21%	40%
6	Bioplástico (15%)	0%	3%	7%	10%	18%

Fuente. (Gallardo & Velasquez, 2021).

ANEXO 5

**UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN**

**SOLICITUD DE PERMISO A LA ENTIDAD DONDE EJECUTARÁ EL
ESTUDIO**

**“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y
de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”**

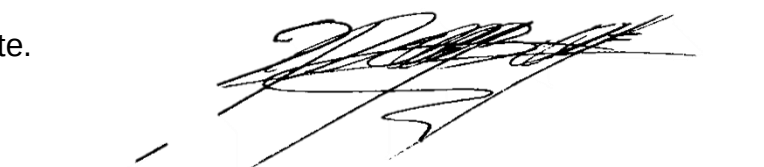
**ASUNTO: SOLICITO AUTORIZACION PARA ACCEDER A LAS
INSTALACIONES DEL LABORATORIO CLÍNICO CON FINES
DE INVESTIGACIÓN**

Señor director:

Es grato dirigirme a su persona y expresarle mis saludos cordiales, al mismo tiempo manifestarle que soy bachiller de la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Huánuco; me dirijo a su persona para solicitarle la autorización y acceso al laboratorio de la institución para la recolección de datos que son necesarios para medir el estudio a través del instrumento elaborado y llevar a cabo el proyecto titulado: **“Evaluación de propiedades físico-mecánicas de bioplásticos elaborado a base cáscara de mango (*Mangifera indica*) a escala laboratorio, Huánuco – 2024”**.

Agradezco por anticipado su atención brindada.

Atentamente.



**Barrera Falcon, Patricia
(Tesisista)**

ANEXO 6

CARTA DE SOLICITUD



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL



CARTA DE SOLICITUD

Huánuco, 25 de junio de 2024

Señor (a):

Dr. ROGER ESTACIO LAGUNA

DIRECTOR

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL Y UNIDAD
DE INVESTIGACIÓN

Presente.-

De mi consideración:

Por el presente es grato dirigirme a usted para hacerle llegar un saludo cordial de parte de la Universidad de Huánuco y del Programa Académico de Ingeniería Ambiental, y a la vez presentarle a la **Señorita: PATRICIA BARRERA FALCON**, bachiller del programa en mención, quien ha cumplido con los requisitos necesarios para la realización de su tesis, por lo que solicito brindarle su apoyo y facilidades del caso para la ejecución de su tesis (experimental), en el laboratorio de investigación que cuenta su escuela académica, mencionada tesis "Evaluación de propiedades físico-mecánicas de bioplásticos elaborado a base de cáscara de mango (*Mangifera indica*) a escala laboratorio, Huánuco – 2024".

Agradeciendo la atención que se sirva brindar al presente, reitero a usted las muestras de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
P.A. INGENIERÍA AMBIENTAL

Mg. FRANK E. CAMARA LLANOS
COORDINADOR ACADÉMICO

ANEXO 7

PROVEÍDO



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia
y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"
UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



PROVEÍDO N° 0024 - 2024-UNHEVAL/FCA/DEPIAINO/D

AL: DR. JUAN VLLANUEVA TIBURCIO
RESPONSABLE DE LABORATORIO DE ANÁLISIS POR INSTRUMENTACIÓN
M.SC. RUTH ESTHER CHAMORRO GOMEZ
RESPONSABLE DE LABORATORIO FÍSICO-QUÍMICO
MG. GEANNINE RIOS GARCIA
RESPONSABLE DE LABORATORIO DE PROCESOS AGROINDUSTRIALES ALIMENTARIOS

ASUNTO: AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.

REF.: Solicitud (12.07.2024)

FOLIOS: Tres (03)

FECHA: Cayhuayna, 12 de julio de 2024

☐ Su conocimiento	<u>Su atención</u>
☐ Su autorización	<u>Su control previo</u>
☐ Tramitar	Revisar
☐ Comunicar	Informe
☐ Fines pertinentes	Archivar

Para que brinde las facilidades, de ser posible, a al bachiller Patricia BARRERA FALCON de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Huánuco, en el uso de laboratorio para desarrollo de tesis.



Atentamente,

Dr. Roger Estacio Laguna
DIRECTOR

Av. Eschban Pavletich N°172, Píleo Marca - Huánuco
Teléfono 062 - 591073

Atentamente.

Barrera Falcon, Patricia
(Tesisista)



ANEXO 8

INFORME DE ENSAYO



LABORATORIO DEL CITEAGROINDUSTRIAL UT AMBO

INFORME DE ENSAYO N° 240902.01

1 de 1

Emitido en Ambo, 2 de septiembre de 2024

N° de solicitud de ensayo : 240814.01
Nombre del cliente o razón social : BARRERA FALCON VANESA PILAR
Dirección del solicitante : CALLE LAS PALMAS N°: 221 – HUANUCO / HUANUCO /
PILCO MARCA
RUC del solicitante : 10722193305
Producto declarado : Extracto de cáscara de mango
Presentación de la muestra : Empaque x 5 g
Cantidad de la muestra : 1 Empaque
Codificación/lote : 24082201.01/ LOTE: N/A
Lugar y fecha de muestreo : No aplica
Procedencia de la muestra : Muestra proporcionada por el cliente
Fecha de recepción : 22/08/2024
Temperatura de recepción : Temperatura ambiente
Fecha de análisis : 22/08/2024

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

DETERMINACIONES	UNIDADES	RESULTADO 1	RESULTADO 2	RESULTADO 3	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Fibra	%	1.66	1.48	1.62	1.58	0.09

<u>ENSAYO</u>	<u>NORMA O REFERENCIA</u>
Fibra	AOAC 973.18-1977, Fiber (acid detergent) and lignin (H2SO4) in animal feed.



Firmado digitalmente por:
CORDOVA GONZALES ELEONORA
FIR 73604988 hard
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 02/09/2024 10:55:10-0500

Eleonora Cordova Gonzales
Responsable de Laboratorio
CITEagroindustrial – UT Ambo
CBP 15103

OBSERVACIONES: Ninguna.

FIN DEL DOCUMENTO

ANEXO 9

FICHA TÉCNICA DEL ACEITE ESENCIAL DE CANELA



ACEITE ESENCIAL DE CANELA Ficha técnica

Identidad:	Aceite esencial de canela
Parte de la planta extraída:	Ramitas frondosas
Nombre botánico:	<i>Cinnamomum cassia</i>
Familia botánica:	Lauráceas
País de origen:	China
Cultura:	Orgánica
Proceso para la obtención:	Destilación completa por arrastre de vapor
Calidad:	Aceite esencial definido botánica y bioquímicamente (HEBBD) 100% puro (libre de otros aceites esenciales) 100% integral (sin decoloración, sin detergencia, sin rectificación) 100% natural (no desnaturalizado con moléculas sintéticas)
Presentación / Lote:	Botellas de vidrio ámbar con gotero / LT: 24601
Fecha de producción:	Junio 2023
Usar antes de:	Junio 2026
Propiedades organolépticas:	Apariencia: Líquido límpido y móvil Color: Amarillo ambarino Olor: Picante, especiado, característico de la canela Densidad: 1.06 - 1.07
Punto de inflamación:	90 °C
Solubilidad:	Insoluble en agua
Composición:	Principales componentes bioquímicos - Cromatografía de gases: Aldehídos: (E)-cinamaldehído (81.89%), (Z)-cinamaldehído (0.36%), benzaldehído (1.20%), trans-2-metoxycinamaldehído (8.65%) Ésteres: acetato de cinamilo (0.36%)

*Según la DIGEMID este producto no requiere registro sanitario por ser comercializado como un insumo para aromaterapia (expediente N° 19-072279-1)



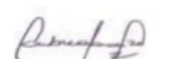
ANEXO 10

FICHAS DE REGISTROS (Gallardo & Velasquez, 2021)

Ficha de registro N°1: Análisis de las características de las cáscaras de *Mangifera indica* y *Vitis vinifera*.

Características de las cáscaras					
Fecha :			Hora :		
Investigadoras:					
Muestra	Peso (g)	Densidad	Humedad	Porcentaje de Almidón	Porcentaje de celulosa


Dr. Elmer G. Benites Alfaro
CIP. 71998

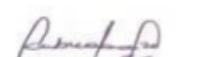

Dr. Carlos F. Cabrera Carranza
CIP. 46572
DNI.17402784


José Julio Romero Galaz
DNI: 08447308

Ficha de registro II: Elaboración de los sorbetes biodegradables a partir de cáscaras de *Mangifera indica* y *Vitis vinifera*.

Elaboración de sorbetes								
Fecha:				Hora:				
Investigadoras:								
Repeticiones	Cáscara de <i>Mangifera indica</i> (g)	Cáscara de <i>Vitis vinifera</i> (g)	Maicena (g)	Vinagre Blanco(ml)	Glicerina (ml)	Limón (ml)	Agua destilada	Canela


Dr. Elmer G. Benites Alfaro
CIP. 71998

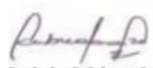

Dr. Carlos F. Cabrera Carranza
CIP. 46572
DNI.17402784


José Julio Romero Galaz
DNI: 08447308

Ficha de registro III: Análisis de las características físicas de los sorbetes biodegradables a partir de cáscaras de **Mangifera indica** y **Vitis vinifera**.

Características físicas				
Fecha :			Hora :	
Investigador:				
Muestra	Peso (g)	Densidad	Color	Humedad (%)


Dr. Elmer G. Benites Alfaro
CIP. 71998

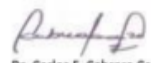

Dr. Carlos F. Cabrera Carranza
CIP. 46572
DNI.17402784


Jhon Julio Pacheco Galaz
DNI: 08447308

Ficha de registro IV: Análisis de las características mecánicas de los sorbetes biodegradables a partir de cáscaras de **Mangifera indica** y **Vitis vinifera**.

Características mecánicas			
Fecha :		Hora :	
Investigador:			
Muestra	Dureza	Resistencia de elongación	Resistencia de tracción


Dr. Elmer G. Benites Alfaro
CIP. 71998

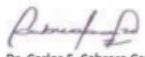

Dr. Carlos F. Cabrera Carranza
CIP. 46572
DNI.17402784


Jhon Julio Pacheco Galaz
DNI: 08447308

Ficha de registro IV: Análisis del tiempo de degradación de los sorbetes biodegradables a base de *Mangifera indica* y *Vitis vinifera*.

Tiempo de degradación							
Fecha :				Hora :			
Investigador:							
Muestra	Día	Pesos del proceso de degradación					
		Peso Inicial (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Peso 4 (g)	Peso 5 (g)	Peso Final (g)


Dr. Elmer G. Benites Alfaro
CIP. 71998


Dr. Carlos F. Cabrera Carranza
CIP. 46572
DNI.17402784


Dr. Juan Carlos Benites Alfaro
DNI: 08447302

ANEXO 11

FICHA DE VALIDACIÓN



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO I

I. DATOS GENERALES:

- 1.1 Apellidos y Nombres del validador: Dr. Carlos Cabrera
- 1.2 Cargo e institución donde labora: Docente de la Universidad César Vallejo
- 1.3 Especialidad del validador: Metodología para la investigación científica
- 1.4 Nombre de Instrumento y finalidad de su aplicación: Análisis de las características de *Mangifera indica* y *Annona comosus*.
- 1.5 Título de Investigación: "Elaboración de sorbetes biodegradables a partir de *Mangifera indica* y *Annona comosus*"
- 1.6 Autor(A) del Instrumento: Gallardo Boro, Celeste y Velásquez Ruiz, Alessandra

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- Los requisitos para su aplicación los Requisitos para su aplicación

☐
☐

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, 09 DE NOVIEMBRE del 2020

Dr. Carlos F. Cabrera Carranza
 CP. 40572
 DNI. 17402764