

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

**ESCUELA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL Y
COMERCIO EXTERIOR**

TESIS

**Desarrollo y caracterización de un envase
biodegradable a partir de almidón de cáscara de
plátano verde (*Musa paradisiaca*) y propóleo para el
envasado de frutas frescas**

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL Y COMERCIO EXTERIOR**

Autor:

Bach. Chuzon Benavides Jose Antonio
(<https://orcid.org/0009-0003-8090-8237>)

Asesor:

Dr. Ing. Ernesto Dante Rodriguez Lafitte
(<https://orcid.org/0009-0007-3238-0422>)

Línea de Investigación:

Tecnología e innovación en el desarrollo de la construcción y la
industria en un contexto de sostenibilidad

Sublínea de Investigación

Gestión y sostenibilidad en las dinámicas empresariales de
industrias y organizaciones

PIMENTEL, PERÚ

2024

**DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN ENVASE
BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN DE
CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE (*Musa paradisiaca*) Y
PROPÓLEO PARA EL ENVASADO DE FRUTAS FRESCAS**

Aprobación del jurado

MG. SIMPALO LOPEZ WALTER BERNARDO

Presidente del Jurado de Tesis

MG. MERA VASQUEZ TATIANA LIZETH

Secretario del Jurado de Tesis

DR. RODRÍGUEZ LAFITTE ERNESTO DANTE

Vocal del Jurado de Tesis


DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien(es) suscribe(n) la DECLARACIÓN JURADA, soy(somos) egresado (s)del Programa de Estudios de **Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro (amos) bajo juramento que soy (somos) autor(es) del trabajo titulado:

DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN ENVASE BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE (*Musa paradisíaca*) Y PROPÓLEO PARA EL ENVASADO DE FRUTAS FRESCAS

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Chuzon Benavides Jose Antonio	DNI: 75023394	 Firma
-------------------------------	---------------	--

Pimentel, 20 de diciembre de 2024




15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 12%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

Dedico mi tesis en primer lugar a Dios por siempre
guiarme por el buen camino.

A mis padres y familiares por estar siempre
apoyándome para llegar a alcanzar mis objetivos
y de esa forma culminar mi carrera.

Por último, agradecer a cada uno de los ingenieros
y/o docente por su tiempo y paciencia para brindarme
sus conocimientos.

Chuzon Benavides Jose Antonio

Agradecimiento

Expreso mi profundo agradecimiento a cada una de las personas que contribuyeron de cierta forma a la realización de la presente tesis, su apoyo y orientaciones han sido de suma importancia para alcanzar este logro tan significativo en mi carrera académica.

Agradezco a mis docentes por compartirme sus conocimientos y experiencias, brindándome las herramientas necesarias para afrontar dificultades académicas.

Por última instancia estoy agradecido con mi casa de estudios por estos cinco años de formación profesional.

Índice de contenido

Dedicatoria	5
Agradecimiento	6
Índice de tablas	9
Resumen	11
Abstract	12
I. Introducción.....	13
1.1. Realidad problemática.....	13
1.2. Trabajos previos.....	14
1.2.1. Antecedentes internacionales	14
1.2.2. Antecedentes nacionales	16
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	17
1.3.1. Plátano (<i>musa paradisiaca</i>)	17
1.3.2. Almidón de cáscara de plátano	17
1.3.3. Propóleo.....	18
1.3.4. Envase biodegradable	19
1.4. Formulación del problema.....	23
1.5. Justificación e importancia del estudio	24
1.6. Hipótesis	24
1.7. Objetivos	24
ii. Materiales y métodos	24
2.1. Tipo y diseño de investigación	24
2.1.1. Tipo de investigación	24
2.2. Metodología	24
2.2.1 extracción y procesamiento de almidón de cáscara de plátano (<i>musa paradisiaca</i>)	24
2.2.2. Proceso para la elaboración de envase biodegradable con almidón del plátano verde y propóleo	27
2.2.3. Formulación del envase biodegradable con almidón del plátano verde.....	28
2.2.4. Diseño experimental.	29
2.3. Población de estudio, muestra y criterios de selección	33
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad: ...	34
2.4.1. Características tecno funcionales del almidón de cascara de plátano	34

2.4.1.1.	Índice de humedad.....	34
2.4.1.2.	Temperatura de gelatinización	34
2.4.1.3.	Poder de hinchamiento	34
2.4.1.4	resistencia.....	34
2.5.	Procedimiento de análisis de datos:.....	34
2.6.	Aspectos éticos	34
3.	Resultados	35
3.1.	Caracterizar sus propiedades tecno funciones.....	35
3.1.1.	Índice de humedad de la cascara de plátano	35
3.1.2.	Índice de gelatinización del almidón de la cascara de plátano	36
3.1.3.	Índice de absorción de agua (ia)	37
3.1.4.	Índice de solubilidad en agua (isa).....	38
3.1.5.	Poder de hinchamiento (ph).....	39
3.2.	Diferentes proporciones de almidón de la cáscara plátano y propóleo para le elaboración del envase biodegradable.....	40
3.3.	Seleccionar la proporción optima que presente la mejor caracterización físico mecánica	41
	42
3.3.1.	Pruebas de normalidad	44
3.3.2.	Anova.....	45
4.	Discusión.....	46
5.	Conclusiones.....	48
6.	Recomendaciones.....	49
7.	Referencias	50
8.	Anexos	55

Índice de tablas

Tabla I.....	16
Tabla II.....	19
Tabla IV	21
Tabla V	24
Tabla VI	25
Tabla VII	27
Tabla VIII	29
Tabla IX	29
Tabla X	31
Tabla XI	32
Tabla XII	32
Tabla XIII	33
Tabla XIV	34
Tabla XV	¡Error! Marcador no definido. 35
Tabla XVI	¡Error! Marcador no definido. 36
Tabla XVII	¡Error! Marcador no definido. 38
Tabla XVIII	38
Tabla XIX.....	39
Tabla XX.....	¡Error! Marcador no definido. 40
Tabla XXI.....	41
Tabla XXII.....	41
Tabla XXIII.....	42

Índice de figuras

Figura 1	230
Figura 2	22
Figura 3	23
Figura 4	25
Figura 5	32
Figura 6	33
Figura 7	34
Figura 8	35
Figura 9	36
Figura 10	38
Figura 11	39
Figura 12	39
Figura 13	40

Resumen

Actualmente los envases hechos a partir de polímeros sintéticos se han convertido en un radical problema para el medio ambiente lo cual genera amenazas en la salud humana, animal y ecológica por la liberación de sustancias tóxicas debido a los plásticos convencionales. Ante este problema se caracterizó un envase bio degradable elaborado a partir de almidón de cáscara de plátano verde y propóleo para el envasado de frutas frescas. Para ello se obtuvo el almidón de la cáscara de la materia prima a tratar mediante el método de filtración y sedimentación en donde se separan la fibra del almidón y posteriormente usarlo en conjunto con el propóleo y los demás insumos, para desarrollar el bio plástico.

Luego se realizaron pruebas físico mecánicas al bio plástico, teniendo en cuenta la colorimetría para MC, T1, T2 Y T3, obteniendo valores entre 26.749 - 55.790 para L*; 7.574 – 12.092 para a* y 9.573 – 17.081 para b*. Asimismo, se hizo la prueba de espesor obteniendo mili metrajes promedios de entre 2.7 – 3.2 mm en MC, 1.2 – 2.2 mm para T1, 1.7 – 2.2 mm en T2 y 2.1 – 2.6 mm para T3; por último, para resistencia a la tracción se rescataron los siguientes valores; 3.22 MPa, 4.43 MPa, 5.28 MPa y 4.48 Mpa para cada tratamiento. Se llegó a la conclusión de que el T2 cuenta con los mejores características físico mecánicas para el envasado de frutas frescas.

Palabras claves: almidón, propóleo, bio plástico, físico mecánicas

Abstract

Currently, packaging made from synthetic polymers has become a radical problem for the environment, which generates threats to human, animal and ecological health due to the release of toxic substances due to conventional plastics. In response to this problem, a biodegradable container made from green banana peel starch and propolis was developed for packaging fresh fruit. To do this, the starch was obtained from the peel of the raw material to be treated using the filtration and sedimentation method, where the fiber is separated from the starch and then used together with the propolis and other inputs to develop the bioplastic.

Physical-mechanical tests were then performed on the bioplastic, taking into account the colorimetry for MC, T1, T2 and T3, obtaining values between 26,749 - 55,790 for L*; 7,574 - 12,092 for a* and 9,573 - 17,081 for b*. Likewise, the thickness test was carried out, obtaining average millimetres of between 2.7 – 3.2 mm in MC, 1.2 – 2.2 mm for T1, 1.7 – 2.2 mm in T2 and 2.1 – 2.6 mm for T3; finally, for tensile strength the following values were recovered; 3.22 MPa, 4.43 MPa, 5.28 MPa and 4.48 Mpa for each treatment. It was concluded that T2 has the best physical-mechanical characteristics for packaging fresh fruit.

Keywords: starch, propolis, bioplastic, physical-mechanical

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La acumulación de residuos plásticos no respetuosos con el medio ambiente provenientes de envases de frutas y verduras ha generado importantes preocupaciones ambientales debido a su persistencia e impacto negativo en el ecosistema, ante esto se presentan los envases a base de polímeros sintéticos que son responsables de generar un impacto negativo de menos del 10% de las emisiones totales. [1]

Dichos envases representan un tercio del consumo de este material y su reciclaje se ha convertido en una prioridad para los países. Sin embargo, muchos de esos envases de plástico ingresan a los océanos con una gran cantidad de polímeros sintéticos que son una amenaza para la salud humana, animal y ecológica, debido a los micro plásticos y sus efectos nocivos [2]; la afirmación sobre la liberación de toxinas por parte de plásticos como el PET, acompañado de posibles consecuencias para la salud, es una cuestión compleja que requiere una evaluación sumamente cuidadosa.

Para el año 2050, se proyecta la generación de un total de 26 mil millones de toneladas de residuos plásticos después de su uso, y se prevé que la mitad termine siendo descartada en entornos naturales. Este fenómeno representa una serie de amenazas para el medio ambiente y la humanidad, ya que la contaminación por plásticos tiene un impacto negativo en los ecosistemas tanto acuáticos como terrestres, provocando daños en la flora y fauna liberando sustancias tóxicas en el entorno [3].

La globalización ha llevado a un aumento en el comercio de productos agrícolas envasados en recipientes de plástico, lo que aumenta la huella de carbono; Europa tiene un consumo del 40% de plásticos y el 50% del papel que se utilizan en el embalaje [4]. La expansión del comercio global ha resultado en un notable aumento en el uso de plástico para productos agrícolas, generando una significativa huella de CO₂. En Europa, el consumo considerable de plástico y papel para embalaje contribuye de manera sustancial a los residuos sólidos urbanos.

La contaminación medio ambiental debido al impacto por parte de los envases de alimentos no solo se presenta cuando son desechados, sino también durante su fabricación, ya que se utilizan recursos como agua, energías no renovables, madera, químicos, fibras, entre otros, estos mismos son causantes de las emisiones al aire, contaminándolo con metales pesados gases y partículas de efecto invernadero [5].

En la actualidad el plástico sintético se usa en gran parte de las industrias para las envolturas de alimentos. A nivel nacional se identificaron deficiencias por parte de la gestión de residuos sólidos domiciliarios abarcando un 65% de las municipalidades en la provincia de Lima, lo cual contribuye con la contaminación ambiental [6].

La liberación de sustancias tóxicas como el bisfenol A (BPA) y los ftalatos de los plásticos se han vinculado con efectos perjudiciales para la salud humana. El BPA, conocido por alterar el sistema endocrino, se ha asociado con cambios de comportamiento, hiperactividad, diabetes y posibles problemas de desarrollo neurológico, asimismo han demostrado interferir con las hormonas sexuales masculinas, relacionándose con problemas de conducta en menores. Investigaciones han examinado los posibles impactos en la salud de estas sustancias tóxicas, señalando que los ftalatos podrían tener efectos adversos en la salud reproductiva y estar asociados con trastornos reproductivos, posiblemente a través de mecanismos endocrinos e intracelulares [7]

Asimismo a raíz de la contaminación por parte de los envases a base de petróleo, estos vienen siendo reemplazados por los biopolímeros amigables con el medio ambiente los cuales conservan las propiedades y utilidad de los plásticos que se usan comúnmente [8]; debido a que los polímeros obtenidos a partir de los productos petroquímicos, carbón y petróleo a pesar de sus diversas ventajas, son la principal preocupación ambiental del presente siglo, ya que la naturaleza hidrofóbica y la falta de microorganismos naturales con enzimas capaces de degradarlas, han conllevado a la acumulación de los residuos plásticos convirtiéndose así en un problema potente para el ambiente [9].

Precisamente ante estos problemas críticos, se deben fabricar bioplásticos a raíz de fuentes naturales que constan de biomasa renovable. Es por ello que en este caso el uso de productos de biodegradables a base de la cascara del plátano permite elaborar un envase biodegradable que tiene relación con el medio ambiente, con el objetivo de disminuir la contaminación de micro plásticos.

1.2. Trabajos previos

1.2.1. Antecedentes internacionales

Según [10] su trabajo de investigación basado en el desarrollo de un envase biodegradable a partir de residuos del plátano. Cuyo objetivo fue utilizar la cáscara de plátano y la celulosa del pseudotallo, para la obtención de un bioplástico. Se basaron en un diseño experimental cuantitativo, que aplicó el uso de mezclas de los materiales plastificantes: glicerol y sorbitol (G:S), los resultados mostraron que ambos plastificantes en los envases biodegradables reducen el paso de vapor de

agua, pero el sorbitol lo hace en menor medida cuando no se mezcla con glicerol, sin embargo la muestra F2 (75S: 25G) contaba con mejores propiedades mecánicas, mostrando una resistencia a la tracción de 2,40 MPa y un tiempo de rotura de 17 segundos, asimismo el comportamiento mecánico del material obtenido en esta investigación fue mejor que el de los bio plásticos elaborados con almidón de yuca, fibra de fique y glicerol, cuyo esfuerzo de tensión fue menor a 2 MPa.

Por ende [11] su investigación se basó en una síntesis de material biodegradable a partir de cascara de plátano. El objetivo fue determinar el efecto de la concentración del plastificante y aglutinante sobre la biodegradabilidad de un bio plástico hecho a partir de residuos de plátano. Aplicaron un diseño experimental cuantitativo, La muestra estuvo constituida por 7 unidades experimentales HCl, NaOH y glicerina (H: Na :G), en combinación con los residuos de plátano para la fabricación del bio plástico, obteniendo como resultados que el biopolímero (T5) compuesto por 12 mL de glicerina, con 3 mL de HCl y 3 ml de NaOH, a los 7 días comenzó a degradarse con un 81.7%, por otro lado, la mayor biodegradabilidad siendo el 92%, la obtuvo el bio plástico (T6) compuesto por 2 mL de glicerina, 6 ml de NaOH y 3 mL de HCl después de un lapso de 21 días.

Asimismo [12] en su trabajo de investigación analizaron el desarrollo de bioplásticos a base de almidón de banano verde (*Musa paradisiaca*) modificados con tratamiento de calor y humedad (HMT). El Objetivo llevó a evaluar el efecto de la modificación en los bioplásticos desarrollados a partir del almidón del banano verde nativo e hidrotérmicamente biodegradable modificado (*Musa paradisiaca*) emplearon un diseño experimental cuantitativo de este modo se analizaron 4 muestras PM01, PM02, PM03 y PM04 para analizar los métodos de módulo de Young (MPa) resistencia a la tracción (MPa), alargamiento a la rotura (%) y fuerza (N). De acuerdo a los resultados, se demostró que las muestras PM03 y PM04 tuvieron un mayor valor de elongación, resistencia a la atracción y deformación de las muestras PM04 $5,98 \pm 0,71b$; $27,09 \pm 2,63c$ y $2,80 \pm 0,12$ días respectivamente, y la muestra PM03 $4,14 \pm 0,66ab$; $29,85 \pm 0,050c$ y $2,39 \pm 0,04$ ac respectivamente en comparación del almidón nativo.

Finalmente [13] investigaron sobre la fibra de desecho de inflorescencia de banano: un relleno eficaz para bioplásticos a base de almidón. Analizaron la posibilidad en desarrollar un producto bioplástico a base de almidón obtenido de los residuos del banano verde. Utilizaron un diseño experimental cuantitativo, se utilizaron 5 muestras inflorescencia del plátano con M0, M5, M10, M15 y M20 para determinar sus características hacia la cristalinidad (%), T_{max} (°C) y la pérdida de peso a 400°C (%). Los resultados mostraron que el contenido de relleno óptimo

que proporciona la mayor resistencia a la tracción y la menor pérdida de masa en agua es la M10, con la cristalinidad de 8.10%, T_{max} de 315°C con una pérdida de peso de 79%.

1.2.2. Antecedentes nacionales

Asimismo [14] Se enfocaron en la elaboración de bioplásticos a base de cáscara de plátano (*musa paradisiaca*) y almidón de maíz (*zea mays*). Adaptaron un diseño completamente al azar bifactorial, prepararon 16 muestras a partir de diferentes proporciones de cáscara de plátano y almidón de maíz, resultando que el tratamiento A4B3 (40 g de cáscara de plátano y 20 g de almidón de maíz) fue el mejor en cuanto a capacidad de absorción con 0,53 y resistencia de tensión con 39,73 N en las bandejas biodegradables; respecto a la densidad, el tratamiento A4B1 (40 g de cáscara de plátano 40 g de almidón de maíz) tuvo el mayor valor con 4,93 g/cm³, por otra parte, el tratamiento A3B1 (30 g de cáscara de plátano y 40 g de almidón de maíz) presentó el mayor espesor con 3,03 mm y el tratamiento A4B1(40 g de cáscara de plátano 40 g de almidón de maíz) presentó la menor luminosidad con un valor de 16,61 L*.

Por otro lado [15] Enfocaron su investigación en el desarrollo de envases biodegradables aprovechando los desechos de las cáscaras de plátano (*musa paradisiaca*). Emplearon un diseño experimental cuantitativo, para ello se analizaron 8 muestras experimentales combinando los almidones extraídos de las cáscaras de plátano con glicerina, agar-agar, benzoato de sodio y ácido acético para obtención de bioplásticos; a raíz de los tratamientos experimentales se obtuvo como resultado que el tratamiento v1m0 mostró las mejores características, contando con humedad de 85,6%; Ceniza con 50,24%; un pH de 7; 27,34% de masa y 1,07 de densidad.

Por ende [16] En su trabajo de investigación polvo del pericarpio (cáscara) de *Musa paradisiaca* y la producción de biopolímeros biodegradables. Se orientaron en la elaboración de un polímero biodegradable a raíz del polvo del pericarpio de banano. Se basaron en un diseño experimental, transversal, descriptivo y aplicativo causal, empleando tres formulaciones del polvo del pericarpio de banano con glicerina y PVA para la elaboración de biopolímeros, teniendo como resultados que los bioplásticos constan de una bio degradabilidad en agua de 168 horas y en suelo húmedo de 720 horas.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Plátano (*Musa paradisiaca*)

1.3.1.1. Definición

El plátano es un fruto de forma cilíndrica y alargada ligeramente curvada, consta de pulpa blanda comestible de sabor dulce, no tiene semilla y es rica en almidón [17].

1.3.1.2. Taxonomía.

Tabla I

Taxonomía del plátano (*Musa Paradisiaca*)

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Musáceas
Género	Musa
Especie	Paradisiaca
Nombre	Musa paradisiaca

Fuente: [18]

1.3.2. Almidón de cáscara de plátano

1.3.2.1. Definición

Se determinó que el almidón de la cascara de plátano tiene un gran porcentaje de amilopectina $88,55 \pm 0,28$ % (p/p) siendo la principal fuente de energía en la dieta de los consumidores [19]. El almidón es muy abundante en la flora y fauna, y tiene propiedades favorables para la elaboración de envases y películas biodegradables, una de las principales es el almidón de la cascara del plátano, este tiene una gran cantidad de magnesio y otros nutrientes más, permitiendo que su deterioro sea más rápido sin afectar al medio ambiente [20]. Así mismo el almidón de la cascara de plátano tiene diversas funciones en sus aplicaciones, ya que se puede utilizar en la elaboración de envases biodegradables, así como también se puede elaborar películas comestibles para conservar quesos, ya que el almidón de la cascara de plátano mostró actividades antioxidante y presencia de compuestos fenólicos, con su capacidad para proteger contra el estrés oxidativo, con el fin de aprovechar sus propiedades [21].

1.3.2.2. En la industria alimentaria

En la industria alimentaria se busca envases que puedan proteger al alimento y alargar la vida útil, una de las opciones es la elaboración de envases y películas comestibles con almidón de la cáscara del plátano, la película comestible es biodegradables, pocos resistentes y sobre todo muy flexibles para su aplicación a los recubrimientos de alimentos [22]. en la elaboración de una película biodegradable con nanocompuestos de almidón de la cascara del plátano verde en su uso en la industria de alimentos con el objetivo de disminuir la transferencia de microorganismo transmitidos por las personas al tocar a los alimentos y alargar la vida útil de los alimentos [23]. El almidón de la cáscara del plátano también en ácido poli láctico se puede utilizar en la medicina, para elaborar empaques, parches para administrar medicamentos a los pacientes, suturas quirúrgicas con materiales biodegradables, estos materiales se han utilizado en la pandemia con el SARS-CoV-2 [24].

En esta investigación se han obtenido una banda de almidón del plátano maduro, con azúcares altos, glucosa, sacarosa y fructuosa, este almidón se debilitó gradualmente en un periodo de tiempo de 10 días de almacenamiento, se comienza a tener cambios físicos como a cortarse, sin embargo, se requiere de más estudios, ensayos y modificaciones para encontrar una solución, obteniendo un almidón con un tiempo de vida mucho más largo y manteniendo su forma sin mostrar cambios físicos [25]

1.3.3. Propóleo

1.3.3.1. Definición

Es una sustancia resinosa natural que se produce por abejas melíferas a raíz de distintas fuentes vegetales; también cuenta con propiedades antibacterianas y antifúngicas, las cuáles son sus principales funciones de este extracto. Asimismo, el propóleo también cuenta con actividades anticancerígenas, antioxidantes y hepatoprotectoras; este material se caracteriza por poseer una estructura química compleja y diversa, pero su actividad biológica se basa primordialmente a sus compuestos fenólicos, los cuales son, la pinostrobina, pinocembrina, éster fenetilo del ácido cafeico, galangina, apigenina y el couácido márico [26]

1.3.3.2. Usos

El propóleo se ha utilizado desde tiempos remotos con fines medicinales, asimismo posee propiedades terapéuticas, antiinflamatorias, antisépticas y analgésicas, del mismo sentido ya que cuenta con actividad antioxidante y

antimicrobiana se utiliza para aplicaciones en la agroindustria debido a sus propiedades [27], un claro ejemplo de ello es la inhibición del desarrollo de patógenos de poscosecha como *Botrytis cinérea* y *Penicillium expansum*, por otro lado la adición de propóleo en películas de quitosano reduce la permeabilidad de vapor de agua en las películas, asimismo la sustancia resinosa incorporada en películas hechas a partir de hidroxipropilmetilcelulosa conllevó a contar con mayor alargamiento a la rotura y asimismo demuestra su efecto antibacteriano y antimicrobiano[28].

1.3.4. Envase biodegradable

1.3.4.1. Definición

Los envases biodegradables o también conocidos como biopolímeros son materiales que se someten fácilmente a hidrólisis enzimática y son propensos al reciclaje natural por medio de procesos biológicos, estos polímeros biodegradables son componentes que cuentan con buenas propiedades mecánicas, procesabilidad, no son tóxicos y cuentan con capacidad de sufrir la degradación hidrolítica, así como la biodegradación por parte de los microorganismos del suelo en el compost [29], de la misma forma los envases biodegradables hechos a partir de compuestos bio degradables pueden digerirse en agua y dióxido de carbono, o en metano y mezclas inorgánicas como subproductos adicionales, en donde se presenta la biodegradación plástica haciendo referencia a la degradación biológica de plásticos por medio de la actividad enzimática de primera línea plástica, degradación por los distintos tipos de microorganismo como bacterias y hongos[30]. Los bio envases pueden derivarse de fuentes renovables, como desechos agrícolas y materias primas; estos materiales de origen biológicos al ser desechados de manera inapropiada causan una carga ambiental, pero el tiempo de degradación de dichos bioplásticos es mucho más corto en comparación con los plásticos de origen fósil [31] , asimismo se recalca que existen varias opciones biodegradables disponibles, incluyendo al ácido poli láctico, poli hidroxialcanoatos, mezclas de almidón y plásticos a base de celulosa.

1.3.4.2. Aplicaciones prácticas en la industria alimentaria

Anualmente ingresan al ecosistema terrestre y al océano alrededor de 175 toneladas de desechos tóxicos por cada año producidos por las industrias alimentarias provocando una alteración en el medio ambiente y a los animales marinos [32]. En Europa se generan 360 millones de toneladas de desechos tóxicos por cada año, esto contribuye al 16% de la producción mundial de plásticos

que genera una gran contaminación [33]. A medida que aumenta las industrias alimentarias también tiende a aumentar la demanda de los envases que son provenientes del petróleo que no son degradables provocando problemas al medio ambiente. Por otro lado, los polímeros biodegradables surgieron como una alternativa en la industria alimentaria [34]. Sin embargo, para poder ser utilizados en envasado de alimentos se debe cumplir con ciertas propiedades mecánicas, de barrera, antibacterianas y antioxidantes [35]. Estos envases biodegradables tienen como objetivo garantizar la seguridad, calidad de los alimentos, alargar la vida útil del alimento, facilitando el almacenamiento de los alimentos, así como en la protección de cualquier patógeno externo que puede alterar al alimento. [36]

1.3.4.3. Tipos de biopolímeros para elaborar un envase biodegradable

Tabla II

Tipos de biopolímeros para elaborar un envase biodegradable

Almidón	El almidón es un carbohidrato natural, biodegradables y renovable, compuesto de dos polisacáridos, uno es la amilosa y el otro es la amilopectina, este carbohidrato se presenta en los tallos, semillas, frutas, raíces y tubérculos de las plantas. Sus dos polisacáridos son insolubles en agua. Cuando el almidón es sometido a especificas cantidades de presiones de cizallamiento, energía térmica y plastificante, sus gránulos pierden irreversiblemente su estructura semi cristalina y se transforman en una matriz continua. Por otro lado, la amilosa es la responsable de la capacidad excepcional de formación de películas del almidón, dando como resultado películas duraderas, termo sellables e isotrópicas[37].
Quitina	La quitina es el segundo polisacárido natural más abundante encontrado en el exoesqueleto de crustáceos e insectos, paredes celulares de los hongos y hasta en los picos de los pulpos. Este polisacárido se componer por unidades de N-acetil-D-glucosamina unidas por enlaces 1,4-β-glucosídicos, y consta de una pequeña cantidad de unidades des acetiladas (2-amino-2-desoxi-D-glucosa), la quitina es insoluble en agua y en diversos solventes orgánicos debido a sus enlaces de hidrógeno intramoleculares presente en su estructura cristalina, de este polisacárido se obtiene el quitosano (hetero polímero soluble en ácido) por medio de des acetilación[31].

Quitosano	El quitosano es un polímero bioactivo que se obtiene de la quitina por medio del proceso de N-des acetilación total o parcial. Este biopolímero es un polisacárido marino no tóxico y renovable con buenas propiedades para la formación de películas, haciéndolo adecuado para el uso en películas con y sin contacto [38].
Colágeno	El colágeno es una proteína macromolecular que se considera un elemento estructural importante en los tejidos conectivos como los huesos, la piel, los ligamentos los tendones y los tejidos intersticiales en varios órganos abarcando del 20 al 30% de las proteínas que se encuentran en los organismos vivos. Existen 28 tipos distintos de colágeno, de los cuales el tipo I, II y III se encuentran abundantemente en los subproductos del pescado[38].
Proteínas miofibrilares	La proteína miofibrilar consta de una naturaleza filamentososa y elástica, asimismo presenta aminoácidos hidrofílicos en sus moléculas proteicas. Estas proteínas abarcan del 65 al 75% de la proteína total en los músculos de los peces y a la vez son solubles en sal, dichas proteínas pueden extraerse de manera eficiente de los músculos de los peces utilizando soluciones tampón iónicas. Por otro lado, sus aminoácidos hidrofílicos permiten que con la adición de plastificantes hidrofílicos, como glicerol o sorbitol, se obtengan películas basadas en proteínas miofibrilares que exhiben alta absorción de agua y WVP[38]
Alginato	El alginato es un biopolímero que se deriva de las paredes celulares de las algas pardas (Phaeophyceae), se constituye por bloques de ácido D-manurónico y L-glutamina, asimismo se distingue por su bio degradabilidad, renovabilidad, no toxicidad, biocompatibilidad y rentabilidad[38].
Carragenina	El carragenano se denomina un tipo de galactano sulfatado lineal hidrofílico que se presenta solo en las paredes celulares de las algas rojas, asimismo es un polímero típico con peso molecular promedio de aproximadamente 100 a 1000 kDa. La carragenina según el número y posición de los grupos sulfato principalmente se divide en tres tipos: lambda (λ) kappa (κ) e iota (ι) [38].

Fuente: Datos extraídos de los autores que figuran en el cuadro [37], [39], [38]

1.3.4.4. Biodegradación de un envase biodegradable

La degradación de bioplásticos se da en presencia o ausencia de oxígeno y en condiciones bióticas y abióticas apropiadas; la bio degradación se basa en lograr la descomposición del material en una estructura más simple haciendo uso de enzimas y la escisión de enlaces por parte de microorganismos como bacterias y hongos en el entorno natural [30].

Tabla III

Bio degradación de diferentes tipos de bio plásticos bajo diferentes condiciones

Bio plásticos	Tipos de bio plásticos	Condiciones de bio degradación	Tasa de bio degradación (%)
A base de celulosa	Bio polímero de paja de arroz	Suelo	~100
	Acetato de celulosa (producido a partir de linters de algodón)	Mezcla de residuos de sólidos municipales	35%
A base de almidón	Almidón de mandioca/ glicerol	Cultura mixta	20%
	Mater-Bi a base de almidón	Condiciones de laboratorio (digestión anaeróbica)	73%
Basado en PLA	PLA (polvo)	Suelo	13,8%
	PLGA	Agua dulce	~ 100%

Fuente: [30]

Generalmente la bio degradación de los plásticos bio degradables empieza por la colonización microbiana de la superficie del bio plástico hacia un peso molecular del plástico reducido, posteriormente, la hidrolisis se rige de enzimas que convierten los polímeros en monómeros, luego el dióxido de carbono, el agua y el metano a lo cual se le denomina proceso de mineralización. Durante el proceso de la biodegradación, los microorganismos usan los plásticos como sustrato de unión y fuente de carbono [30].

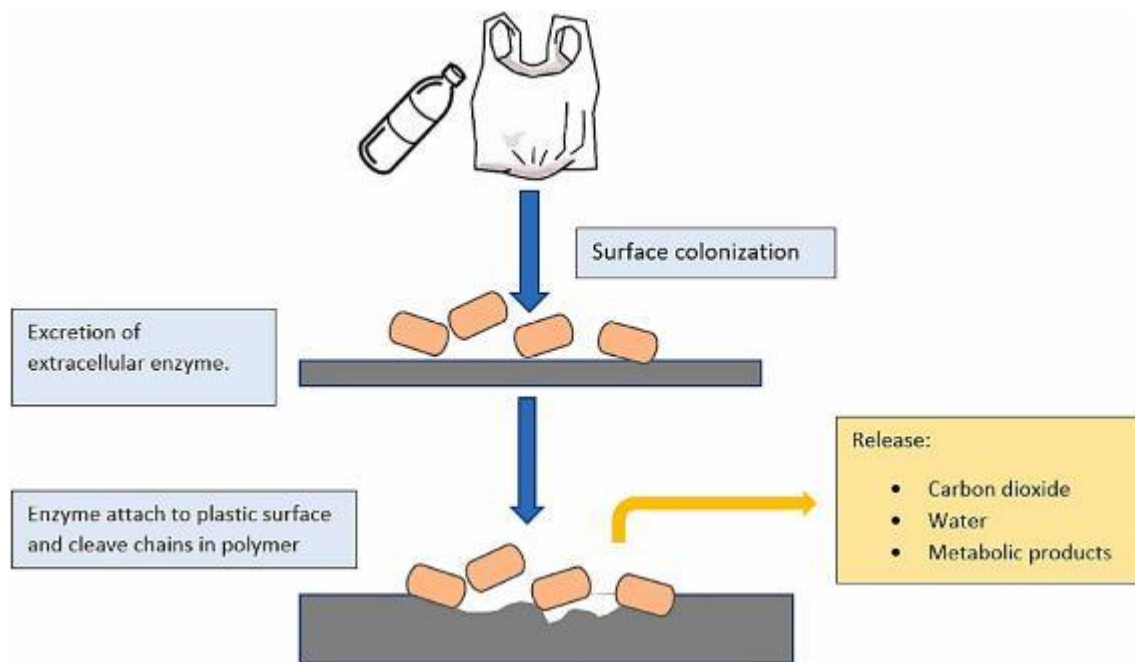


Figura 1: Proceso general de biodegradación microbiana

1.3.4.5. Limitaciones y desafíos

Los biopolímeros y las alternativas plásticas amigables con el medio ambiente aún se encuentran enfrentando desafíos, oportunidades y espacio para el progreso a futuro; los plásticos de origen biológica, bio degradables abarcan aproximadamente el 1% de la cantidad total de productos plásticos en el mercado debido a su alto costo de producción, a la vez la falta de comprensión y políticas relacionadas con los bioplásticos.

Por otro lado, la persistencia de plásticos obtenidos a base del petróleo en el mercado conlleva a un aumento constante de las emisiones de gases de efecto invernadero y riesgos ecológicos, sin embargo, la alta participación de los plásticos convencionales en el mercado representa un desafío a largo plazo para la comercialización de los biopolímeros, teniendo una menor demanda, pero a la vez simultáneamente se observa como una oportunidad para la mejora en los ajustes manejable en términos de las evaluaciones de impacto ambiental o gestión de los residuos factibles como el compostaje de bioplásticos desechados[40].

1.4. Formulación del problema

Como influye las diferentes proporciones de almidón de cáscara de plátano y propóleo en las características físico-mecánicas de un envase biodegradable para frutas frescas.

1.5. Justificación e importancia del estudio

La utilización de estos envases biodegradables elaborados de almidón de cáscara de plátano y propóleo se justifica desde una perspectiva medioambiental, ya que contribuye significativamente a la reducción de residuos plásticos, la gestión sostenible de recursos agrícolas y la mitigación del impacto ambiental, al mismo tiempo que promueve la sostenibilidad en la industria alimentaria. Así mismo en los envases al incorporar propóleo, este puede influir en inhibir el crecimiento de microorganismos no deseados, y al combinarlos con almidón de cáscara de plátano se aprovechan aún más los materiales orgánicos, y de esta manera se evita la producción de envases convencionales de plástico que tardan mucho tiempo en descomponerse.

1.6. Hipótesis

Las diferentes proporciones de almidón de la cáscara de plátano y propóleo influyen significativamente en la elaboración de un envase biodegradable

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

- Caracterizar un envase biodegradable elaborada a partir almidón de cáscara de plátano verde y propóleo para envasar frutas frescas.

1.7.2. Objetivos específicos

- Extraer almidón de la cáscara del plátano y caracterizar sus propiedades tecno funcionales.
- Evaluar el envase biodegradable con diferentes proporciones de almidón de cáscara plátano y propóleo.
- Estandarizar la formulación óptima para mejorar la mejor caracterización físico mecánica.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Tipo y diseño de investigación

2.1.1. Tipo de investigación

Investigación aplicada

2.1.2. Diseño de Investigación

Experimental puro

2.2. Metodología

2.2.1 Extracción y procesamiento de almidón de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*)

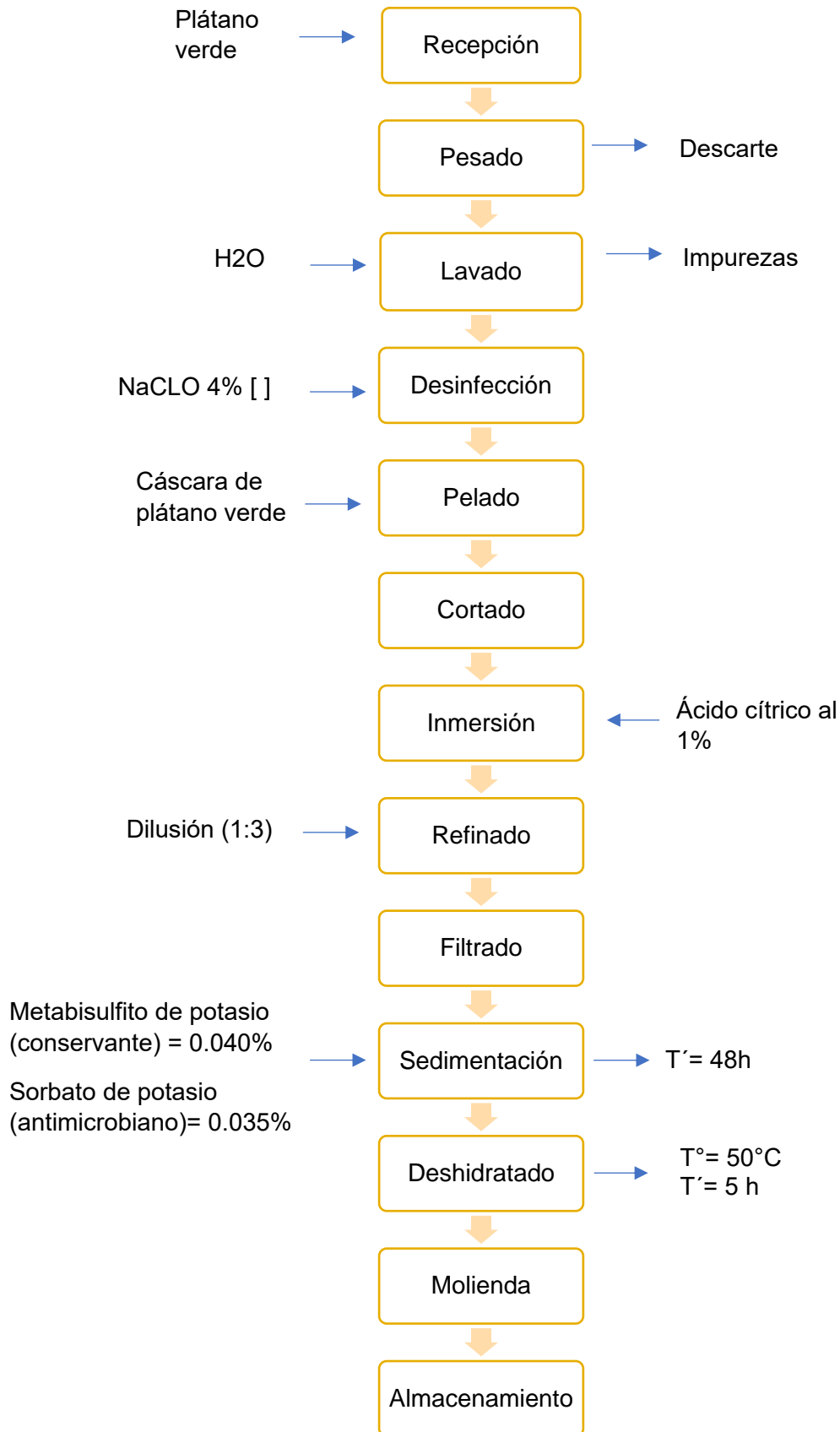


Figura 2: Diagrama de flujo para obtener almidón de la cascara de plátano.

Fuente: [41]

❖ **Recepción de materia prima:**

Se compraron 20 kg de materia prima, las cuales se obtuvieron del mercado modelo de Chiclayo.

❖ **Pesado**

Se procede a pesar la materia prima.

❖ **Lavado**

Los plátanos verdes son sumergidos en 10 litros de agua para ser lavados.

❖ **Desinfección**

Luego del previo lavado de la materia prima, estas pasan a inmersión en 20 litros de agua con hipoclorito de sodio al 4%, en dónde se adicionan 1,2 ml de NaClO por cada litro de agua, utilizando en total 24 ml de hipoclorito de sodio.

❖ **Pelado**

Se procede a pelar la materia prima, separando la cáscara de la pulpa.

❖ **Cortado**

Mientras las cáscaras de plátano se encuentran en inmersión van siendo retiradas para ser cortadas en trozos de 3 x3 y a la vez esos cortes son devueltas a la mezcla.

❖ **Inmersión (ácido cítrico)**

Las cáscaras se someten a inmersión en una mezcla de agua con ácido cítrico al 1% con el fin de evitar que las cáscaras tengan contacto con el ambiente y se oxiden.

❖ **Refinado**

Las cascarras cortadas se mezcla con agua en una solución de 1:5 para pasar por el proceso de refinado, este proceso se realiza en una licuadora.

❖ **Filtrado**

Una vez obtenido la mezcla de agua con las cáscaras de plátano se procede a filtrar haciendo uso de tela gasa, para de esa manera retirar la fibra.

❖ **Sedimentación**

Al retirar la fibra, el líquido obtenido se deja sedimentar por 48 horas, añadiendo metabisulfito de potasio y sorbato de potasio para evitar que las bacterias proliferen y a la vez el líquido no fermente.

❖ **Deshidratado**

Luego de realizar la centrifugación, el sobrenadante de los tubos es retirado y el lodo restante del tubo, son colocados en recipientes de aluminio para someterlos a 55 grados por 3 horas en una estufa y de esa manera obtener el almidón.

❖ **Molienda**

Se retira de la estufa el almidón que se encuentra en pequeños trozos, para ser molidos en un mortero, hasta hacerlo polvo.

❖ **Almacenamiento**

El almidón se envasa y almacena en bolsas ziploc.

2.2.2. Proceso para la elaboración de envase biodegradable con almidón del plátano verde y propóleo

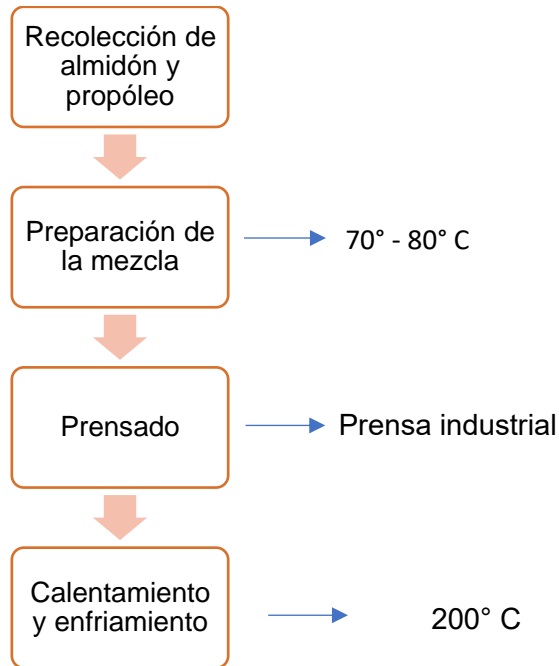


Figura 3: diagrama de flujo para elaborar en envase con el almidón de la cascara de plátano, fibra de pulpa de plátano y propóleo

Fuente: [42]

❖ **Recolección de almidón y propóleo.**

Recepción del almidón de cáscara de plátano y propóleo.

❖ **Preparación de la mezcla**

Se mezcla el almidón de las cáscaras de plátano con el agua, propóleo, glicerol (plastificante) y tween 80 (emulsionante) en proporciones adecuadas en un bolw de acero inoxidable, lo cual se realiza por medio de la fusión del almidón incorporando el propóleo y demás componentes. Esta fusión se realiza en una extrusora de doble tornillo a una temperatura de entre 70° - 80° C.

❖ **Prensado**

En este proceso se hace uso de una máquina de moldeo por inyección este equipo comprime la mezcla homogénea dándole la forma requerida.

❖ Calentamiento y Enfriamiento

Los moldes (envases) se someten a una temperatura de 200°C en una estufa a nivel de laboratorio con el fin de que adquiera la dureza necesaria. Una vez que el molde se termine de hornear, se retira con cuidado y se deja enfriar a temperatura ambiente.

2.2.3. Formulación del envase biodegradable con almidón del plátano verde

Cuadro 8. Sustitución parcial del almidón del plátano verde, residuos de PLA y agua.

Tabla III

Cantidad en gramos de agua destilada, almidón, propóleo, glicerol y tween 80 que se utilizarán en la elaboración del envase biodegradable.

Materia Prima	MC	T1	T2	T3
Agua destilada (g)	100	100	100	100
Propóleo (g)	0,5	1	1,5	2
Almidón (g)	1	2	3	4
Glicerol (g)	1.5	1.5	1.5	1.5
Tween 80 (g)	0.7	0.7	0.7	0.7
Total (g)	103.7	105.2	106.7	108.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla V

Porcentajes al 100 de la cantidad de agua, almidón, propóleo, glicerol y tween 80 que se utilizarán en la elaboración del envase biodegradable.

Materia Prima	MC	T1	T2	T3
Agua destilada (%)	96.43	95.06	93.72	92.42
Propóleo (%)	0.48	0.95	1.41	1.85
Almidón (%)	0.96	1.90	2.81	3.70
Glicerol (%)	1.45	1.43	1.41	1.39
Tween 80 (%)	0.68	0.67	0.66	0.65
Total (%)	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

2.2.4. Diseño experimental.

Características tecno funcionales

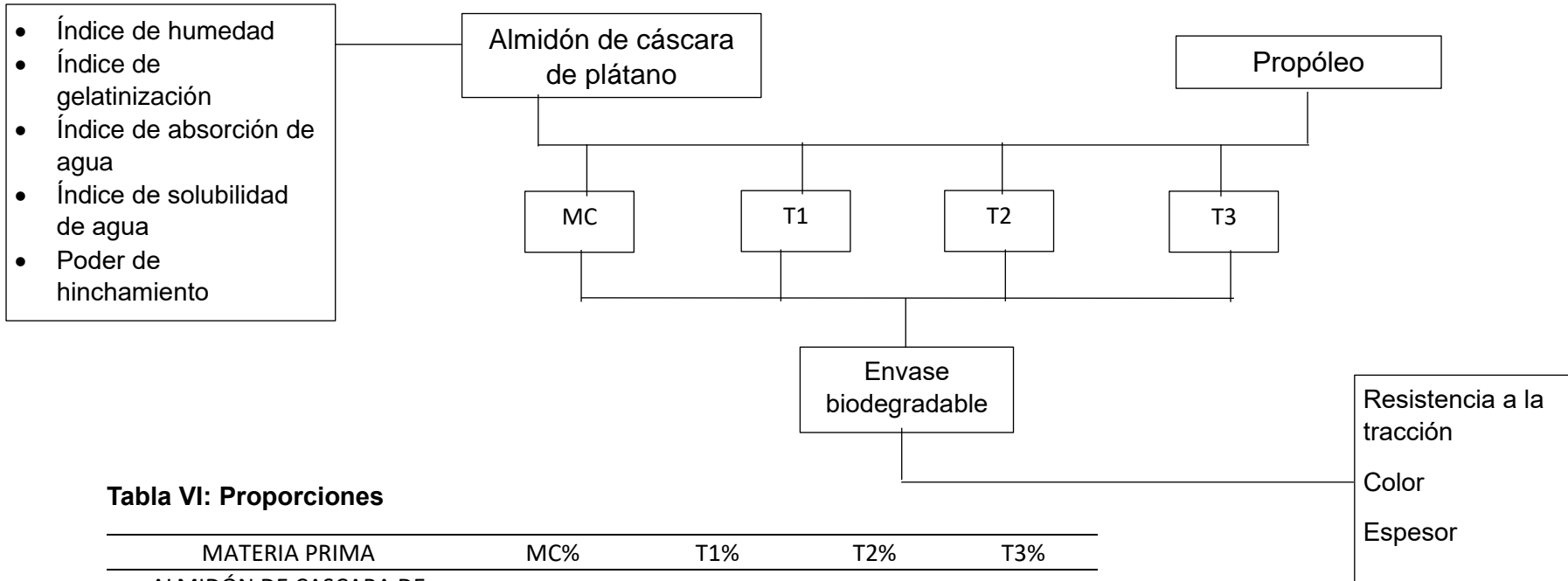


Tabla VI: Proporciones

MATERIA PRIMA	MC%	T1%	T2%	T3%
ALMIDÓN DE CÁSCARA DE PLÁTANO	1.44	1.90	2.81	3.70
PROPÓLEO	0	0.95	1.41	1.85
AGUA DESTILADA	96.43	95.06	93.72	92.42
GLICEROL	1.45	1.43	1.41	1.39
TWEEN 80	0.68	0.67	0.66	0.65
TOTAL	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

Figura 4: Características tecno funcionales

2.2.5. Operacionalización

Tabla VIII

Operacionalización de las variables:

Variable en estudio	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Valores finales	Tipo de variable	Escala de medición
Almidón de cáscara plátano	El almidón de cáscara de plátano es un polisacárido compuesto por cadenas de glucosa.	Las características tecnológicas funcionales del almidón hacen referencia a las propiedades ya sea físicas, químicas y funcionales del polisacárido.	Humedad	AOAC 934.06 - Método de Thanyapanich & Jimtaisong, 2021	Hoja de recolección de datos elaborada por los autores	Porcentajes	Numérica	De razón
			Gelatinización	ISO 6647 -2 Método de Thanyapanich & Jimtaisong, 2021				
			Índice de absorción de agua	Metodos utilizados por el [43]				
			Poder de Hinchamiento	ASTM D5890-16 - Método de Khoza, 2021				
			Índice de solubilidad	Métodos utilizados por el autor [44]				
Características mecánicas	Un envase biodegradable en un biomaterial capaz de descomponerse de forma natural en el medio ambiente por acción de	Las características mecánicas hacen referencia las propiedades físicas y mecánicas que hacen lo tornan	Resistencia a la tracción	ASTM D6241-14 Método de resistencia de perforación estática				
			Color	Método de colorimetría L*a*b* utilizado por [45]				

de envase bio degradable	microorganismo s u otros procesos biológicos.	resistente funcional y apto para contener alimentos.	<hr/> Espesor	<hr/> Método de medición manual [46]	<hr/>
-----------------------------	--	---	---------------	---	-------

Fuente: *Elaboración propia*

2.3. Población de estudio, muestra y criterios de selección

➤ Población de estudio

Se constituye por 20 kg de plátano (*Musa paradisiaca*) variedad bellaca (*Macho*) en estado inmaduro (verde) procedente de la región Lambayeque. El propóleo se obtendrá de las tiendas de productos químicos de la ciudad de Chiclayo, en las cuales lo encontramos en goteros de 30 ml.

➤ Muestra

Estará constituida por 20 kg de plátano (*Musa paradisiaca*) variedad bellaca (*Macho*) procedente del fundo de la cría, ubicado en la región Lambayeque y frascos pequeños de propóleo, obtenido de tiendas de productos químicos de la ciudad de Chiclayo.

➤ Criterios de selección.

Criterios de inclusión para el almidón

Tabla VIII

Criterios de inclusión para el almidón

CRITERIOS DE INCLUSIÓN PARA EL ALMIDÓN

La fruta del plátano verde (°Brix 5 a 8 °Brix)

Que permanezca al fondo

Que no presente golpes ni magulladuras

Que estén libre de plagas e insectos

Libre de manchas

Que mantenga su color uniforme

Fuente: Elaboración propia

Tabla IX

Criterios de exclusión para el almidón

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN PARA EL ALMIDÓN

Frutas sobre maduras

Que no sean de la misma variedad

Todos aquellos contemplados en los criterios de inclusión

Fuente: Elaboración propia

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

2.4.1. Características tecno funcionales del almidón de cascara de plátano

2.4.1.1. ÍNDICE DE HUMEDAD

Método utilizado por (Thanyapanich & Jimtaisong,2021)

2.4.1.2. TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN

Método utilizado por el autor (Grace, 1977)

2.4.1.3. PODER DE HINCHAMIENTO

Método utilizado por el autor [44]

2.4.1.4. ÍNDICE DE SOLUBILIDAD

Método utilizado por el autor [44]

2.4.1.5. ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA

Método utilizado por el autor [44]

2.4.2. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE UN ENVASE BIODEGRADABLE

2.4.2.1. RESISTENCIA

ASTM D6241 -14 - Método de resistencia de perforación estática

2.4.2.2. COLORIMETRIA

Método de colorimetría L*a*b* utilizado por [45]

2.4.2.3. ESPESOR

Método de medición manual [46]

2.5. Procedimiento de análisis de datos:

Los datos obtenidos en cuanto al análisis de resistencia, elongación, colorimetría y grosor se someterán a análisis estadísticos para obtención de sus resultados.

2.6. Aspectos éticos

Uso correcto de la materia prima (almidón de residuo de plátano verde y propóleo)

Referenciar a los autores de cada método que se realizarán a las muestras.

No se utilizarán productos o sustancias químicas que puede perjudicar al medio ambiente ni a los investigadores

Todos los métodos empleados se realizarán con responsabilidad, aplicando las buenas prácticas de calidad y de manufactura para no contaminar el producto.

Se tendrán en cuenta la veracidad de los resultados obtenidos, evitando la alteración intencionada de los datos obtenidos, referenciando a todos los autores que se han encontrado en las tesis, artículos de la base de datos de CSOPUS y SCIENCE DIRECT, entre otros.

Finalmente se mantendrán el respeto por las convicciones políticas, éticas, morales, política, responsabilidad social y jurídica y la confidencialidad de los individuos que participan en el estudio.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterizar sus propiedades tecno funciones

Tabla X

Se presentan los resultados comparativos de las propiedades funcionales del almidón de maíz (MC) y el almidón a partir de cascara de plátano

Propiedades tecno funcionales	Almidón de maíz	Almidón de cascara de plátano (ACP)
Índice de humedad	14 %	15.32 %
Índice a absorción de agua a 85°C gr de agua/gr de almidón)	220-240 g de agua/g de almidón	180-200 g de agua/g de almidón
Índice de solubilidad a 85°C (gr de solidos solubles/gr de almidón)	21-23%	18-20%
Poder de hinchamiento 85°C (gr de gel/gr de solidos solubles)	32-34 g/g	28-30 g/g
Temperatura de gelatinización	(Tg): 62-64	(Tg): 65-70 °C

Nota: En el siguiente cuadro nos muestra una comparación de los resultados del almidón de maíz con el almidón de la cascara de plátano para el índice de humedad, índice de absorción de agua, índice de solubilidad, índice de hinchamiento, y temperatura de gelatinización.

3.1.1. Índice de humedad de la cascara de plátano

Tabla XI

Repeticiones del índice de humedad en las tres repeticiones del almidón de la cascara de plátano

REPETICIONES	IH(%)
R1	15.70%
R2	15.12%
R3	15.13%

Fuente: elaboración propia

Imagen 1: Porcentaje de humedad

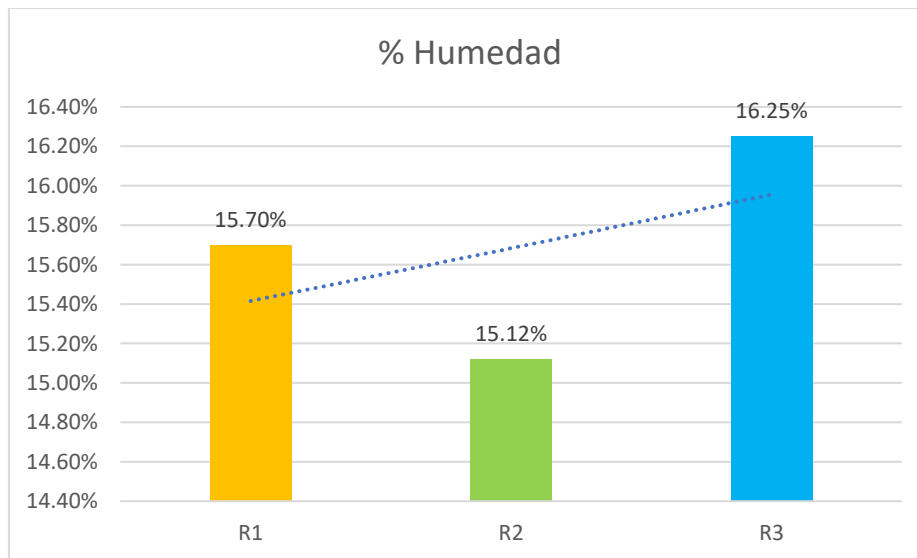


Figura 5: Índice de humedad de las repeticiones

3.1.2. Índice de Gelatinización del almidón de la cascara de plátano

Tabla XII

Tiempo del índice de gelatinización de las tres repeticiones en estudio.

MUESTRA	TIEMPO (min)
R1	7:23:03
R2	10:05:20
R3	14:17:20

Fuente: elaboración propia

Al evaluar el poder de gelatinización, se observa que la repetición R1 requirió un tiempo de 7:23:03 minutos para alcanzar dicho estado. Por otro lado, tanto la repetición R2 necesito 10:05:20 minutos y la repetición R3 constó de un tiempo de 14:17:20 minutos para gelatinizar. Estos datos resaltan diferencias en los tiempos

de gelatinización entre los tratamientos, lo que puede implicar distintas propiedades o composiciones que influyen en esta característica particular.

Imagen 6: tiempo en gelatinizar el ACP

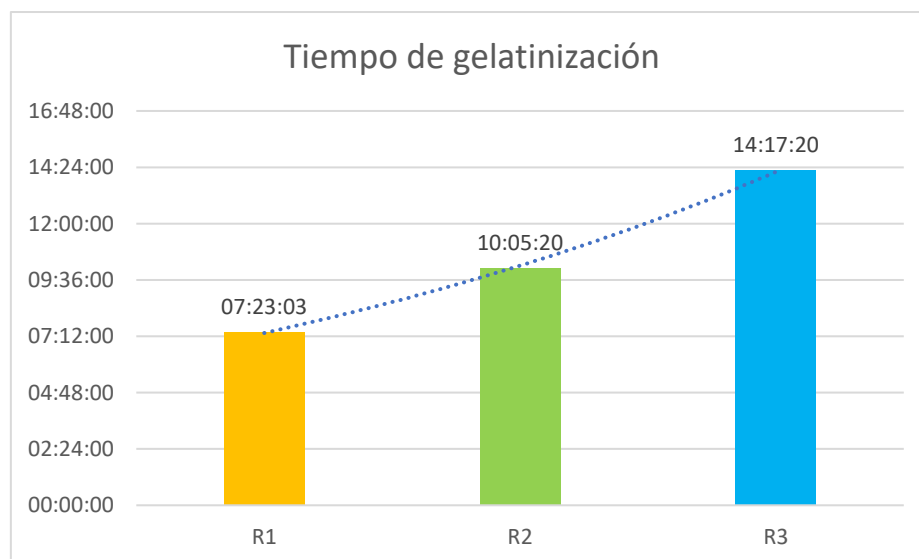


Figura 6: Tiempo que tardó en gelatinizar en las tres repeticiones

3.1.3. Índice de absorción de agua (IIA)

Para hallar el índice de absorción se utilizó la siguiente fórmula:

$$(IIA) = \frac{\text{peso del gel (g)}}{\text{peso de muestra (g)}}$$

Tabla XIII

Repeticiones del índice de absorción de agua en las tres repeticiones del almidón de la cascara de plátano

REPETICIONES	IIA (gr)
R1	2.31
R2	2.607
R3	2.23

Fuente: elaboración propia

En cuanto al Índice de Absorción de Agua (IIA), se observa que la repetición R1 presenta un valor de 2.31 gramos. Por otro lado, la repetición R2 muestra un índice ligeramente superior, alcanzando 2.607 gramos, mientras que la repetición R3 registra un valor de 2.23 gramos. Estos resultados muestran variaciones sutiles

en el Índice de Absorción de Agua entre los tratamientos analizadas, lo que puede sugerir distintas capacidades de absorción de agua en cada muestra.

Imagen 4: índice de absorción de agua

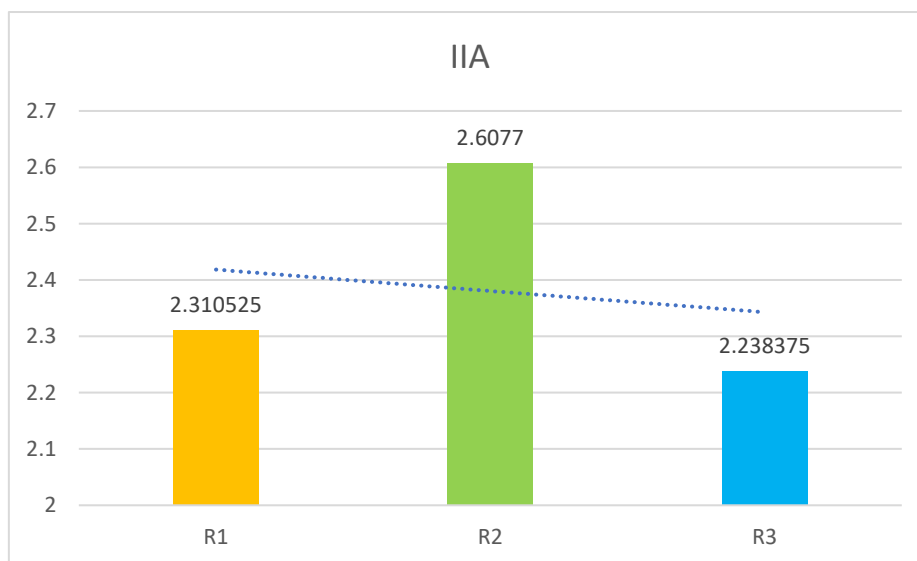


Figura 7: índice de absorción de agua en las tres repeticiones

Fuente: elaboración propia

3.1.4. Índice de solubilidad en agua (ISA)

Para calcular el índice de solubilidad en agua se utilizó la siguiente fórmula:

$$(ISA) = \frac{\text{peso de solubles (g)} \times \text{volumen del sobrenadante (G)} \times 10}{\text{peso de muestra (g)}}$$

Tabla XIV

Índice de solubilidad en las tres repeticiones del almidón de la cascara de plátano

MUESTRA	ISA (gr)
R1	2.36
R2	2.49
R3	3.05

Fuente: elaboración propia

En relación al cuadro del Índice de Solubilidad en Agua (ISA), se observan diferentes valores entre las muestras analizadas. La repetición R1 muestra un índice de 2.36 gramos, mientras que la repetición R2 presenta un valor ligeramente mayor, con 2.49 gramos. Por otro lado, la repetición R3 exhibe el índice más alto de solubilidad en agua, alcanzando 3.05 gramos. Estos datos

revelan variaciones significativas en la solubilidad en agua entre las repeticiones, lo que sugiere distintas propiedades o composiciones en el material estudiado.

Imagen 5: Índice de solubilidad en agua

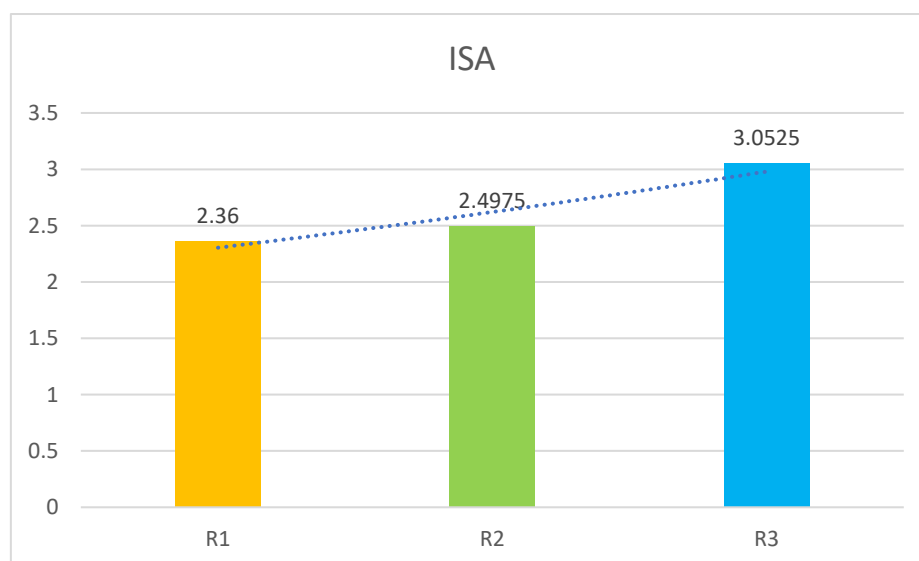


Figura 8: Índice de solubilidad en agua en las tres repeticiones del almidón de la cascara de plátano

Fuente: elaboración propia

3.1.5. Poder de hinchamiento (PH)

Para calcular el poder de hinchamiento se utilizó la siguiente fórmula:

$$(PH) = \frac{\text{peso del gel (g)}}{\text{peso de muestra (g)} - \text{peso de solubles(g)}}$$

Tabla XV

Poder de hinchamiento de las tres repeticiones del almidón de la cascara de plátano

REPETICION	PH (GR)
R1	2.47
R2	2.78
R3	2.42

Fuente: elaboración propia

En el cuadro del Poder de Hinchamiento (PH), se destacan los valores correspondientes a las diferentes muestras. La repetición R1 exhibe un poder de

hinchamiento de 2.47 gramos, seguida por la Repetición R2 y la Repetición R3, ambas con un valor de 2.78 y 2.42 gramos respectivamente. Estos datos revelan cierta cercanía en los poderes de hinchamiento entre las repeticiones. Estas variaciones pueden indicar pequeñas diferencias en las propiedades de hinchamiento de los materiales analizados.

Imagen 6: Índice de poder de hinchamiento

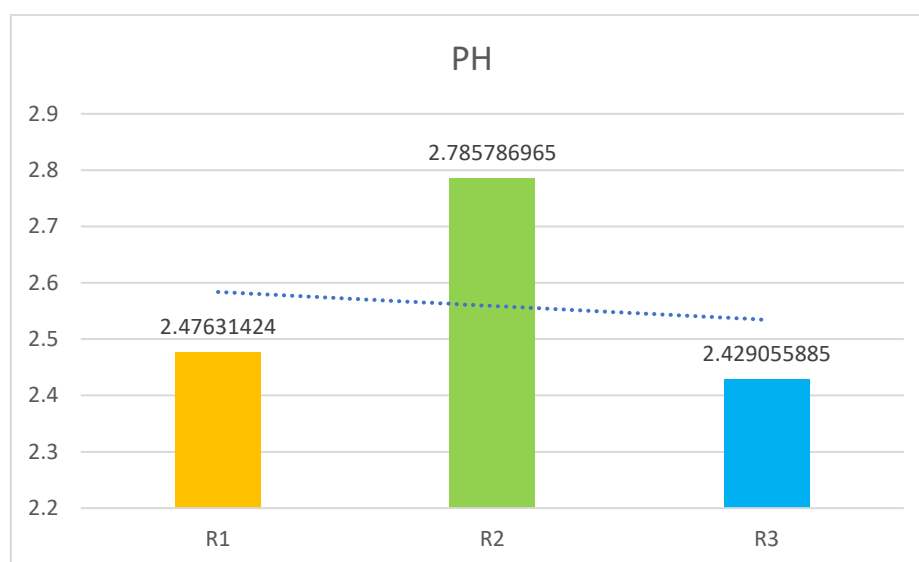


Figura 9: Índice de poder de hinchamiento de las tres repeticiones para el almidón de la cascara de plátano

3.2. Diferentes proporciones de almidón de la cáscara plátano y propóleo para le elaboración del envase biodegradable.

Tabla XVI

Diferentes Tratamientos para elaborar el envase biodegradable

MATERIA PRIMA	MC%	T1%	T2%	T3%
ALMIDÓN DE CASCARA DE PLÁTANO	1.44	1.90	2.81	3.70
PROPÓLEO	0	0.95	1.41	1.85
AGUA DESTILADA	96.43	95.06	93.72	92.42
GLICEROL	1.45	1.43	1.41	1.39
TWEEN 80	0.68	0.67	0.66	0.65
TOTAL	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia

Se han desarrollado láminas biodegradables siguiendo estas proporciones. Nuestra muestra de control radica en utilizar solamente almidón de cáscara de plátano como insumo principal. En cuanto a los tratamientos, el tratamiento T1 se compone de un 1.90% de almidón de cáscara de plátano y un 0.95% de propóleo,

mientras que el tratamiento T2 consiste en una combinación al 2.81% de almidón y 1.41% de propóleo. Por otro lado, el tratamiento T3 está formado por un 3.70% de almidón y 1.85% de propóleo. Es importante destacar que las cantidades de agua destilada, glicerol y tween 80 se mantienen constantes en cuestión de ml. sin variación en sus proporciones a lo largo de los tratamientos.

3.3. Seleccionar la proporción óptima que presente la mejor caracterización físico mecánica

Tabla XVII

Resultados de colorimetría Lab* del envase elaborado con diferentes proporciones de almidón de cascara de plátano y propóleo

	MC			T1			T2			T3		
	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
R1	40,745	12,092	17,081	38,842	10,533	16,392	36,271	11,135	14,179	30,811	9,777	11,513
R2	44,642	10,199	13,644	40,285	10,607	13,935	33,259	10,230	14,410	27,595	10,136	11,941
R3	55,790	7,574	9,573	42,555	9,708	13,106	33,612	11,220	15,083	27,615	10,131	12,941
R4	41,317	12,018	16,937	38,406	10,819	16,738	36,688	11,006	14,207	26,749	10,320	11,616
R5	38,897	10,766	14,955	39,976	10,628	14,009	32,567	11,386	15,027	27,217	10,500	12,416

Fuente: Elaboración propia

Tabla XVIII

Resultados de colorimetría Lab* de envase comercial para comparación con bio plástico

	MC			T1			T2			T3		
	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
R1	77,252	7,434	16,242	89,901	1,327	-0,447	82,746	5,312	9,920	79,451	6,395	14,025
R2	76,866	8,058	18,558	88,189	2,063	0,657	83,124	5,252	9,705	86,250	3,493	7,432
R3	79,968	5,700	11,638	92,119	0,803	-0,729	85,620	4,091	4,689	80,469	5,670	11,975
R4	73,495	8,898	18,710	88,459	1,942	0,626	85,730	3,387	6,197	75,396	8,291	17,814
R5	74,955	8,472	17,887	89,502	1,472	0,701	82,583	5,438	10,164	81,650	4,998	9,968

Fuente: Elaboración propia

Imagen 7: Colorimetría LAB

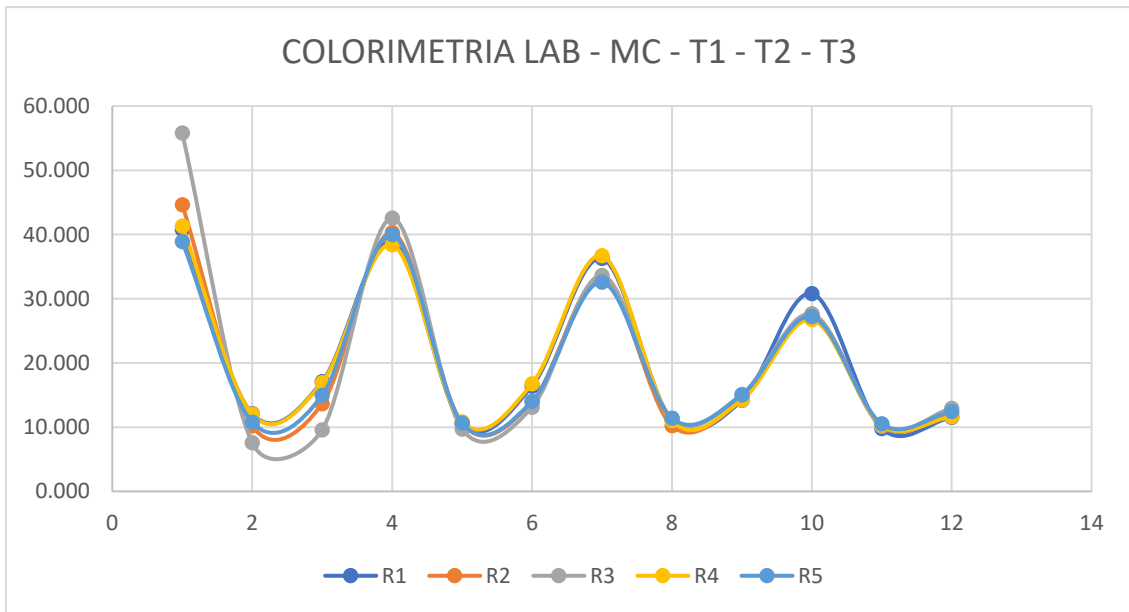


Figura 10: gráfico de colorimetría Lab* de los envases con distintos tratamientos

Tabla XIX

Resultados del espesor del envase elaborado con diferentes proporciones de almidón de cascara de plátano y propóleo

	MC		T1		T2		T3	
R1	2,8	mm	1,2	mm	1,9	mm	2,3	mm
R2	3	mm	1,9	mm	1,7	mm	2,1	mm
R3	3,2	mm	2,1	mm	2,1	mm	2,6	mm
R4	2,7	mm	2,2	mm	2,2	mm	2,4	mm
R5	2,9	mm	1,9	mm	2	mm	2,6	mm

Fuente: Elaboración propia

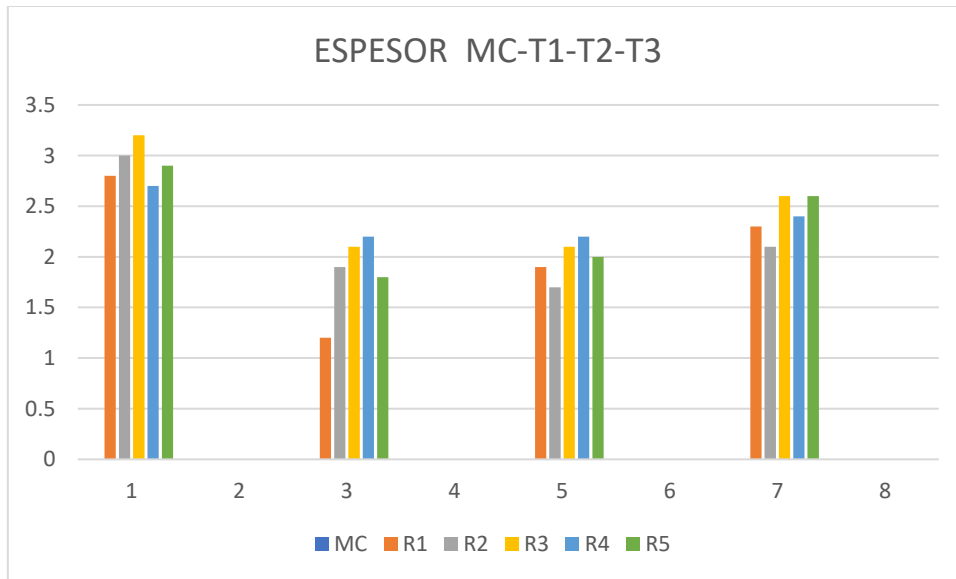


Figura 11: gráfico de espesor de los envases con distintos tratamientos

Tabla XX

Resultados de la propiedad mecánica del envase elaborado con diferentes proporciones de almidón de cascara de plátano y propóleo

Parámetros	1.44 ACP:	1.90 ACP:0.95 Propóleo	2.81 ACP: 1.41 Propóleo	3.70 ACP: 1.85 Propóleo
Resistencia a la tracción (MPa)	3.22	4.43	5.28	4.48

Nota: Se realizó la prueba de normalidad para saber si los datos tienen una distribución normal se utilizó la prueba de Shapiro Wilk porque el número de muestras es menor a 50.

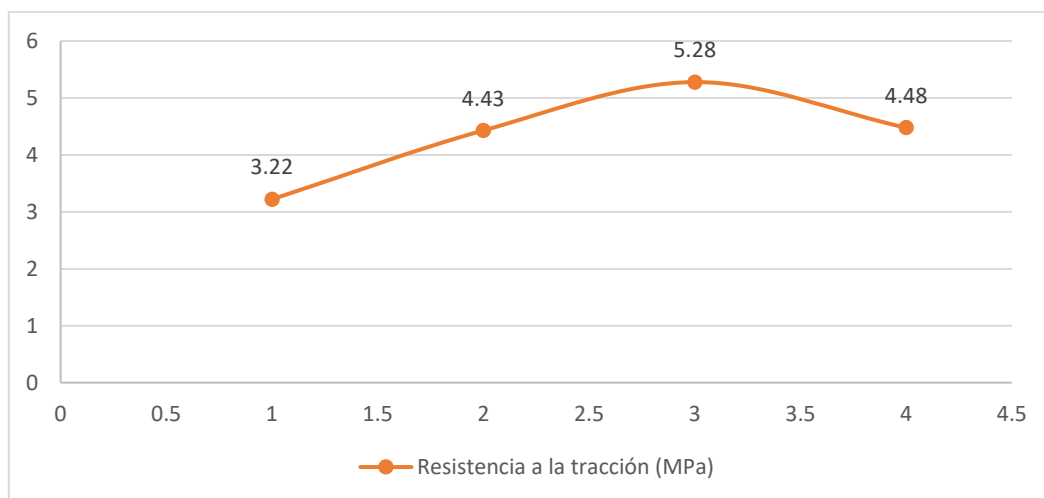


Figura 12: gráfico de comparación entre el ACP: Propóleo

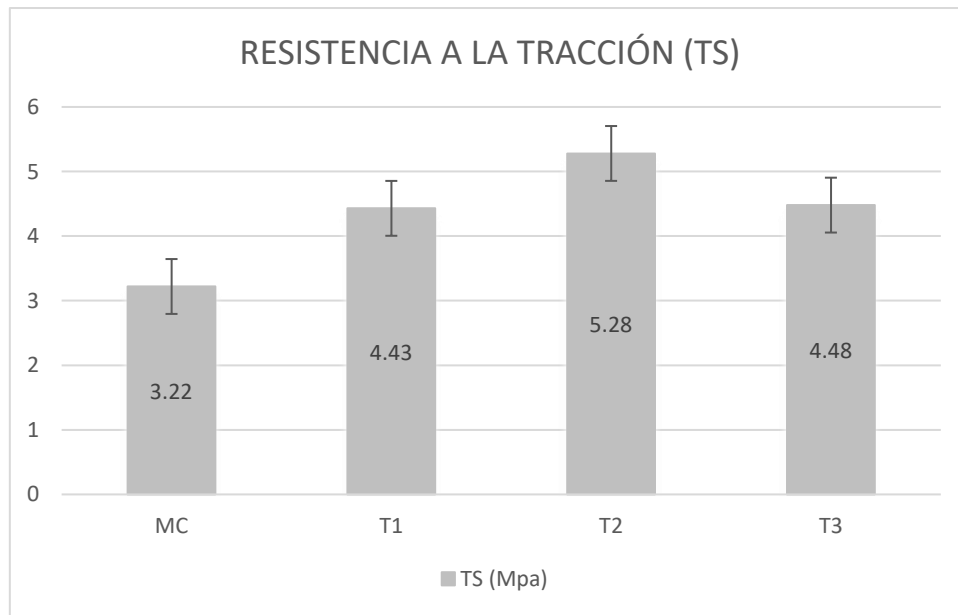


Figura 13: gráfico de barras respecto a los envases de acp: propóleo

Tabla XXI

Resultados de la prueba de Friedman.

	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	Las distribuciones de VAR00001. VAR00002. VAR00003 and VAR00004 son las mismas.	Análisis de dos vías de Friedman de Varianza por rango de muestras relacionadas	,425	Retener la hipótesis nula.

Nota: se muestra las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05

Los resultados demuestran que existen diferencias significativas entre los grupos debió a que $P \geq 0,05$

3.3.1. Pruebas de normalidad

Tabla XIVII

Pruebas de normalidad para el envase biodegradable con diferentes formulaciones

Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.

Muestra control	,283	4	.	,863	4	,272
Tratamiento 1	,184	4	.	,982	4	,916
Formulación 2	,402	4	.	,753	4	,041
Formulación 3	,288	4	.	,933	4	,612

Fuente: Elaboración propia

a. Corrección de significación de Lilliefors

Como el Sig. para todas las formulaciones incluyendo la muestra control es mayor a 0,05 se cumple con la prueba de normalidad

3.3.2. ANOVA

Tabla XXIII

Análisis de varianza para el almidón de la cascara de plátano.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamiento 1	Entre grupos	,013	2	,007	1,072	,564
	Dentro de grupos	,006	1	,006		
	Total	,020	3			
Tratamiento 2	Entre grupos	,008	2	,004	30,250	,128
	Dentro de grupos	,000	1	,000		
	Total	,008	3			
Tratamiento 3	Entre grupos	,001	2	,000	,006	,994
	Dentro de grupos	,046	1	,046		
	Total	,047	3			

Fuente: elaboración propia

Como el nivel de significancia es $\geq 0,05$ existe evidencia significativa que dentro de las tres formulaciones se da una variación entre los promedios

4. DISCUSIÓN

En la tabla IX se observan las características tecno funcionales del almidón de cáscara de plátano relacionados con las de almidón de maíz. El índice de humedad del almidón de cáscara de plátano es de aproximadamente 15.32 %. Este valor es comparable al del almidón de maíz, otro material natural utilizado en la fabricación de envases biodegradables. Según lo reportado [47] Un índice de humedad alto indica que el material es susceptible a la absorción de agua. En el caso de los envases biodegradables, esto puede provocar que el envase se hinche, se deforme o se rompa.

En relación al índice de absorción de agua del almidón de cáscara de plátano es de aproximadamente 180-200 g de agua/g de almidón. [48] Este valor es similar al del almidón de maíz. Un índice de absorción de agua alto indica que el material es capaz de absorber grandes cantidades de agua. En el caso de los envases biodegradables, esto puede provocar que el envase se hinche, se deforme o se rompa. Asimismo [49] este índice es un indicador de la capacidad que tiene la harina para absorber agua, lo cual depende de la disponibilidad de los grupos hidrófilos que se juntan a las moléculas de agua y también de la capacidad de las macromoléculas para formar un gel.

Con respecto al índice de solubilidad del almidón de cáscara de plátano es de aproximadamente 18-20%. [50] informan que este valor es similar al del almidón de maíz. Un índice de solubilidad alto indica que el material es capaz de disolverse en agua. En el caso de los envases biodegradables, esto puede provocar que el envase se ablande o se disuelva con el tiempo. Por otro lado [49] nos indica que el índice de solubilidad en el almidón es el parámetro que mide la degradación del almidón; los valores más bajos de índice de solubilidad de agua en un almidón significan que este se degrada en menor proporción y que los productos que sean extruidos del polisacárido contengan menos moléculas solubles.

En ese mismo sentido [47] Indican que el poder de hinchamiento del almidón de cáscara de plátano es de aproximadamente 28-30 g/g. Este valor es similar al del almidón de maíz. Un poder de hinchamiento alto indica que el material es capaz de aumentar su volumen en presencia de agua. Por otro lado [51] nos muestran valores más bajos en su almidón obtenido, contando con valores de $17,23 \pm 0,94$

g/g y $15,90 \pm g/g$, esto se presentó debido a los enlaces de hidrógeno en los gránulos de almidón los cuales formaban un complejo de lípidos y proteínas que restringen el hinchamiento, asimismo indican que el contenido de amilosa podría ser uno de los factores que limitan el poder de hinchamiento, debido a que un menor contenido de amilosa conlleva a un mayor poder de hinchamiento en el polisacárido, asimismo informan que el gránulo de almidón es un compuesto insoluble en agua que se hidrata a altas temperaturas y el poder de hinchamiento también va depender de la estructura del gránulo obtenido de distintas fuentes de almidón, de la misma forma va depender de la capacidad de retención de agua por medio del contenido de amilosa, cadenas de amilopectina y enlaces H, el alto contenido de amilopectina conlleva a un alto poder de hinchazón y alta viscosidad a baja temperatura y los poros en la superficie del almidón permitirán que el agua penetre y a la vez interrumpa la amilosa en las áreas amorfas, mejorando el poder de hinchamiento de los gránulos del almidón.

Y por último la temperatura de gelatinización del almidón de cáscara de plátano es de aproximadamente 65-70 °C. Este valor es similar al del almidón de maíz. La temperatura de gelatinización es la temperatura a la que el almidón comienza a gelatinizar, es decir, a perder su estructura cristalina.

Los resultados de los ensayos mecánicos realizados a envases biodegradables elaborados con diferentes proporciones de almidón de cáscara de plátano y propóleo muestran que las propiedades mecánicas de estos envases se ven afectadas por la composición de la mezcla.

Se denota que los valores de espesor de los tratamientos T1, T2 y T3 son bajos, lo cual también obtuvo [52] al realizar sus bio películas, esto se presenta debido a que el plastificante que en este caso es el glicerol reduce las fuerzas entre cadenas poliméricas encajando entre ellas y así dejando volumen libre entre los polímeros, dichos volúmenes son llenados con agua cuya formación se da en conjunto con el glicerol.

Según la medición del color a raíz de los parámetros L^* a^* b^* la MC consta de un color ligeramente más pronunciado a diferencia de los demás tratamientos, debido al mayor contenido de almidón, [52] obtuvo unas películas de color claro y ligeramente transparentes debido a su mayor contenido de glicerol el cual retiene mayor proporción de agua, dando así un bio plástico de mayor grosor y denso, que en consecuencia es menos translúcida.

En general, la muestra con una mayor proporción de almidón de cáscara de plátano tiene una menor resistencia a la tracción, esto se debe a que el almidón de cáscara de plátano es un material más flexible y menos rígido. [53] En particular, los envases con una proporción de 2.81% de almidón de cáscara de plátano y 1.41% de propóleo tienen una resistencia a la tracción de 5.28 MPa.

Por otro lado, los resultados demuestran que los envases con una proporción de 1.90% de almidón de cáscara de plátano con 0.95% de propóleo y la proporción 3.70% de acp con 1.85% de propóleo cuentan con una resistencia a la tracción de 4.43 MPa y 4.48 MPa respectivamente.

Los resultados de estos ensayos indican que los envases biodegradables elaborados con una proporción de 2.81 % de almidón de cáscara de plátano y 1.41% de propóleo son una buena opción para aplicaciones en las que se requiere una resistencia a la tracción considerable ya que se estaría contando con 53.84102 kg/cm (5.28 MPa).

5. CONCLUSIONES

- Al caracterizar el bio plástico para el envasado de frutas frescas se presentaron distintos resultados debido a las diferentes cantidades de almidón y propóleo en cada tratamiento, lo cual influye en las mezclas por cada tratamiento.
- El almidón de cascara de plátano se extrajo por el método de sedimentación y a su vez se realizó su caracterización, mostrando valores cercanos al almidón de maíz.
- Al evaluar los tratamientos de los bio plásticos se mostraron diferencias respecto a la colorimetría Lab*, espesor y resistencias a la tracción.
- El tratamiento dos mostró las mejores características en cuestión físico mecánica, resaltando la propiedad mecánica: resistencia a la tracción, abarcando un valor de 5.28 MPa.

6. RECOMENDACIONES

- Con respecto a los tratamientos se recomienda realizar más estudios para así evaluar más propiedades con las que puede contar un material bio degradable.
- Asimismo, se recomienda elaborar más envases o materiales bio degradables haciendo uso de almidones de distintas materias primas, ya sea a partir del mencionado o en conjunto con otros residuos orgánicos para que de dicha manera se obtengan materiales resistentes y con diferentes usos según sus propiedades.
- Recomiendo que las universidades aborden este tipo de estudios para que así se pueda reducir la contaminación diaria originada por los desechos orgánicos.

7. REFERENCIAS.

- [1] M. Kan and S. Miller, "Impactos ambientales de los envases de plástico de productos alimenticios.," *Resour Conserv Recycl*, vol. 180, no. August 2021, p. 106156, 2022, doi: 10.1016/j.resconrec.2022.106156.
- [2] J. E. Roldán-San Antonio and M. Martín, "Planta Integrada Óptima para la Producción de Polímeros Biodegradables," *ACS Sustain Chem Eng*, vol. 11, no. 6, pp. 2172–2185, 2023, doi: 10.1021/acssuschemeng.2c05356.
- [3] T. Moshood, G. Nawanir, F. Mahmud, F. Mohamad, H. Ahmad, and A. Abdulghani, "Aplicaciones del plástico biodegradable hacia la sostenibilidad: una innovación reciente en el producto verde," *ELSEVIER*, vol. 6, 2022, doi: 10.1016/j.clet.2022.100404.
- [4] P. M. Coelho, B. Corona, R. ten Klooster, and E. Worrell, "Sostenibilidad de los envases reutilizables – Situación actual y tendencias," *Resources, Conservation & Recycling: X*, vol. 6, p. 100037, May 2020, doi: 10.1016/J.RCRX.2020.100037.
- [5] P. Vélez, "¿Cuánto contaminan los envases y empaques de alimentos? – Comciencia," Dirección de investigación laboratorio comciencia.
- [6] D. A. C. O. ; J. J. H. C. ; C. A. L. R. ; S. F. R. Márquez, "Envases retornables para la venta de alimentos en Lima Metropolitana - CONDORI," PUCP, 2022.
- [7] S. M. Mendocilla Garcia, "Exposición a ftalatos y su relación con la salud humana: una revisión sistemática," pp. 62, xv, 62–xv, 2014.
- [8] M. Zaborowska and K. Bernat, "El desarrollo de métodos de reciclaje para materiales de base biológica: un desafío en la implementación de una economía circular: una revisión," *Waste Management and Research*, vol. 41, no. 1, pp. 68–80, 2023, doi: 10.1177/0734242X221105432.
- [9] P. Tennakoon, P. Chandika, M. Yi, and W.-K. Jung, "Biopolímeros de origen marino como posibles bioplásticos, una alternativa ecológica," *iScience*, vol. 26, no. 4, p. 106404, 2023, doi: 10.1016/j.isci.2023.106404.
- [10] M. Alcivar Gavilanes, K. Carrillo Anchundia, and M. Rieral, "Desarrollo de un Bioplástico a partir de Cáscara de Plátano," *Ingeniería e Investigacion*, vol. 42, no. 3, Feb. 2022, doi: 10.15446/ing.investig.92768.
- [11] H. Karne, P. Gaydhane, V. Gohokar, K. Deshpande, and P. Dunung, "Síntesis de material biodegradable a partir de cáscara de plátano," *Materials Today: Proceedings, Elsevier*, no. xxxx, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.05.157.
- [12] E. B. M. Viana *et al.*, "Desarrollo de bioplásticos a base de almidón de banano verde (*Musa paradisiaca* L.) modificados con tratamiento de calor-humedad (HMT)," *Food Packag Shelf Life*, vol. 31, no. November 2021, 2022, doi: 10.1016/j.fpsl.2021.100776.
- [13] C. Pongsuwan, P. Boonsuk, D. Sermwittayawong, P. Aiemcharoen, J. Mayakun, and K. Kaewtatip, "Fibra de desecho de inflorescencia de banano: un relleno eficaz para bioplásticos a base de almidón," *Ind Crops Prod*, vol. 180, no. January, p. 114731, 2022, doi: 10.1016/j.indcrop.2022.114731.
- [14] M. A. Montoya Cedeño *et al.*, "Elaboración de bioplásticos a base de cáscara de plátano (*musa paradisiaca*) y almidón de maíz (*zea mays*)," *Ciencia Latina*

Revista Científica Multidisciplinar, vol. 6, no. 4, pp. 2385–2401, 2022, doi: 10.37811/cl_rcm.v6i4.2763.

- [15] A. Bernal, M. Calero, and E. Lapo, “Diseño de una línea de producción de envases biodegradables a partir de bioplástico, aprovechando residuos del plátano (musa paradisíaca) con aplicación para el uso de empaquetado de alimentos,” pp. 1–197, 2021.
- [16] A. Panta Camacho, “Polvo del pericarpio (cáscara) de *Musa paradisíaca* y la producción de Biopolímeros biodegradables. Sullana 2022,” *UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA*, p. 57, 2022.
- [17] P. R. J. SAUL, “Evaluación de diferentes métodos de aplicación de fungicidas y extractos botánicos para el control de pudrición de corona de banano,” *Universidad Técnica de Machala*, pp. 1–34, 2021.
- [18] P. R. J. SAUL, “Evaluación de diferentes métodos de aplicación de fungicidas y extractos botánicos para el control de pudrición de corona de banano,” *Universidad Técnica de Machala*, pp. 1–34, 2021.
- [19] C. Mohan, H. Krishnamachari, S. Farris, and D. Romano, “Desarrollo y caracterización de películas de envasado termoplásticas bioactivas a base de almidón derivadas de cáscaras de plátano,” *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, vol. 5, no. May, p. 100328, 2023, doi: 10.1016/j.carpta.2023.100328.
- [20] G. Kiran *et al.*, “Síntesis y caracterización de bioplásticos a base de almidón de cáscara de plátano para la preparación de tubos intravenosos,” *Mater Today Commun*, vol. 33, no. September, p. 104464, 2022, doi: 10.1016/j.mtcomm.2022.104464.
- [21] V. D. M. Silva *et al.*, “Evaluación fisicoquímica de quesos rebozados e intercalados con películas de cáscara de plátano maduro y almidón enriquecido con extracto de hojas de níspero,” *Food Chemistry Advances*, vol. 2, no. April, p. 100276, 2023, doi: 10.1016/j.focha.2023.100276.
- [22] V. D. Medeiros Silva, M. C. Coutinho Macedo, C. G. Rodrigues, A. Neris dos Santos, A. C. de Freitas, and C. A. Fante, “Películas comestibles biodegradables de cáscara de plátano maduro y almidón enriquecido con extracto de hojas de *Eriobotrya japonica*,” *Food Biosci*, vol. 38, no. September, p. 100750, 2020, doi: 10.1016/j.fbio.2020.100750.
- [23] H. Tibolla *et al.*, “Nanocompuesto de almidón de plátano con nanofibras de celulosa aislado de cáscara de plátano mediante tratamiento enzimático: Evaluación de citotoxicidad *in vitro*,” *Carbohydr Polym*, vol. 207, no. May 2018, pp. 169–179, 2019, doi: 10.1016/j.carbpol.2018.11.079.
- [24] P. Rai *et al.*, “Material a base de ácido poliláctico/almidón de tapioca/cáscara de plátano para aplicaciones de biosensores colorimétricos y electroquímicos,” *Carbohydr Polym*, vol. 302, no. October 2022, p. 120368, 2023, doi: 10.1016/j.carbpol.2022.120368.
- [25] S. Nakajima, S. Kuroki, and A. Ikehata, “Detección selectiva de almidón en frutos de banano con espectroscopia Raman,” *Food Chem*, vol. 401, no. September 2022, p. 134166, 2023, doi: 10.1016/j.foodchem.2022.134166.

- [26] A. Ghosh, A. Ali, and S. R. Collie, "Effect of wool keratin on mechanical and morphological characteristics of polycaprolactone suture fibre," *Journal of Textile Engineering*, vol. 63, no. 1, pp. 1–4, 2017, doi: 10.4188/jte.63.1.
- [27] A. V. Bósquez, F. Bayas-Morejón, D. Montero, Y. C. García, and P. L. Osorio, "Analysis of the antioxidant and antimicrobial activity of propolis in the Bolivar province, Ecuador," *Bionatura*, vol. 8, no. 4, 2023, doi: 10.21931/RB/2023.08.04.8.
- [28] U. Nacional De Trujillo *et al.*, "Escuela de Ingeniería Agroindustrial."
- [29] M. Rusková *et al.*, "Envase Activo Biodegradable Enriquecido con Aceites Esenciales para Mejorar la Vida Útil de las Fresas," *Antioxidants*, vol. 12, no. 3, 2023, doi: 10.3390/antiox12030755.
- [30] S. N. Idris *et al.*, "La degradación de plásticos de un solo uso y bioplásticos comercialmente viables en el medio ambiente: una revisión," *Environ Res*, vol. 231, no. P1, p. 115988, 2023, doi: 10.1016/j.envres.2023.115988.
- [31] M. Yanat and K. Schroën, "Avances en el uso de nanopartículas a base de quitina en polímeros biodegradables: una revisión," *Carbohydr Polym*, vol. 312, no. March, p. 120789, 2023, doi: 10.1016/j.carbpol.2023.120789.
- [32] S. Jayasekara, L. Dissanayake, and L. Jayakody, "Oportunidades en la valorización microbiana de residuos orgánicos de la industria azucarera para materiales biodegradables de envasado inteligente de alimentos," *Int J Food Microbiol*, vol. 377, no. June, p. 109785, 2022, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109785.
- [33] G. Tassinari, A. Bassani, G. Spigno, C. Soregaroli, and D. Drabik, "¿Valen la pena las películas de envasado de alimentos biodegradables a partir de residuos agroalimentarios Un análisis de costes y beneficios en el contexto de Europa," *Science of the Total Environment*, vol. 856, no. September 2022, 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159101.
- [34] S. Shaikh, M. Yaqoob, and P. Aggarwal, "Una visión general de los envases biodegradables en la industria alimentaria," *Curr Res Food Sci*, vol. 4, pp. 503–520, 2021, doi: 10.1016/j.crfs.2021.07.005.
- [35] H. Cheng *et al.*, "Materiales de empaque biodegradables a base de almidón: una revisión de su preparación, caracterización y diversas aplicaciones en la industria alimentaria," *Trends Food Sci Technol*, vol. 114, no. May, pp. 70–82, 2021, doi: 10.1016/j.tifs.2021.05.017.
- [36] M. Stoica, V. Marian Antohi, M. Laura Zlati, and D. Stoica, "El impacto financiero de la sustitución de envases de plástico por biopolímeros biodegradables: una solución inteligente para la industria alimentaria," *J Clean Prod*, vol. 277, p. 124013, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124013.
- [37] T. Majeed *et al.*, "Papel de los aditivos en películas y recubrimientos comestibles a base de almidón: una revisión con el conocimiento actual," *Prog Org Coat*, vol. 181, no. March, p. 107597, 2023, doi: 10.1016/j.porgcoat.2023.107597.
- [38] W. Xue, J. Zhu, P. Sun, F. Yang, H. Wu, and W. Li, "Permeabilidad de películas biodegradables que comprenden biopolímeros derivados de origen marino para aplicaciones de envasado de alimentos una revisión," *Trends Food Sci Technol*, vol. 136, no. April, pp. 295–307, 2023, doi: 10.1016/j.tifs.2023.05.001.

- [39] M. Yanat and K. Schroën, "Avances en el uso de nanopartículas a base de quitina en polímeros biodegradables: una revisión," *Carbohydr Polym*, vol. 312, no. March, p. 120789, 2023, doi: 10.1016/j.carbpol.2023.120789.
- [40] M. Crippa *et al.*, "Emisiones antropogénicas globales en áreas urbanas: patrones, tendencias y desafíos," *Environmental Research Letters*, vol. 16, no. 7, 2021, doi: 10.1088/1748-9326/ac00e2.
- [41] M. A. C. Freire, "EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN A PARTIR DE RESIDUOS DE BANANO (MUSA PARADISIACA) PARA LA ELABORACIÓN DE UN BIOPOLÍMERO," Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, 2018.
- [42] P. Añanca, D. Córdova, J. Correa, E. Palacios, and D. Pascual, "Diseño del proceso productivo de envases biodegradables a base de cascarilla de arroz y hojilla de algarrobo en la región Piura," Universidad de Piura, 2020.
- [43] N. Fernandez Salvador, "Propiedades funcionales y químicas de harinas de distintas variedades de trigo Sarraceno y TEF," 2016.
- [44] N. Fernandez Salvador, "Propiedades funcionales y químicas de harinas de distintas variedades de trigo Sarraceno y TEF," 2016.
- [45] A. Juan-Polo, C. Pavon, H. de la Rosa-Ramírez, and J. López-Martínez, "Use of Raw Peach Gum as a Sustainable Additive for the Development of Water-Sensitive and Biodegradable Thermoplastic Starch Films," *Polymers (Basel)*, vol. 15, no. 16, Aug. 2023, doi: 10.3390/polym15163359.
- [46] J. Tarique, S. M. Sapuan, and A. Khalina, "Effect of glycerol plasticizer loading on the physical, mechanical, thermal, and barrier properties of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch biopolymers," *Sci Rep*, vol. 11, no. 1, Dec. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-93094-y.
- [47] K. Luo, K. B. Jeong, C. S. Park, and Y. R. Kim, "Biosynthesis of superparamagnetic polymer microbeads via simple precipitation of enzymatically synthesized short-chain amylose," *Carbohydr Polym*, vol. 181, no. November 2017, pp. 818–824, 2018, doi: 10.1016/j.carbpol.2017.11.073.
- [48] J. Ge, P. Yue, J. Chi, J. Liang, and X. Gao, "Formation and stability of anthocyanins-loaded nanocomplexes prepared with chitosan hydrochloride and carboxymethyl chitosan," *Food Hydrocoll*, vol. 74, pp. 23–31, 2018, doi: 10.1016/j.foodhyd.2017.07.029.
- [49] D. Neder-Suárez *et al.*, "Physicochemical changes and resistant-starch content of extruded cornstarch with and without storage at refrigerator temperatures," *Molecules*, vol. 21, no. 8, pp. 1–19, 2016, doi: 10.3390/molecules21081064.
- [50] C. Demetgül and N. Beyazit, "Synthesis, characterization and antioxidant activity of chitosan-chromone derivatives," *Carbohydr Polym*, vol. 181, no. November 2017, pp. 812–817, 2018, doi: 10.1016/j.carbpol.2017.11.074.
- [51] N. Thanyapanich and A. Jimtaisong, "Propiedades funcionales del almidón de plátano (*Musa spp.*) y su utilización en cosmética," pp. 1–16, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/molecules26123637>.

- [52] D. Salazar, M. Arancibia, S. Casado, A. Viteri, M. E. López-Caballero, and M. P. Montero, "Green banana (*Musa acuminata* AAA) wastes to develop an edible film for food applications," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 18, Sep. 2021, doi: 10.3390/polym13183183.
- [53] A. Orsuwan and R. Sothornvit, "Effect of banana and plasticizer types on mechanical, water barrier, and heat sealability of plasticized banana-based films," *J Food Process Preserv*, vol. 42, no. 1, p. e13380, Jan. 2018, doi: 10.1111/JFPP.13380.
- [54] A. Lisitsyn *et al.*, "Enfoques en la aplicación de proteínas animales y polisacáridos naturales para el envasado de alimentos: producción de películas comestibles y estimación de la calidad," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 10, 2021, doi: 10.3390/polym13101592.

8. ANEXOS

➤ **ALMIDÓN DE CÁSCARA DE PLÁTANO.**

a) **Humedad** – AOAC 934.06 - Método Thanyapanich & Jimtaisong, 2021

El contenido de humedad se determina mediante el método de [51], colocando un gramo de muestra de almidón en un analizador de humedad en condiciones de 100 °C por 1 minuto, posterior a ello se registra el porcentaje de contenido de humedad.

b) **Gelatinización** – ISO 6647 -2 - Método Thanyapanich & Jimtaisong, 2021

La gelificación del almidón se determinó por medio del método de [51], las muestras de almidón se preparan al 0,5 ; 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 6 ; 8 ; 10 ; 12 y 14% p/v en probetas con agua destilada; las suspensiones se mezclan en un vortex hasta homogenizar. Los tubos de ensayo se calientan en un baño de agua a 55, 65, 75 y 80 °C por 30 min y se enfrían con agua corriente fría para luego enfriar por 2 horas a 4 °C. La concentración de gelatinización se determina por la concentración cuando se invierta el tubo de ensayo y la muestra no resbale ni se caiga.

c) **Índice de absorción de agua – métodos utilizados por el autor [44]**

Para la determinación del índice de absorción de agua se pesaron unos 2 gramos de cada muestra de harina (mo), por triplicado, en tubos de centrifuga de 50 ml y se añadieron 40 ml de agua destilada. La mezcla se agitó cuidadosamente con un vortex y se calentó en un baño a 90°C durante 10 minutos. Posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente, y se centrifugó durante 10 minutos a 3000g. Pasado este tiempo se separó y pesó el sobrenadante vertiéndolo en cápsulas previamente taradas. Las cápsulas con el sobrenadante se dejaron en la estufa a 110°C durante 24 horas para finalmente volver a pesarlas con el residuo seco del sobrenadante (msd). También se pesó la fracción que quedaba en el fondo de los tubos (harina hidratada) tras quitar el sobrenadante (mss). El índice de absorción de agua se calculó mediante las siguientes expresiones:

$$WAI = \frac{m_{ss}}{m_0} (g/g)$$

d) **Poder de hinchamiento** método utilizado por el autor [44].

Para la determinación el poder de hinchamiento, se pesaron unos 2 gramos de cada muestra de harina (mo), por triplicado, en tubos de centrifuga de 50 ml y se añadieron 40 ml de agua destilada. La mezcla se agitó cuidadosamente con varilla de vidrio y se calentó en un baño a 90°C durante 10 minutos.

Posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente, y se centrifugó durante 10 minutos a 3000g. Pasado este tiempo se separó y pesó el sobrenadante vertiéndolo en cápsulas previamente taradas. Las cápsulas con el sobrenadante se dejaron en la estufa a 110°C durante 24 horas para finalmente volver a pesarlas con el residuo seco del sobrenadante (msd). También se pesó la fracción que quedaba en el fondo de los tubos (harina hidratada) tras quitar el sobrenadante (mss). Índice de solubilidad se calcularon mediante las siguientes expresiones:

$$SP = \frac{m_{ss}}{m_0 - m_{sd}} (g/g)$$

e) Índice de solubilidad (WSI) – métodos utilizados por el autor [44]

Para la determinación del índice de solubilidad de agua y el poder de hinchamiento, se pesaron unos 2 gramos de cada muestra de harina (m_0), por triplicado, en tubos de centrifuga de 50 ml y se añadieron 40 ml de agua destilada. La mezcla se agitó cuidadosamente con varilla de vidrio y se calentó en un baño a 90°C durante 10 minutos. Posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente, y se centrifugó durante 10 minutos a 3000g. Pasado este tiempo se separó y pesó el sobrenadante vertiéndolo en cápsulas previamente taradas. Las cápsulas con el sobrenadante se dejaron en la estufa a 110°C durante 24 horas para finalmente volver a pesarlas con el residuo seco del sobrenadante (msd). También se pesó la fracción que quedaba en el fondo de los tubos (harina hidratada) tras quitar el sobrenadante (mss). Índice de solubilidad se calcularon mediante las siguientes expresiones:

$$WSI = \frac{m_{sd}}{m_0} \times 100 (g/100g)$$

➤ **ENVASE BIO DEGRADABLE**

a) Resistencia a la tracción – ASTM D6241 -14 - Método de resistencia de perforación estática

La fuerza de perforación conlleva a determinar la resistencia del material frente a la perforación dinámica y propagación de desgarro. Estos estudios se realizan en máquinas de prueba, como analizadores de textura, que cuentan con boquillas diseñadas para medición de la resistencia a la perforación. Las muestras de películas previamente se condensan antes de realizar las pruebas, ya sea analizadores de textura que están equipados con boquillas especiales diseñadas para medición de la resistencia a la perforación. Las muestras se condensan previamente, luego son colocadas de cierta forma y tamaño (30 mm

* 30 mm), en el anillo de soporte del analizador de textura. Se fija una placa redonda de aluminio con tornillos para que la película no se deslice, luego una sonda esférica de acero inoxidable de cierto diámetro se lleva perpendicular a la superficie del polímero a velocidad de 1 mm/s hasta perforar la muestra. El coeficiente de fuerza de punción se determina a raíz de las curvas de “fuerza-deformación” registradas con un software[54].

La deformación por punción (PD, %) se obtiene mediante la ecuación:

$$PD = \sqrt{D^2 - l_0^2} / l_0 * 100$$

lo = longitud de la película, igual al radio del espacio anular (mm)

D = desplazamiento de la sonda en el punto de ruptura (mm)

b) Colorimetría – Método de colorimetría L*a*b*

El color de la biopelícula se mide utilizando un colorímetro Colorflex-Diff /Hunter, en espacio CIEL*a*b*, analizando 3 muestras de cada formulación.

Se determinan los valores promedios y la desviación estándar de las coordenadas L*, a*, b*[45]

c) Espesor – Método de medición manual

Se hace uso de un micrómetro para la medición del espesor por película por triplicado por cada tratamiento y de esa manera estimar el valor medio [46]

ANEXOS DE IMÁGENES: ANÁLISIS TECNO FUNCIONALES

- **Índice de humedad**

Según los métodos tecno funcionales para calcular el porcentaje de humedad del almidón de la cáscara de plátano, se pesaron 1 gramo para la M1-R1(1 gr), M1-R2 (1.001 gr) y M1-R2(1.000gr); lo mismo se realizó con la M2-R1(1.006 gr), M2-R2(1.000 gr) y M2-R3 (1.017), posterior a ello se secó en analizador de humedad a 100°C en un tiempo de 1 hora.

Figura 1: Muestra 1

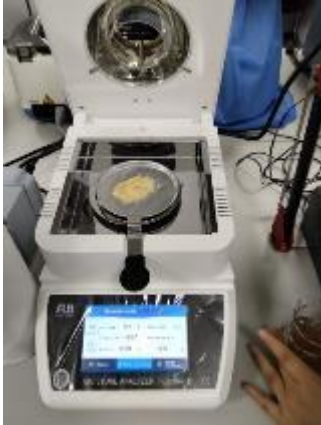


Figura 2: Muestra 2

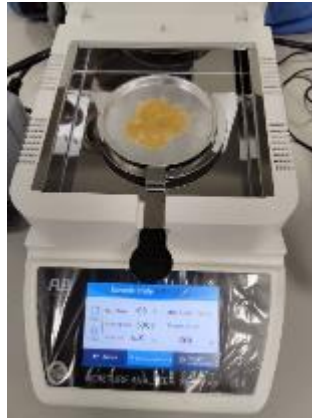
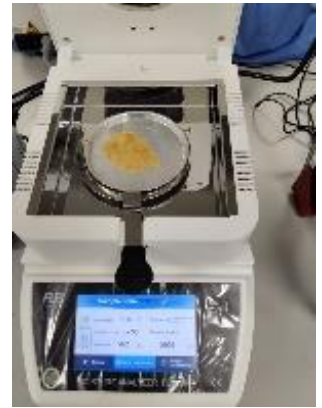


Figura 3: Muestra 3



- **Gelatinización**

En el proceso de gelatinización se agregó 10 gr de almidón y 90 gr de agua destilada para las tres muestras, dicho proceso se realizó en un agitador magnético a 80°C.

Figura 4: Muestra 1



La M1 tardó en gelatinizar 7:23:03 minutos

Figura 5: Muestra 2



La M2 tardó en gelatinizar 10:05:20 minutos

- **Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento**

Se utilizó el mismo procedimiento para el índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y el poder de hinchamiento, pero con diferentes fórmulas para análisis.

Figura 9: Agitación en vortex – Muestras M1



Figura 10: Agitación en vortex – Muestras M2



Se realiza la agitación del almidón con agua destilada haciendo uso de un vórtex para obtener una mezcla homogénea.

Figura 11: Baño María – Muestras M1 – M2



Se somete las mezclas homogenizadas en un baño maría a 90° por 10 minutos

Figura 12: Centrifugación – Muestras M1 – M2



Las muestras se someten a centrifugación a 3000 rpm durante 10 minutos para decantación y así separar soluto de solvente y así poder verter el sobrenadante en las placas.

Figura 12: Estufa – Muestras M1 – M2



Se realiza el secado del sobrenadante en la estufa a 110° por 24 horas.

Figura 13: Muestra
1-R1

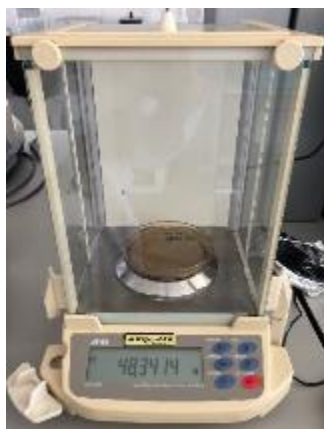


Figura 14: Muestra 1-
R2

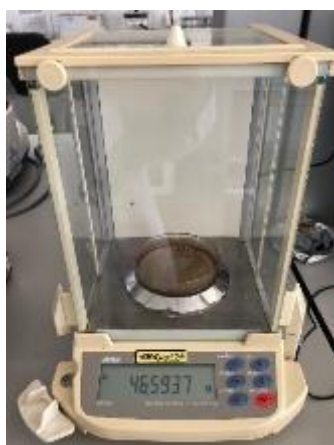


Figura 15: Muestra 1-
R2

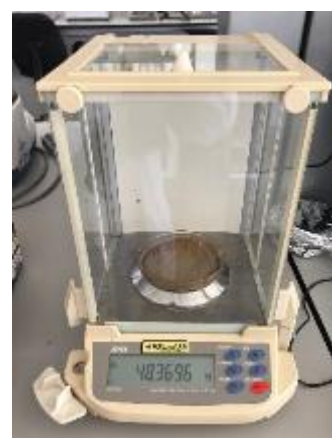


Figura 16: Muestra 2-R1

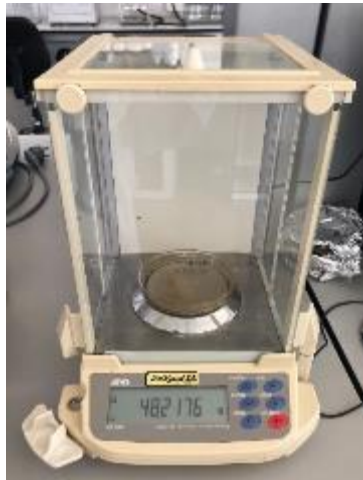


Figura 17: Muestra 2-R2

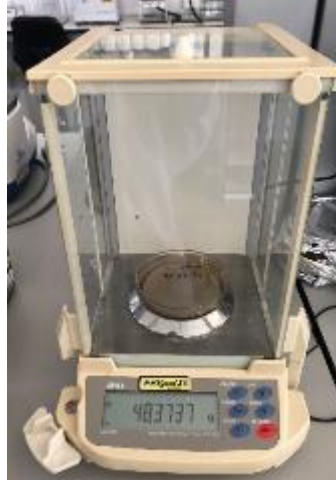
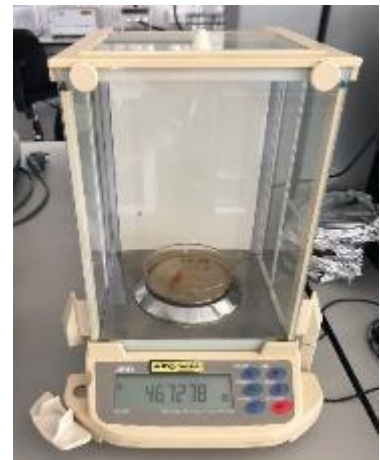


Figura 18: Muestra 2-R3



Para el índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento se ha utilizado 2 gramos de almidón de la cascara de plátano y 40 ml de agua destilada para las dos muestras.

- **Grosor**

Figura 19: Tratamiento 1



Figura 20: Tratamiento 2



Figura 21: Tratamiento 3



- **Colorimetría**

Figura 22: Repetición 1

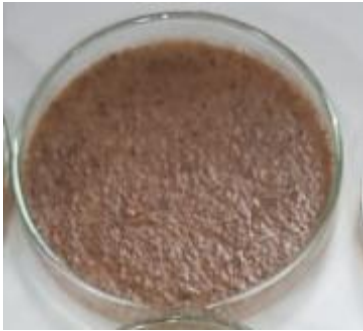


Figura 23: Repetición 2



Figura 24: Repetición 3

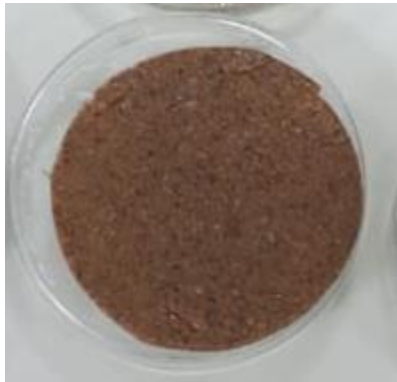


Figura 25: Repetición 4

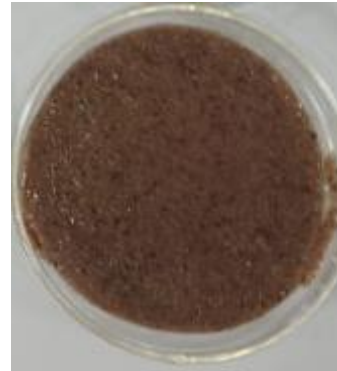
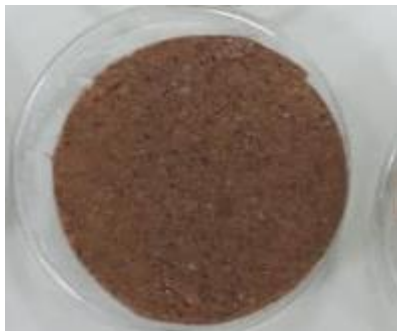


Figura 26: Repetición 5



Para realizar las pruebas de colorimetría se capturaron tomas de las repeticiones por los tratamientos MC, T1, T2, T3.

Anexos de imágenes: resultado final

Figura 27: MC

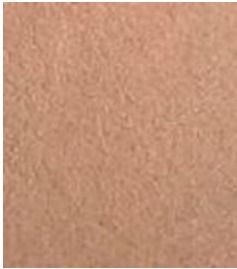


Figura 28: T1



Figura 29: T2



Figura 30: T4

