

# UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

INFORME DE INVESTIGACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA

**TEMA:**

OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE LA PENCA DE PITAHAYA (*Selenicereus undatus*) CON ALMIDÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum*) Y EXTRACTO DE ORÉGANO (*Origanum vulgare*) PARA SU POSTERIOR EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y MICROBIOLÓGICAS

**AUTOR:**

Jessica Paola Arcos Logroño  
Andrea Carolina Cerda Morocho

**DIRECTOR:**

MSc. Diego Geovanny Barzallo Granizo

Milagro, 2024

## DERECHOS DE AUTOR

**Sr. Dr.**

**Fabricio Guevara Viejo**

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Nosotras, Andrea Carolina Cerda Morocho y Jessica Paola Arcos Logroño en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizado como requisito previo para la obtención de nuestro Grado, de Magister en Biotecnología, como aporte a la Línea de Investigación Biorremediación de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizamos a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Informe de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro,



Firmado electrónicamente por:  
JESSICA PAOLA  
ARCOS LOGRONO

Jessica Paola Arcos Logroño

0603881905



Firmado electrónicamente por:  
ANDREA CAROLINA  
CERDA MOROCHO

Andrea Carolina Cerda Morocho

0603926510

## APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Diego Geovanny Barzallo Granizo en mi calidad de tutor del trabajo de titulación, elaborado por Andrea Carolina Cerda Morocho y Jessica Paola Arcos Logroño, cuyo tema es “Obtención de bioplástico a partir de la penca de pitahaya (*Selenicereus undatus*) con almidón de papa (*Solanum tuberosum*) como aditivo” que aporta a la Línea de Investigación Biorremediación, previo a la obtención del Grado Magíster en Biotecnología, Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo APRUEBO, a fin de que en el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro,



Firmado electrónicamente por:  
DIEGO GEOVANNY  
BARZALLO GRANIZO

Diego Geovanny Barzallo Granizo

CI: 0603923095

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR**  
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADO**  
**CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA**

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. CERDA MOROCHO ANDREA CAROLINA**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE LA PENCA DE PITAHAYA (SELENICEREUS UNDATUS) CON ALMIDÓN DE PAPA (SOLANUM TUBEROSUM) Y EXTRACTO DE ORÉGANO (ORIGANUM VULGARE) PARA SU POSTERIOR EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y MICROBIOLÓGICAS", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	59.50
SUSTENTACIÓN	39.33
PROMEDIO	<b>98.83</b>
EQUIVALENTE	<b>Excelente</b>



DENNY WILLIAM  
MORENO CASTRO

Mgs MORENO CASTRO DENNY WILLIAM  
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



KEVIN XAVIER  
HUILCAREMA ENRIQUEZ

Mcmq HUILCAREMA ENRIQUEZ KEVIN XAVIER  
VOCAL



ALEX EDWIN GUILLEN  
BONILLA

Ing. GUILLEN BONILLA ALEX EDWIN  
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADO**  
**CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA**

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. ARCOS LOGROÑO JESSICA PAOLA**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE LA PENCA DE PITAHAYA (SELENICEREUS UNDATUS) CON ALMIDÓN DE PAPA (SOLANUM TUBEROSUM) Y EXTRACTO DE ORÉGANO (ORIGANUM VULGARE) PARA SU POSTERIOR EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y MICROBIOLÓGICAS", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	59.17
SUSTENTACIÓN	39.16
PROMEDIO	98.33
EQUIVALENTE	Excelente



DENNY WILLIAM  
MORENO CASTRO

Mgs MORENO CASTRO DENNY WILLIAM  
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



KEVIN XAVIER  
HUILCAREMA ENRIQUEZ

Mcimq HUILCAREMA ENRIQUEZ KEVIN XAVIER  
VOCAL



ALEX EDWIN GUILLEN  
BONILLA

Ing. GUILLEN BONILLA ALEX EDWIN  
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

## DEDICATORIA

A mis padres, quienes siempre han estado ahí para mí con su amor inquebrantable, su apoyo constante y sus sacrificios incansables. A mi familia, mi mayor fuente de inspiración, por ser mi sostén en cada paso del camino. A todas las personas que han contribuido de alguna manera a la realización de este proyecto, mi más sincero agradecimiento. Este logro es también suyo, dedicado con todo mi cariño y gratitud.

Carolina

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi agradecimiento a Dios quién me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

A mi familia por su comprensión y estímulo constante, además su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios.

Y a todas las personas que de una y otra forma me apoyaron en la realización de este trabajo.

## Resumen

La intensificación en la producción y uso de plástico en las últimas décadas ha generado impactos ambientales producidos por una inadecuada gestión de los desechos de producción y uso de estos materiales, generando una amenaza tanto para los sistemas acuáticos y terrestres como a la salud humana. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación comprobar la factibilidad del uso del mucílago de penca de pitahaya *Selenicereus undatus* para la elaboración de bioplástico con almidón de papa *Solanum tuberosum* como aditivo. Se emplearon procesos ya establecidos para la producción de bioplásticos con mucílago de especies similares de cactus (*Opuntia ficus-indica*) y nopal (*Opuntia tomentosa*), obteniendo un porcentaje de rendimiento del mucílago de 52,46%, posteriormente se realizó el bioplástico con un diseño experimental al azar con cuatro tratamientos de tres repeticiones cada uno, añadiendo aditivos a la formulación inicial para mejorar las propiedades de las películas como extracto de orégano y se procedió a caracterizar las propiedades físico-mecánicas de las películas de bioplástico, dando como resultado que el tratamiento T<sub>2</sub> (100% mucílago, 2,5% almidón, 1% extracto de orégano, 3% grenetina, 10% vinagre y 5% glicerina) brinda mejores características en cuanto a resistencia a la ruptura y elongación, espesor y humedad, además presentó inhibición a la bacteria *Escherichia coli*, produciendo un halo de inhibición de 1mm. Concluyendo que la formulación T<sub>2</sub> presenta características idóneas para la elaboración de bioplástico, alcanzando resultados dentro de los límites establecidos como óptimos.

**Palabras clave:** Bioplástico, almidón, pitahaya, orégano, bacterias, calidad

## Abstract

The intensification in the production and use of plastic in recent decades has generated environmental impacts due to inadequate management of the production and usage waste of these materials, posing a threat to both aquatic and terrestrial systems as well as human health. Therefore, the aim of this research is to verify the feasibility of using dragon fruit (*Selenicereus undatus*) mucilage to produce bioplastic with potato starch (*Solanum tuberosum*) as an additive. Established processes to produce bioplastics with mucilages from similar cactus species such as prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) and nopal (*Opuntia tomentosa*) were employed, achieving a mucilage yield percentage of 52.46%. Subsequently, bioplastic was produced using a randomized experimental design with four treatments and three replicates each, adding additives to the initial formulation to enhance the film properties, such as oregano extract. The physical-mechanical properties of the bioplastic films were then characterized, resulting in the conclusion that treatment T<sub>2</sub> (100% mucilage, 2.5% starch, 1% oregano extract, 3% gelatin, 10% vinegar, and 5% glycerin) provides better characteristics in terms of rupture resistance, elongation, thickness, and moisture. Furthermore, it exhibited inhibition against *Escherichia coli* bacteria, producing a 1mm inhibition zone. In conclusion, formulation T<sub>2</sub> demonstrates suitable characteristics for bioplastic production, achieving results within the established optimal limits.

**Keywords:** Bioplastic, starch, dragon fruit, oregano, bacteria, quality

## Lista de Ilustraciones

<b>Ilustración 1:</b> Bioplástico a base de almidón de yuca.....	13
<b>Ilustración 2:</b> Producción global de bioplásticos en el año 2021 .....	14
<b>Ilustración 3:</b> Características principales estudiadas de los bioplásticos caseros	16
<b>Ilustración 4:</b> Eschericia coli al microscópio .....	17
<b>Ilustración 5:</b> Selenicereus sp.....	19
<b>Ilustración 6:</b> Penca de pitahaya con frutos.....	20
<b>Ilustración 7:</b> Estructura química de la amilosa.....	21
<b>Ilustración 8:</b> Estructura química de la amilopectina .....	21

## Lista de Figuras

<b>Figura 1:</b> Clasificación de las técnicas de degradación de residuos plásticos.....	12
<b>Figura 2:</b> Métodos convencionales y avanzados para la extracción de aceites esenciales.....	26
<b>Figura 3:</b> Diagrama de flujo del proceso de obtención del mucílago de penca de pitahaya .....	31
<b>Figura 4:</b> Diagrama de flujo para la obtención de bioplástico a partir de mucílago de penca de pitahaya .....	36
<b>Figura 5:</b> Proceso para la determinación de inhibición bacteriana.....	40
<b>Figura 6:</b> Media del espesor en los cuatro tratamientos .....	51
<b>Figura 7:</b> Media de elongación en los cuatro tratamientos.....	52
<b>Figura 8:</b> Media de fuerza de los cuatro tratamientos .....	54
<b>Figura 9:</b> Medias de resistencia para los cuatro tratamientos.....	55
<b>Figura 10:</b> Media del porcentaje de humedad para los cuatro tratamientos.....	56

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1:</b> Operacionalización de variables independientes .....	7
<b>Tabla 2:</b> Operacionalización de variables dependientes .....	7
<b>Tabla 3:</b> Clasificación taxonómica de la pitahaya .....	18
<b>Tabla 4:</b> Nutrientes presentes en 100 gramos de pitahaya .....	19
<b>Tabla 5:</b> Composición química del almidón de papa .....	22
<b>Tabla 6:</b> Tipos de glicerol según su contenido puro .....	24
<b>Tabla 7:</b> Procedimiento para la extracción del mucílago de penca de pitahaya .....	32
<b>Tabla 8:</b> Caracterización físico-química del mucílago .....	33
<b>Tabla 9:</b> Formulaciones para la elaboración de bioplástico a partir de mucílago de penca de pitahaya .....	37
<b>Tabla 10:</b> Ensayos ejecutados para la caracterización físico-mecánica del bioplástico .....	38
<b>Tabla 11:</b> Determinación de pH .....	42
<b>Tabla 12:</b> Contenido de humedad .....	43
<b>Tabla 13:</b> Contenido de ceniza .....	44
<b>Tabla 14:</b> Determinación de grasa .....	44
<b>Tabla 15:</b> Determinación de fibra .....	45
<b>Tabla 16:</b> Determinación de sólidos solubles .....	46
<b>Tabla 17:</b> Rendimiento .....	46
<b>Tabla 18:</b> Determinación de proteínas .....	47
<b>Tabla 19:</b> Caracterización físico-mecánica del bioplástico .....	48
<b>Tabla 20:</b> Análisis ANOVA de las características físico-mecánicas .....	50
<b>Tabla 21:</b> Análisis estadístico de espesor .....	52
<b>Tabla 22:</b> Análisis estadístico de Elongación .....	53
<b>Tabla 23:</b> Análisis estadístico de la fuerza .....	54
<b>Tabla 24:</b> Análisis estadístico de Resistencia .....	56
<b>Tabla 25:</b> Análisis estadístico de humedad .....	57
<b>Tabla 26:</b> Crecimiento de E.coli en láminas de bioplástico .....	58

## ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTOR .....	ii
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR.....	iv
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
Resumen .....	viii
Abstract.....	ix
Lista de Ilustraciones.....	x
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tablas.....	xii
ÍNDICE GENERAL.....	xiii
Introducción.....	1
Capítulo I El problema de la investigación.....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Delimitación del problema.....	5
1.3. Formulación del problema.....	5
1.4. Determinación del tema.....	6
1.5. Objetivos.....	6
1.5.1. Objetivo general.....	6
1.6. Hipótesis.....	7
1.7. Declaración de las variables (operacionalización).....	7
1.7.1. Variables independientes.....	7
1.7.2. Variables dependientes.....	7
1.8. Justificación.....	8

1.9.	Alcance y limitaciones .....	9
Capítulo II Marco teórico referencial .....		10
2.1.	Antecedentes .....	10
2.2.	Contenido teórico que fundamenta la investigación .....	12
2.2.1.	Plásticos .....	12
2.2.2.	Degradación de los plásticos .....	12
2.2.3.	Biodegradación de plásticos.....	13
2.2.4.	Bioplásticos .....	13
2.2.5.	Manufactura de Bioplásticos .....	14
2.2.6.	Polímeros a base de almidón (SBP).....	15
2.2.7.	Propiedades de los bioplásticos .....	15
2.2.8.	Resistencia de los bioplásticos a microorganismos.....	17
2.2.9.	Pitahaya.....	18
2.2.10.	Almidón.....	20
2.2.11.	Grenetina.....	23
2.2.12.	Vinagre.....	23
2.2.13.	Glicerina.....	23
2.2.14.	Aceites esenciales antibacteriales.....	24
Capítulo III Diseño Metodológico .....		28
3.1.	Tipo y diseño de investigación .....	28
3.2.	La población y la muestra .....	28
3.3.	Los métodos y las técnicas .....	30
3.3.1.	Extracción del mucílago de penca de pitahaya.....	30
3.3.2.	Caracterización fisicoquímica del mucílago de penca de pitahaya....	33
3.3.3.	Obtención del bioplástico.....	36
3.3.4.	Técnicas para la caracterización físico-mecánica del bioplástico a partir de mucílago de penca de pitahaya.....	37
3.3.5.	Siembra de Escherichia coli en bioplástico a base de mucílago de pitahaya.....	39

3.4. Procesamiento estadístico de la información .....	40
Capítulo IV Análisis e Interpretación de Resultados.....	42
4.1. Análisis de los resultados .....	42
4.1.1. Análisis de la caracterización fisicoquímica del mucílago de penca de pitahaya 42	
4.1.2. Análisis de la caracterización físico-mecánica del bioplástico .....	48
4.1.3. Análisis estadístico de las características físico-mecánicas .....	50
Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones.....	59
Bibliografía.....	61
Anexos.....	71

## Introducción

El presente estudio tiene como objetivo principal abordar la “Obtención de bioplástico a partir de la penca de pitahaya (*Selenicereus undatus*) con almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y extracto de orégano (*Origanum vulgare*) para su posterior evaluación de propiedades físico-mecánicas y microbiológicas”, un tema considerado de relevancia en el campo de la biotecnología y revalorización. La importancia de este estudio radica en la utilización de los residuos de pitahaya (penca) para la elaboración de un material biodegradable y de calidad para evitar el consumo de plástico, esto con el propósito de contribuir al conocimiento existente en el área y ofrecer ideas clave que puedan tener aplicaciones prácticas.

Actualmente en el campo la biotecnología y revalorización, se ha observado un creciente interés y la necesidad de profundizar en la utilización de residuos para la obtención de nuevos productos promoviendo la sostenibilidad y evitando el uso de plásticos convencionales; este contexto motivó la realización de esta investigación. La comprensión detallada de la obtención de bioplástico a partir de residuos se vuelve esencial para la caracterización las propiedades fisicoquímicas del mucílago de la penca de la pitahaya, así como también la evaluación de la metodología adecuada para la obtención de películas bioplásticas y la valoración de las características físico-mecánicas de las películas bioplásticas obtenidas.

Para alcanzar los objetivos propuestos, se llevará a cabo una metodología descrita por Tien (2023) y modificada hasta obtener los resultados deseados, mismos que serán evaluados según la normativa INEN. La elección de esta metodología se justifica debido a que la metodología esta estandarizada.

La presente investigación se organizó en cinco capítulos, mismos que abordan aspectos específicos de la investigación. A continuación, se presenta una breve descripción de la estructura:

En el Capítulo I. Se especifica el problema de la investigación apoyándose de datos bibliográficos, explora los objetivos, así como también el alcance de la investigación.; plantea la hipótesis, justificación y la importancia de la investigación actualmente.

Capítulo II. Se presenta el marco teórico referencial, el cual proporciona las teorías fundamentales y conceptos relacionados con la “Obtención de bioplástico a partir de la penca de Pitahaya (*Selenicereus undatus*) con almidón de papa (*Solanum tuberosum*) como aditivo”, proporcionando un marco conceptual para la investigación; se enfoca en las bases necesarias para la elaboración del bioplástico.

Capítulo III. Se enfoca en la metodología utilizada para llevar a cabo la investigación, presentando los métodos, materiales y diseño experimental, se presenta también las variables y su interacción entre sí. Además, detalla el procesamiento estadístico de los datos obtenidos.

Capítulo IV. Se presentan los resultados obtenidos a partir de la investigación en sus etapas con análisis detallado e interpretación de estos, se formulan discusiones con base en la bibliografía existente respecto a bioplásticos.

Capítulo V. Se exponen los resultados de manera concisa, se sintetizan las conclusiones originadas de la investigación y se brindan recomendaciones para futuros estudios o aplicaciones prácticas a partir de los datos obtenidos.

Esta investigación busca generar impactos perceptibles en la biotecnología por medio de la elaboración del bioplástico a partir de residuos de penca de pitahaya con el uso de aditivos como el almidón de papa. El estudio en la problematización y el análisis detallado de los resultados se abordarán en capítulos posteriores.

# Capítulo I El problema de la investigación

## 1.1. Planteamiento del problema

El aumento acelerado en la producción y uso de plásticos en las últimas décadas ha llevado a un incremento en la preocupación global por los impactos ambientales que genera la mala gestión de estos materiales. Pese a su versatilidad y provecho, los plásticos representan una amenaza significativa para los ecosistemas terrestres y acuáticos, así como para la salud humana (López-Fernández et al., 2022).

El bajo costo de los plásticos, así como también su vasta gama de propiedades les permite ser aplicados en diferentes sectores tanto comerciales como industriales (Zambrano Sánchez et al., 2022). En el año 2021, se determinó que el sector de empaquetamiento fue el que generó más plástico con un 44% seguido con un 18% en el sector de construcción (Abang et al., 2023). Entre los años 2000 al 2019, la producción mundial de plástico ascendió a los 460 millones de toneladas, de los cuales 6,1 millones de terminaron en medios acuáticos y 1,7 millones fluyeron al océano (OECD, 2022). De todo el plástico residual producido, solamente se recicla alrededor del 9%, se incinera el 12% y el 79% es acumulado en los rellenos sanitarios (INCyTU, 2019).

Debido a la gestión inadecuada, el plástico afecta tanto al suelo, agua como al aire debido a su persistencia en el ambiente ya que con el tiempo genera microplásticos. En el suelo los residuos plásticos liberan sustancias tóxicas que dañan las propiedades del mismo así como también del subsuelo y aguas subterráneas debido a la filtración, en el agua se perciben los daños más visibles debido a que se han formado islas de desechos plásticos así como daños en la fauna marina y contaminación del agua por los compuestos expulsados como el bisfenol A, en el aire la contaminación se da al momento de su fabricación y quemado, generando toxinas perjudiciales para la salud humana y de la fauna y flora (Brianese, 2021).

En Ecuador, para el año 2016 existían cerca de 579 empresas productoras de plástico en donde el 24,70% era designado envases de un solo uso; además, el Ministerio del Ambiente calculó que alrededor de 1200 millones de botellas producidas o importadas circulaban en el país anualmente con menos del 39% de reciclaje de las mismas (Riera & Palma, 2018).

Los residuos generados por el sector agrícola han aumentado debido al crecimiento poblacional y se estima que a nivel mundial el 13,5% de las emisiones de gases de efecto invernadero provienen de la agricultura, por lo que se incita a los agricultores y a la población en general a disminuir o reutilizar estos residuos (Diéguez Santana et al., 2020).

En el ciclo de producción de la pitahaya ocurren impactos significativos en el recurso hídrico, pérdida de biodiversidad y degradación del suelo por el uso extensivo de agroquímicos, movimiento de tierras y elaboración de caminos de acceso a lugares de siembra. (Diéguez Santana et al., 2020).

Los residuos de pitahaya principalmente son desperdicios de cáscara provenientes del procesado de pulpa que pueden ser aprovechados como productos de consumo animal y elaboración de harina (Cueva, 2020). El aprovechamiento de los residuos del ciclo pitahaya influyen para una economía circular, generando oportunidades para cerrar los ciclos de los materiales, reduciendo así la generación de residuos y creando productos a partir de recursos desperdiciados promoviendo la sostenibilidad (González, 2018).

La penca de la pitahaya en Ecuador solamente es aprovechada como materia orgánica para la elaboración de abono o se desecha debido a su capacidad para retener agua por su mayor porcentaje de mucílago (Difilo, 2017).

Existen pocos estudios para obtener bioplástico donde la materia prima se considere productos orgánicos provenientes de una actividad agrícola como es el

cultivo de la pitahaya que, con la aplicación de almidón de papa, por lo que el objetivo de la presente investigación establece evaluar la factibilidad para la elaboración de productos que permita disminuir la contaminación generada por los plásticos sintéticos derivados del petróleo.

## **1.2. Delimitación del problema**

La presente investigación se centra en la elaboración de bioplástico utilizando el mucílago extraído de la penca de la pitahaya y el almidón de papa como materia prima para mejorar las propiedades físico-mecánicas para su uso potencial y buscar la idoneidad como envoltorios u otros productos similares.

## **1.3. Formulación del problema**

En un contexto de creciente preocupación ambiental y la búsqueda de alternativas sostenibles a los plásticos convencionales, surge la necesidad de investigar y desarrollar un bioplástico utilizando el mucílago extraído de la penca de la pitahaya, combinado con almidón de papa como componentes principales, debido a la falta de investigaciones exhaustivas que aborden específicamente la viabilidad técnica y las propiedades de este.

A pesar del potencial de estas materias primas para generar un bioplástico biodegradable y con menor impacto ambiental, la falta de conocimiento en torno a sus proporciones ideales, procesos de producción óptimos y propiedades finales del bioplástico constituye un desafío para la innovación, por lo tanto, el problema central de la investigación considera: ¿Cuáles son las proporciones óptimas de mucílago de la penca de la pitahaya y almidón de papa para la elaboración de un bioplástico con características deseables en términos de resistencia, flexibilidad y biodegradabilidad? Además, ¿cómo influyen las condiciones de producción en las propiedades finales del bioplástico?, abordar estas interrogantes permitirá desarrollar un bioplástico que pueda ser utilizado en diferentes productos,

contribuyendo así a la mitigación de la contaminación plástica y promoviendo prácticas más sostenibles

#### **1.4. Determinación del tema**

Es factible obtener bioplástico a partir de penca de pitahaya (*Selenicereus undatus*) y almidón de papa (*Solanum tuberosum*) como aditivo, con buenas características físicas-mecánicas y microbiológicas que le permitan competir con plásticos de un solo uso.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo general**

Obtener bioplástico a partir de mucílago penca de pitahaya (*Selenicereus undatus*) con almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y extracto de orégano (*Origanum vulgare*) para su posterior evaluación de propiedades físico-mecánicas y microbiológicas

##### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas del mucílago de la penca de pitahaya (*Selenicereus undatus*) extraído.
- Evaluar los tratamientos utilizados para la obtención de películas bioplásticas a partir del mucílago de la penca de la pitahaya (*Selenicereus undatus*) con almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y extracto de orégano (*Origanum vulgare*) que permita mejores características físico-mecánicas.
- Determinar la capacidad de inhibición de las películas de bioplástico obtenidas sobre la actividad de *Escherichia coli*.

## 1.6. Hipótesis

- Hipótesis alternativa: Es factible el uso de penca de la pitahaya (*Selenicereus sp*) con almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y extracto de orégano (*Origanum vulgare*) para la obtención de bioplástico.
- Hipótesis nula: No es factible el uso de penca de la pitahaya (*Selenicereus sp*) con almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y extracto de orégano (*Origanum vulgare*) para la obtención de bioplástico.

## 1.7. Declaración de las variables (operacionalización)

### 1.7.1. Variables independientes

**Tabla 1:** Operacionalización de variables independientes

Variable	Definición	Indicador	Escala
<b>Mucílago de penca de pitahaya</b>	Sustancia viscosa que se encuentra en el interior del tallo de la pitahaya	<ul style="list-style-type: none"><li>• Viscosidad</li><li>• Sólidos totales</li><li>• Fibra</li><li>• Rendimiento de extracción</li></ul>	Ordinal
<b>Almidón de papa</b>	Polisacárido que sirve como reserva energética	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tamaño de gránulos</li><li>• Pureza</li></ul>	Ordinal

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

### 1.7.2. Variables dependientes

**Tabla 2:** Operacionalización de variables dependientes

Variable	Definición	Indicador	Escala
<b>Espesor</b>	Es la distancia entre dos zonas contrarias	Distancia en mm	Ordinal

<b>Humedad</b>	Cantidad de vapor de agua en un lugar específico	Porcentaje (%)	Ordinal
<b>Elongación</b>	Capacidad de un material para estirarse sin romperse	Distancia en mm	Ordinal
<b>Resistencia a la ruptura</b>	Capacidad de un material para resistir la ruptura	Pa	Ordinal
<b>Formación de halo de inhibición</b>	Es un fenómeno que indica la efectividad de los agentes antimicrobianos	Área en mm	Ordinal

**Elaborado por:** Cerda, A. & Arcos, J. 2024

## 1.8. Justificación

La obtención de bioplástico a partir de residuos como la penca de pitahaya y fuentes naturales como el almidón de papa constituye un paso importante hacia la reducción de la dependencia de los plásticos derivados del petróleo, coadyuvando así a la mitigación de los impactos ambientales asociados con la producción y eliminación de plásticos convencionales procurando cumplir el ODS 12 (Producción y consumo responsable) de la Agenda 2030.

La posibilidad de desarrollar un bioplástico a partir de recursos naturales como la penca de pitahaya y el almidón de papa ofrece una alternativa biodegradable, abordando directamente la persistente problemática de la acumulación de residuos plásticos en el ambiente cumpliendo con el ODS 13 (Acción por el clima). Se busca no solo reducir la dependencia de recursos no renovables, sino también aprovechar materiales que de otra manera podrían considerarse residuos.

Mediante la experimentación y el análisis de las propiedades del bioplástico obtenido, se pretende contribuir con conocimientos que podrían ser utilizados como base para futuros desarrollos en el campo de los materiales sostenibles. No existe

estudios sobre el bioplástico elaborado a partir del mucílago de la penca de la pitahaya con almidón de papa, lo que dificulta el obtener información de interés, por lo que se busca establecer un precedente para las futuras investigaciones con relación a los bioplásticos obteniendo subproductos provenientes de materias primas renovables que son biodegradables, lo que significa que pueden descomponerse más fácilmente en el medio ambiente, reduciendo el impacto ambiental en comparación con los plásticos convencionales que pueden persistir durante cientos de años.

### **1.9. Alcance y limitaciones**

El estudio se enfocará en la formulación y elaboración de bioplástico utilizando el mucílago de la penca de la pitahaya y almidón de papa como materias primas. Se aplicará en diferentes proporciones de estos ingredientes para determinar la combinación óptima que maximice las propiedades deseables del bioplástico. Se explorarán aplicaciones potenciales del bioplástico en productos para envolturas de alimentos. El alcance no incluirá la implementación a gran escala ni la adaptación específica para sectores industriales particulares.

Se debe destacar que esta investigación se limita a la poca información existente sobre de la obtención de bioplástico con las materias primas que se plantean, además es importante considerar las variaciones en las propiedades físico-químicas del mucilago de la penca de la pitahaya y la relación con el almidón de papa, lo que puede afectar la consistencia del bioplástico, además que una evaluación del impacto ambiental será preliminar y se centrará principalmente en aspectos generales, sin incluir un análisis exhaustivo del ciclo de vida del bioplástico.

## Capítulo II Marco teórico referencial

### 2.1. Antecedentes

Las características de los plásticos como durabilidad, resistencia y costo bajo han provocado su uso excesivo, igualmente la falta de educación ambiental entorno al reciclaje e inadecuada disposición final generan daños al ambiente que impulsan la síntesis de nuevas alternativas que buscan reemplazar el plástico y que tengan las mismas características y funciones. Se desea conseguir además beneficios como biodegradabilidad ya que provienen de recursos renovables y no generan desechos tóxicos ni químicos (Ledesma Ugsiña et al., 2021).

La pitahaya producida en Ecuador del género (*Selenicereus megalanthus*) es una fruta de exportación a países de Europa y a Estados Unidos; pertenece a la familia de las cactáceas poseen tallos largos hasta 1,5 metros con capacidad de almacenar mucílago (Lozada et al., 2022; Morillo-Coronado et al., 2022). Estudios realizados por (Zúñiga Rizo, 2016) indican que el tallo de esta especie puede ser utilizado para alimentación, medicina y de manera cosmetológica en productos para el cabello; además en su composición química podemos encontrar de agua, carbohidratos y fibra.

Investigaciones realizadas en el 2017 en México, indicaron que se puede obtener bioplástico sintético a partir de almidón de papa y mucílago de nopal y sábila, y glicerina con resultados buenos en resistencia al tacto; todo esto dependiendo de las diferentes concentraciones de la materia prima. Además, el autor indica que se obtuvo un buen rendimiento al momento de la extracción de la materia prima (Moreno Bustillos et al., 2017).

Se ha estudiado también la elaboración de bioplástico con pectina de cáscara de pitahaya y almidón de papa, utilizando glutaraldehído como plastificante, en este estudio obtuvo bioplástico de color ligeramente amarillo, semitransparente llegando a translucido, flexible, reluciente y que se desprendía con facilidad de la caja de Petri (Tien et al., 2023).

En cuanto a las características mecánicas del bioplástico se pudo observar que poseía buena elongación y grosor, buena permeabilidad al vapor de agua y estabilidad ante el calor con potencial a ser aplicado en las industrias empacadoras (Tien et al., 2023).

Existen estudios que integran almidón de papa para la elaboración de bioplástico que dan como resultado un películas de bioplástico mejoradas a las realizadas solo con almidón de papa normal; las características que se observaron fueron permeabilidad al agua, grosor, contenido de humedad, transmisión del vapor de agua, resistencia y biodegradabilidad, en esta última característica se observó un 71% de degradación en condiciones tanto aeróbicas como anaeróbicas (Gujral et al., 2021).

La investigación realizada por (Pazmiño Abad, 2021) logró obtener bioplástico a partir del mucílago *Opuntia ficus* con fines de utilización en envolturas alimenticias con un rendimiento de 38.40 %. No existen estudios previos sobre el bioplástico elaborado a partir de la penca de la pitahaya con almidón de papa como materia prima, por lo cual se decide experimentar y determinar su factibilidad basándose en los antecedentes mencionados anteriormente.

## 2.2. Contenido teórico que fundamenta la investigación

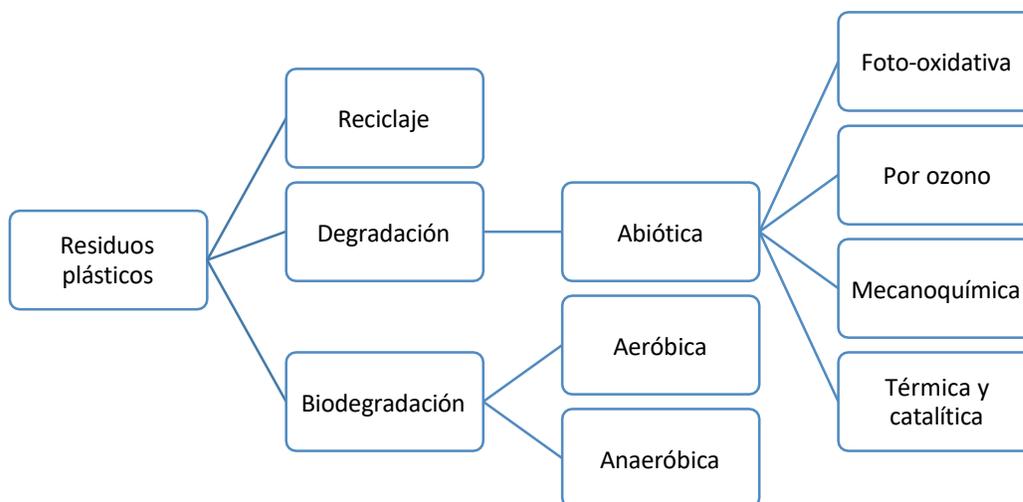
### 2.2.1. Plásticos

Los plásticos son materiales sintéticos o semisintéticos que contienen como componente principal polímeros, son ampliamente utilizados debido a su bajo costo, peso ligero, resistencia al deterioro y fácil fabricación. Entre los más utilizados encontramos al polietileno (PE), polipropileno (PP), tereftalato de polietileno (PET), polivinilo (PVC), poliestireno (PS) y poliuretano (PUR); estos son altamente contaminantes al ambiente debido a las partículas que liberan en su ciclo (Yang et al., 2023).

### 2.2.2. Degradación de los plásticos

Al ser los plásticos un material artificial con aditivos, su degradación se dificulta en cortos periodos por lo que al no reciclarse se proceden a usar varios métodos para su eliminación como son la incineración o la colocación en los vertederos. Existen varias técnicas de degradación de los residuos plásticos entre las cuales encontramos:

**Figura 1:** Clasificación de las técnicas de degradación de residuos plásticos



**Fuente:** (Gilani et al., 2023).

**Elaborado por:** Cerda, A. & Arcos, J. 2024

Los plásticos que empiezan a degradarse primero se fragmentan en microplásticos que se considera una fase abiótica cuyos productos tienen un diámetro aproximado de 5 mm a 1 micrómetro; son de especial cuidado ya que pueden entrar a la cadena alimenticia (Gilani et al., 2023).

### 2.2.3. Biodegradación de plásticos

A principios de 1940 se empezó a estudiar la biodegradación de los plásticos de resina sintética PVC y para los años 70 el término biodeterioro fue ampliamente utilizado (Yang et al., 2023).

La biodegradación o bioconversión se ha ido adoptando durante los últimos años para eliminar desechos plásticos en el medio ambiente mediante el uso de hongos o bacterias, se debe tomar en cuenta las características de los plásticos como la movilidad y la estructura cristalina, así también la presencia de aditivos que pueden influir en la biodegradabilidad del plástico (Gilani et al., 2023).

### 2.2.4. Bioplásticos

Los bioplásticos son definidos como materiales sintéticos de base biológica, biodegradable o ambas que se pueden descomponer aeróbicamente en presencia de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) o anaeróbicamente en presencia de metano ( $\text{CH}_4$ ) o dióxido de carbono, además ante la presencia de microorganismos (Lavagnolo et al., 2023).



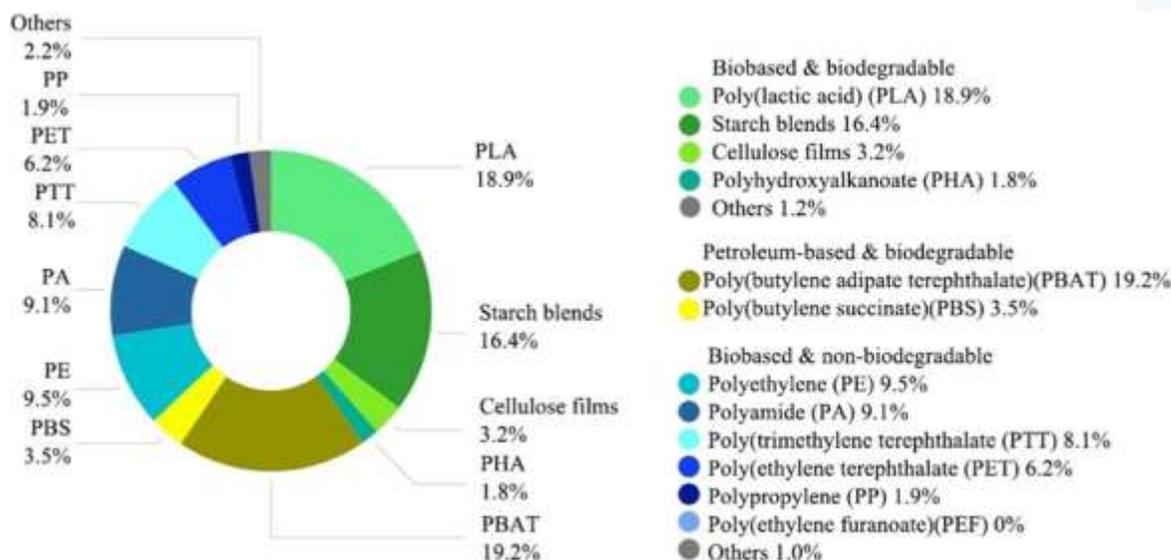
**Ilustración 1:** Bioplástico a base de almidón de yuca

**Fuente:** (Oliveria Andrade, 2019)

Se consideran más sostenibles que los plásticos convencionales por su menor generación de gases de efecto invernadero (GEI) en su ciclo de vida; debido a su biocompatibilidad son pueden ser utilizados en envases, biomedicina, agricultura y horticultura, fabricación de piezas de automotores y electrónicas. Los bioplásticos se clasifican en provenientes de biomasa, biodegradables o los que poseen ambas propiedades; se debe tomar en cuenta que no todos los provenientes de biomasa son biodegradables, por ello esta clasificación (Abang et al., 2023).

### 2.2.5. Manufactura de Bioplásticos

El mercado de bioplásticos se ha ido expandiendo al pasar de los años, usando fuentes biológicas como desechos orgánicos, algas, hongos, bacterias y plantas; las vías principales para la producción de bioplástico son: polimerización de monómeros, modificación de polímeros naturales y extracción de microorganismos.



Fuente: (Abang et al., 2023)

Ilustración 2: Producción global de bioplásticos en el año 2021

Los bioplásticos fundamentales obtenidos son: ácido poli-láctico (PLA), succinato de poli-butileno (PBS), acetato de celulosa (CA), polímeros a base de almidón (SBP) y tereftalato de polietileno de base biológica (Bio-PET). Los SBP representan una porción significativa de los bioplásticos fabricados y más del 58% de la capacidad mundial de fabricación de bioplásticos comprende mezclas de almidón, PLA y otros (Ali et al., 2023).

#### **2.2.6. Polímeros a base de almidón (SBP)**

Son bioplásticos provenientes de variables fuentes de almidón (solos o en mezcla), son producto de almidón nativo granular o nano almidón generados por extrusión con la adición de agentes plastificantes. Pueden ser utilizados en las industrias textil, de embalaje, farmacéutica inferior o de alimentos.

Las materias primas para la obtención del almidón son papa, maíz o trigo; para la producción de bioplástico mediante el uso de almidón se pueden utilizar como agentes plastificantes polioles, citratos, azúcares de amina y amidas (Ali et al., 2023).

#### **2.2.7. Propiedades de los bioplásticos**

##### **Permeabilidad al vapor de agua**

Es considerada la propiedad más importante debido a que para los envases, sobre todo de alimentos se busca la disminución en la transferencia de humedad entre el alimento y la atmósfera (Sayavedra & Rodríguez, 2018).

##### **Espesor**

Esta propiedad influyen en las características del bioplástico, a medida que aumenta este, aumenta la resistencia a la transferencia de masa, por lo que se genera un incremento en la presión parcial del vapor de agua (Martel, 2023).

## Humedad

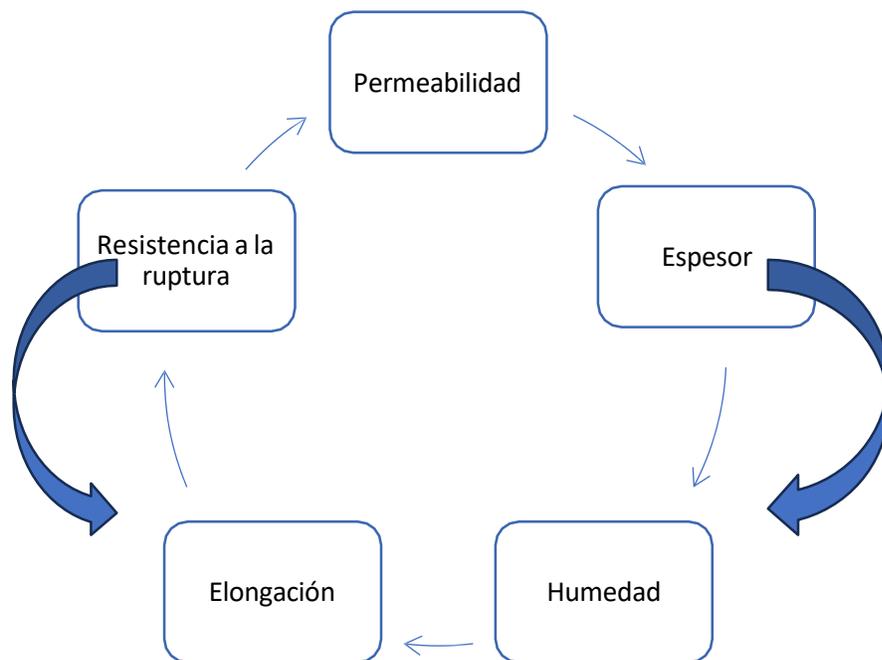
Es una variable importante que es monitoreada y controlada a lo largo del ciclo de vida del bioplástico ya que afecta el rendimiento del mismo, puede afectar además la durabilidad y resistencia (Lopes et al., 2024).

## Elongación

Mide la capacidad del bioplástico a estirarse antes de romperse y sufrir daños permanentes; evalúa la ductilidad y la flexibilidad del material; se mide en porcentajes (Dorigato & Fredi, 2023).

## Resistencia a la ruptura

Es aquella que indica la capacidad que tienen los bioplásticos a resistir fuerzas de tracción antes de romperse, se mide mediante ensayos de tracción y se expresa en términos de fuerza (Merchan et al., 2022).



**Ilustración 3:** Características principales estudiadas de los bioplásticos caseros

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

## 2.2.8. Resistencia de los bioplásticos a microorganismos

La producción de bioplásticos con propiedades antibacterianas, antifúngicas y antioxidantes se ha ido estudiando mediante la incorporación de ciertos aditivos con el fin no solo de procurar la vida útil del bioplástico, sino también de la conservación de los productos alimenticios, medicinales y otros (Abang et al., 2023).

### 2.2.8.1. Resistencia de los bioplásticos a bacterias

La actividad antibacteriana de los bioplásticos se ha estudiado para bacterias grampositivas como *Bacillus cereus* y gramnegativas como *Escherichia coli*. Generalmente se evalúa mediante la observación de zonas de inhibición del crecimiento microbiano; las películas son capaces de inhibir bacterias gramnegativas en mayor proporción a las grampositivas (Abang et al., 2023).

### 2.2.8.2. *Escherichia coli*

Es la encargada de enfermedades como diarreas agudas, en lugares con poca higiene y nulo acceso a sanidad, principalmente en países en vías de desarrollo (Contreras-Omaña et al., 2021).



**Ilustración 4:** *Escherichia coli* al microscópio

Fuente: (FDA, 2023)

Se encuentra en el medio ambiente, alimentos y en el intestino de animales y humanos, a pesar de ser un habitante normal del tracto gastrointestinal, puede llegar a ser un enemigo causante de muerte (Dubreuil, 2020).

Es una bacteria gramnegativa perteneciente a la familia *Enterobacteriaceae*, que comúnmente se transmite por medio de alimentos contaminados como productos cárnicos crudos, leche no pasteurizada y productos lácteos (Barlaam et al., 2019).

### 2.2.9. Pitahaya

La pitahaya es originaria de Centro y Sur América y en los últimos años se ha convertido en una de las frutas tropicales más producidas y comercializadas; es una especie de cactus epífito de las cuales existen muchas especies, la mayoría tiene pulpa blanca aunque existen también con pulpa rojiza (Tomas et al., 2023).

#### 2.2.9.1. Taxonomía

Los estudios taxonómicos de las cactáceas eran muy confusos debido a que se encuentran muchos sinónimos por que para el año 2021 se realizó la siguiente clasificación:

**Tabla 3:** Clasificación taxonómica de la pitahaya

<b>Reino</b>	<i>Plantae</i>
<b>Subreino</b>	<i>Tracheobionta</i>
<b>Clase</b>	<i>Equisetopsida</i>
<b>Orden</b>	<i>Caryophyllanae</i>
<b>Familia</b>	<i>Cactaceae</i>
<b>Género</b>	<i>Selenicereus</i>
<b>Especie</b>	<i>Selenicereus sp.</i>

**Fuente:** (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2020)

**Elaborado por:** Cerda, A. & Arcos, J. 2024

La pitahaya *S. megalanthus* posee cáscara amarilla y pulpa blanca, los frutos son ovalados y poco más pequeños que las otras variedades, se puede encontrar híbridos con la pulpa rosada pero las características entre ambas en cuanto a nutrientes y sabor son similares (Al-Qthanin et al., 2024).



**Ilustración 5:** *Selenicereus sp.*

**Fuente:** (Revista Industria Alimentaria, 2020)

Al poseer cantidades altas de vitamina C, fibra y carbohidratos, la pitahaya se considera como un alimento funcional, siendo su capacidad antioxidante el beneficio más conocido, mejora problemas estomacales, purificando el tracto digestivo y disminuyendo el colesterol en la sangre por lo que médicos la prescriben en dietas. Además la fruta puede consumirse tanto fresca como procesada y es utilizada para la producción de energizantes, helados, bebidas saborizadas, yogurt, gelatinas, entre otros (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2020).

En la pitahaya se pueden encontrar los siguientes nutrientes:

**Tabla 4:** Nutrientes presentes en 100 gramos de pitahaya

Nutrientes	Cantidad
Hierro	1,9 g
Carbohidratos	11,0 g
Grasa	0,4 g
Proteína	1,1 g
Agua	87 g
Fósforo	22,5 g
Calcio	8,5 g
Vitamina C	20,5 g
Vitamina B2	0,05 g
Vitamina B1	0,04 g

**Fuente:** (Al-Qthanin et al., 2024)

**Elaborado por:** Cerda, A. & Arcos, J. 2024

### 2.2.9.2. Penca de pitahaya

La penca o tallo de pitahaya es segmentado y tiene facilidad de emitir raíces secundarias, de color verde y de hasta 6 metros de largo. Se componen de tres alas onduladas que pueden almacenar agua en los periodos más secos (Verona-Ruiz et al., 2020).

La penca a pesar de ser un desecho es utilizada en pocos casos en fracciones licuadas para tratar afecciones estomacales, y para eliminar problemas capilares, en algunos casos es utilizada como alimento para el ganado.



**Ilustración 6:** Penca de pitahaya con frutos

**Fuente:** (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2020)

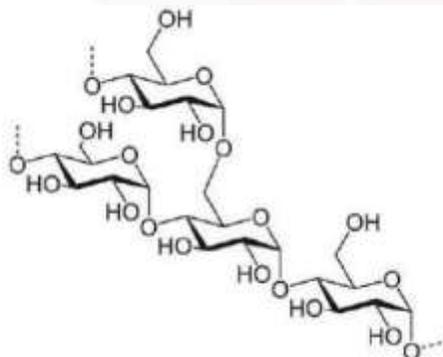
### 2.2.9.3. Mucílago de penca de pitahaya

El mucílago de pitahaya es un polímero natural con capacidad de retención de humedad mayor al 80%, es de carácter no newtoniano y posee características viscoelásticas superiores a las de mucílago del nopal (*Opuntia ficus*) (García, 2011).

### 2.2.10. Almidón

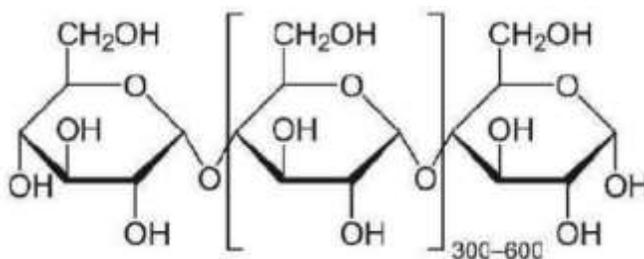
Es un polímero que se encuentra compuesto por dos polisacáridos, la amilopectina (80%-90%) que consta de dos monómeros de glucosa de cadena ramificada que son solubles en agua a altas temperaturas y la amilosa (10%-20%) que es consta de un solo monómero de cadena lineal. Se puede encontrar al almidón

principalmente en raíces, tubérculos, frutas, legumbres y cereales (Montañez, 2022).



**Ilustración 7:** Estructura química de la amilosa

Fuente: (León-Méndez et al., 2020)



**Ilustración 8:** Estructura química de la amilopectina

Fuente: (León-Méndez et al., 2020)

#### 2.2.10.1. Caracterización del almidón

La caracterización del almidón debe ser realizada tanto física como químicamente, en cuanto a la química generalmente se toma en cuenta la proteína cruda, grasa cruda, fibra cruda, cenizas y carbohidratos, además de la determinación de la amilosa y la amilopectina. En la caracterización física se toma en cuenta la capacidad de gelatinización, absorción de agua, humedad, solubilidad, plastificación y estabilidad a la congelación (Hernández-Medina et al., 2008).

### 2.2.10.2. Almidón de papa

El almidón de papa proporciona espesamiento, gelificación y estabilización a varias sustancias, es ampliamente usado en la industria alimenticia por la capacidad que tiene para la unión al agua y baja temperatura de gelatinización (Zhuang et al., 2024).

Se considera una buena materia prima para generar materiales sostenibles como el bioplástico debido a la biodegradabilidad, renovabilidad y además el bajo costo; es el polímero más utilizado para la creación de plásticos biodegradables. Se ha estudiado al almidón además para su uso en detergentes, insecticidas, bolsas desechables y dispositivos de administración farmacéutica pero existe el constante problema de envejecimiento debido a la desnaturalización (Imoisili & Jen, 2023).

A pesar de las propiedades adecuadas del almidón para la producción de materiales biodegradables, existen problemas que no permiten su manufactura a escala industrial como son las propiedades mecánicas débiles en comparación al plástico común y el baja inhibición al vapor de agua (Hosseini et al., 2021).

**Tabla 5:** Composición química del almidón de papa

Componentes	Porcentaje (%)
<b>Humedad</b>	19
<b>Proteína cruda</b>	0,06
<b>Grasa cruda</b>	0,06
<b>Cenizas</b>	0,4
<b>Amilosa</b>	21
<b>Amilopectina</b>	79

**Fuente:** (Hernández-Medina et al., 2008)

**Elaborado por:** Cerda, A. & Arcos, J. 2024

### **2.2.11. Grenetina:**

Se la conoce también como gelatina sin sabor, es considerada como una proteína habitualmente de color amarillento que es utilizada como agente gelante para múltiples funciones. Es absorbente por lo que al contacto con líquidos tiende a hincharse y al aumentar su temperatura forma un coloide que con la disminución de temperatura aumenta la viscosidad por lo que se llega a solidificar (Madrigal et al., 2020).

Es un biopolímero obtenido de la hidrólisis parcial o de la desnaturalización térmica del colágeno, usualmente se elabora a partir de derivados del restos de animales terrestres o en menor proporción de animales acuáticos (Salinas-Salazar et al., 2022).

### **2.2.12. Vinagre**

El vinagre ha sido utilizado por mucho tiempo como conservante alimenticio, potenciador de sabor y además como agente medicinal. Las materias primas para la elaboración del vinagre son granos, frutas, verduras, miel, suero, raíces, caña de azúcar, entre otros (Leal Maske et al., 2024).

### **2.2.13. Glicerina**

La glicerina o glicerol es un alcohol tri-hídrico considerado el más simple en la naturaleza, a pesar de que la glicerina es una molécula, el término es empleado para referirse a productos comerciales purificados con un porcentaje mayor al 95% de glicerina en su composición. Se caracteriza por ser viscosa a temperatura ambiente, incolora y sin olor, no es tóxica y debido a su estructura química es altamente higroscópica (Sandid et al., 2024).

**Tabla 6:** Tipos de glicerol según su contenido puro

Tipo de glicerol	Contenido de glicerol %	Fuente o uso
Glicerol crudo	70 al 90	A partir de la producción de biodiésel
Grado técnico	99,5	Se aplica como componente en productos químicos (no alimenticios ni medicamentos)
Farma copa (USP)	96 AL 99,5	A partir de grasa animal o aceites vegetales
Calidad Kosher / Food Chemical Codex (FCC)	99,5 AL 99,7	A partir de aceites vegetales Se usa para alimentos y bebidas kosher

**Fuente:** (Sandid et al., 2024)

**Elaborado por:** Cerda, A. & Arcos, J. 2024

La glicerina cruda contiene cenizas, agua, jabón, metanol, materia orgánica y otros compuestos que ocasionan una apariencia marrón en su mayoría; siendo el oxígeno, hidrógeno y carbono los compuestos elementales, también se pueden encontrar fracciones de metales como el sodio o potasio y además nitrógeno (Sandid et al., 2024).

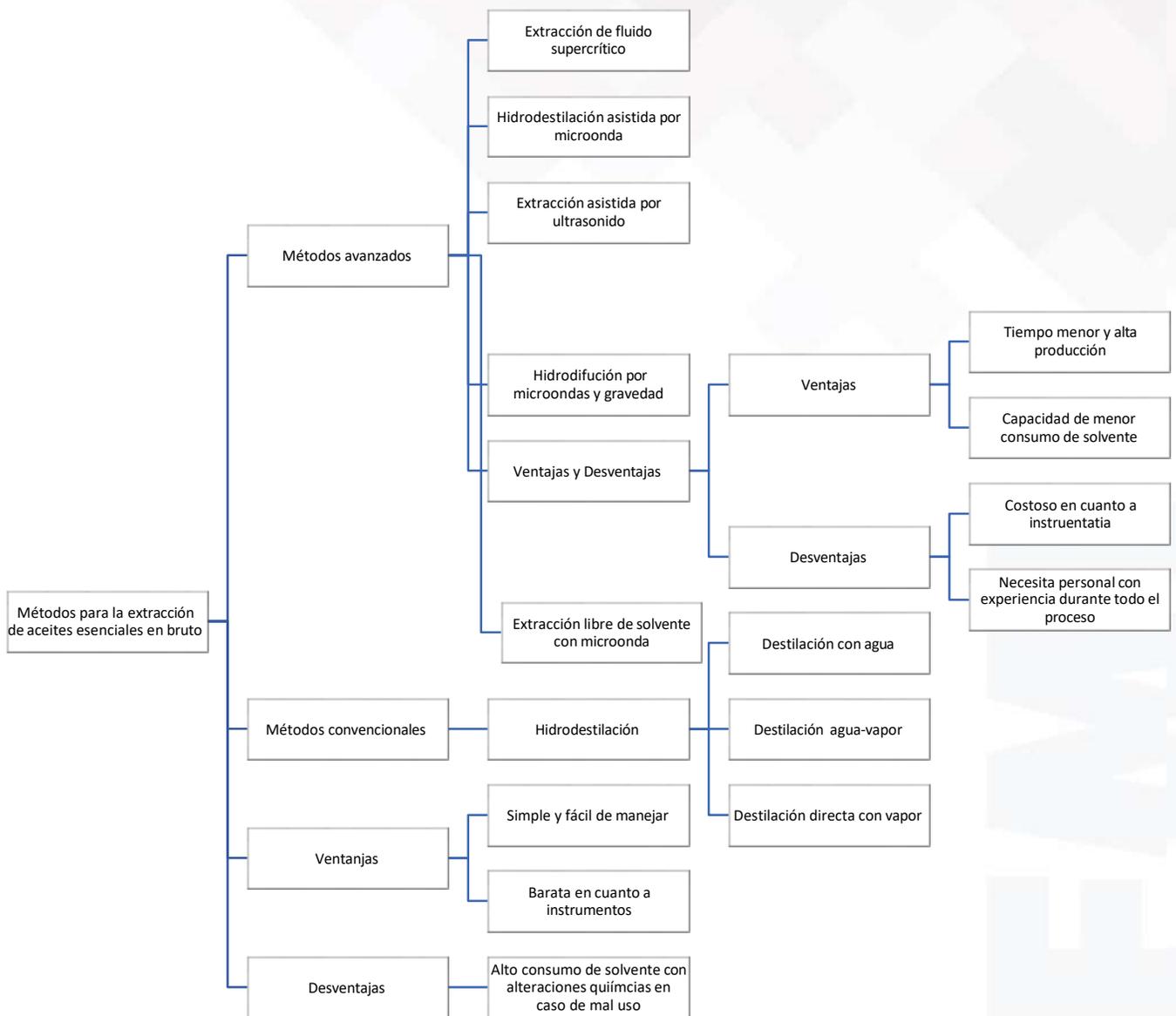
#### **2.2.14. Aceites esenciales antibacteriales**

Las plantas medicinales y aromáticas han sido consideradas como recursos alternativos y conservadores para tratar bacterias patógenas y se han derivado a partir de ellas un gran número de metabolitos antibacterianos secundarios (Swain et al., 2023).

Son compuestos complejos sintetizados naturalmente que se administran en pequeñas cantidades a través de métodos como la inhalación, masaje y aplicación sencilla, pocas veces se toman internamente; se usan especialmente en aromaterapia en el tratamiento de varias enfermedades usándose en cosmética,

masajes, medicina y aromaterapia olfativa y psico aromaterapia (Adeyemi et al., 2023).

Los aceites esenciales se derivan de varias partes de las plantas, como raíces, semillas, tallos, pétalos o también hojas, por sus características se dividen en dos tipos: aceites esenciales volátiles (extraídos por destilación) y aceites esenciales fijos o portadores (extraídos por prensado, maceración, centrifugación o con disolvente). Se considera a los esenciales volátiles como más fuertes en aroma y con potencia terapéutica mayor por lo que han sido utilizados para tratar infecciones, dolor de cabeza y articulaciones, cosméticos, etc. (Swain et al., 2023).



**Figura 2:** Métodos convencionales y avanzados para la extracción de aceites esenciales

**Fuente:** (Swain et al., 2023)

#### **2.1.1.1. Mecanismos de inhibición antibacteriana de los aceites esenciales**

Las características químicas de los aceites esenciales provocan permeabilidad y la interrupción de la membrana bacteriana por lo que pierde sus funciones críticas como homeostasis y cadena de transporte de electrones. Se ha demostrado que el aceite esencial de eucalipto funciona contra las bacterias *E. coli*, *S. aureus* y *Pseudomonas aeruginosa* (Swain et al., 2023)

#### **2.1.1.2. Aceite esencial de orégano**

El orégano (*Origanum vulgare*) es una hierba comúnmente utilizada con fines culinarios y en la medicina ancestral, su aceite esencial posee actividad antifúngica y antibacteriana (Waller et al., 2023).

La actividad antimicrobiana del aceite esencial de orégano se debe a las interacciones entre los compuestos del mismo, los daños producidos a los microorganismos se dan en las vías metabólicas, la membrana citoplasmática externa, modifica además los perfiles de ácidos grasos de membrana y compuestos volátiles durante el crecimiento del microorganismo (Barbosa et al., 2020).

## Capítulo III Diseño Metodológico

### 3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación se considera es de tipo cuantitativo debido a que se analiza y determina las proporciones de cada elemento y muestra rasgos de confiabilidad, validez y muestreo; en cuanto a la confiabilidad se permiten resultados seguros por los métodos utilizados para la medición de características físico-mecánicas de la película de bioplástico que están estandarizados, mismos que se validan mediante métodos estadísticos.

Esta investigación alcanza un nivel exploratorio, descriptivo y explicativo, esto ya que en principio se realizó una exploración para poder recopilar los datos suficientes que permiten relacionar las variables para luego poder describir y explicar los fenómenos sucedidos en la formación de la película de bioplástico

El diseño de la investigación es experimental completamente al azar con 4 repeticiones, siendo en total cuatro tratamientos con cuatro repeticiones cada una con dos variables independientes que son el mucílago de la penca de la pitahaya y el almidón de papa.

### 3.2. La población y la muestra

Las muestras de penca de pitahaya fueron obtenidas del cantón Palora, Morona Santiago en época de fin de cosecha, los estudios fisicoquímicos del mucílago y la elaboración de bioplástico se realizaron en Macas, Morona Santiago

### **3.2.1. Características de la población**

Las muestras de penca de pitahaya seleccionadas fueron de cultivos mayores a 12 meses, estas fueron obtenidas después de la cosecha para conservar el mucílago fresco, logrando que la muestra mantenga una viscosidad alta, es importante verificar que las muestras obtenidas no contengan impurezas o plagas que puedan llegar a contaminar el mucílago al momento de la extracción, además que establecer una línea base con toda la información de la plantación de la pitahaya.

### **3.2.2. Delimitación de la población**

La población de estudio correspondió a las pencas de pitahaya de un cultivo ubicado en el cantón Palora de la provincia de Morona Santiago, se consideró parámetros como edad de la planta, tiempo de cosecha y características visibles óptimas, en un terreno de 10 hectáreas aproximadamente, realizando un muestreo aleatorio simple para obtener muestras homogéneas.

### **3.2.3. Tipo de muestra**

Las muestras son probabilísticas ya que cada elemento tiene la misma probabilidad de ser seleccionado, lo que reduce el riesgo de sesgos y garantiza que todos los subgrupos tengan una oportunidad equitativa de estar representados en la muestra.

### **3.2.4. Tamaño de la muestra**

Se tomaron 20 muestras de pitahaya de un mismo cuadrante con características similares (tamaño, peso y forma) de las cuales 4 se utilizaron para la extracción de mucílago.

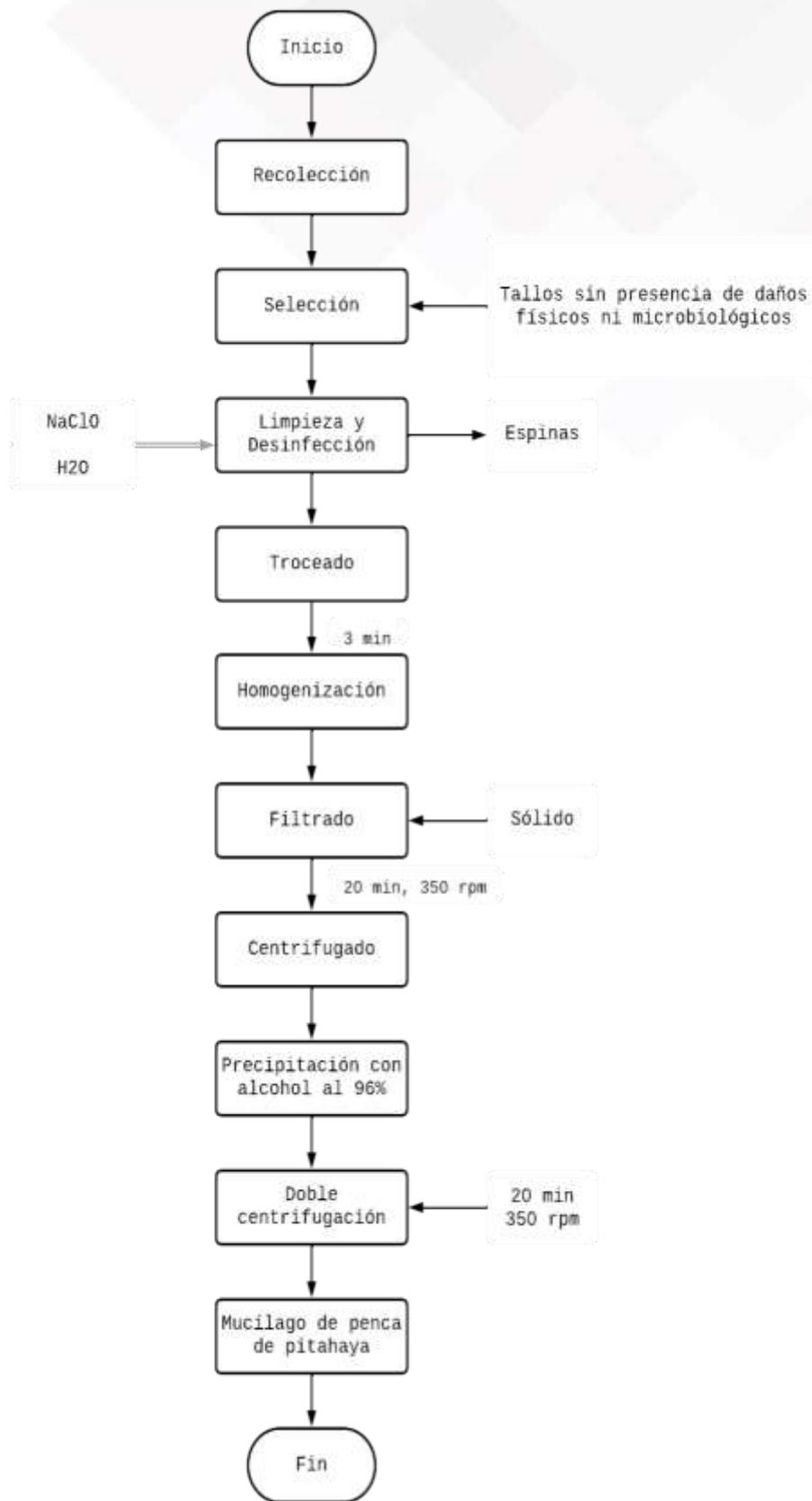
### **3.2.5. Proceso de selección de la muestra**

Las muestras evaluadas en la presente investigación dependieron del número de pencas extraídas en la etapa de recolección, los tallos obtenidos miden 60 cm de largo, 4 cm de espesor y 5 cm de ancho, y pesan alrededor de 350 gramos cada uno.

## **3.3. Los métodos y las técnicas**

### **3.3.1. Extracción del mucílago de penca de pitahaya**

Se seleccionaron pencas de pitahaya en condiciones apropiadas previamente mencionadas, se aplicaron procedimientos específicos para la extracción del mucílago de pitahaya como son la desinfección, troceado, homogenizado, filtrado y centrifugado lo cual permitió obtener mejores resultados en cuanto a cantidad y calidad de mucílago.



**Figura 3:** Diagrama de flujo del proceso de obtención del mucílago de penca de pitahaya

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

**Tabla 7:** Procedimiento para la extracción del mucílago de penca de pitahaya

Materiales y Equipos	Reactivos	Procedimiento	Referencias Metodológicas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bisturí</li> <li>• Licuadora</li> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Centrifugadora (Benchmark)</li> <li>• Recipiente plástico</li> <li>• Guantes de látex</li> <li>• Tela filtrante</li> <li>• Vaso de precipitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua destilada</li> <li>• Alcohol 96°</li> <li>• Hipoclorito de sodio (NaClO)</li> <li>• Pencas de pitahaya (<i>Selenicereus sp.</i>)</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>a. Se recolectó y seleccionó la materia prima que no presentó daños microbiológicos ni físicos.</li> <li>b. La muestra se lavó con agua destilada y se desinfectó con hipoclorito de sodio, se retira las espinas.</li> <li>c. Las muestras ya desinfectadas se trozaron en dimensiones de 3x3 cm.</li> <li>d. Se homogenizó las muestras troceadas durante 3 minutos en la licuadora.</li> <li>e. Mediante el uso de una tela filtrante se procedió a filtrar el líquido proveniente de la homogenización.</li> <li>f. Mediante centrifugación se provoca una separación de las fases y se eliminan los residuos sobrantes.</li> <li>g. Se procede a precipitar la muestra con alcohol al 96° para así eliminar las impurezas.</li> <li>h. Se vuelve a centrifugar para poder eliminar los últimos residuos que queden en la muestra.</li> <li>i. Finalmente se obtiene el mucílago para la posterior elaboración de bioplástico.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (León-Martínez et al., 2011)</li> <li>• Pazmiño Abad, 2021)</li> </ul>

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

### 3.3.2. Caracterización fisicoquímica del mucílago de penca de pitahaya

**Tabla 8:** Caracterización físico-química del mucílago

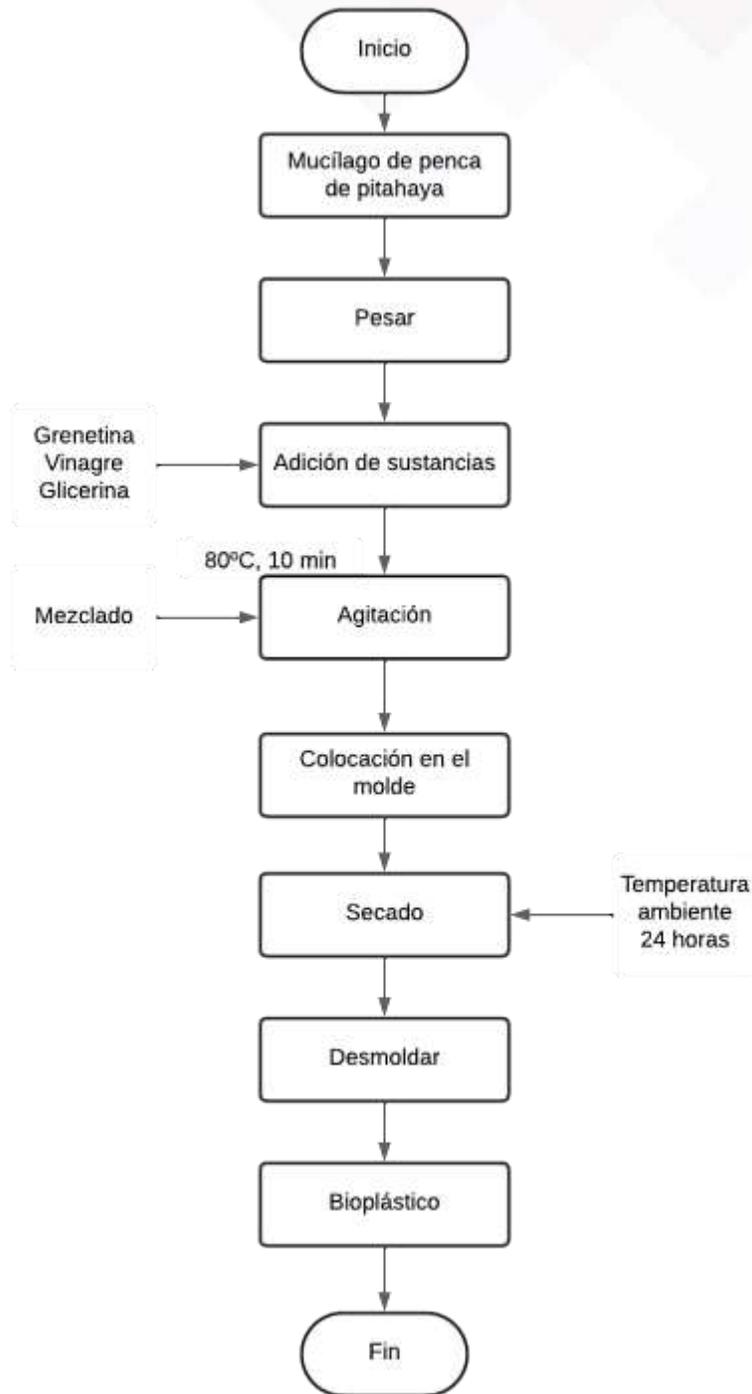
Características físico-mecánicas	Materiales Equipos Reactivos	Procedimiento	Ecuaciones	Metodología de referencia
pH	<ul style="list-style-type: none"> <li>pH-metro</li> <li>Vasos de precipitación</li> <li>Solución tampón</li> </ul>	a) Calibrar el pH-metro. b) Lavar el electrodo con la solución tampón c) Introducir el electrodo en la solución d) Limpiar nuevamente el electrodo	Se mide directamente	(ISO 10523, 2008)
Humedad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Balanza analítica</li> <li>Vasos de precipitación</li> <li>Crisol</li> <li>Estufa</li> <li>Desecador</li> <li>Muestra de mucílago</li> </ul>	a) En un vaso de precipitación pesar 20 g de muestra b) En el crisol colocar la muestra pesada y dejar en la estufa hasta que seque c) Colocar la muestra ya seca en el desecador hasta que baje su temperatura	$H = \frac{P - P_1}{P_2}$ Donde: <i>H</i> : Porcentaje de humedad <i>P</i> : Peso muestra húmeda + peso del crisol <i>P</i> <sub>1</sub> : Peso muestra seca + crisol <i>P</i> <sub>2</sub> : Peso inicial de la muestra	(NMX-F-083, 1986)
Porcentaje de cenizas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Balanza analítica</li> <li>Crisol</li> <li>Desecador</li> <li>Mufla</li> </ul>	a) Pesar 2 g de la muestra b) Colocar en la mufla por 3 horas a 550 °C c) Dejar enfriar el crisol con la muestra en el desecador d) Pesar nuevamente	$C = 100 \frac{P_1}{P_2}$ Donde: <i>C</i> : Porcentaje de ceniza <i>P</i> <sub>1</sub> : Peso de las cenizas <i>P</i> <sub>2</sub> : Peso inicial de la muestra	(ASTM D482, 2013)
Porcentaje de grasa	<ul style="list-style-type: none"> <li>Balanza analítica</li> <li>Equipo Soxhlet</li> <li>Estufa</li> </ul>	a) Pesar 2 g de la muestra seca b) Añadir la muestra al papel filtro c) Colocar en el equipo Soxhlet previamente	$G = 100 \frac{P - p}{M}$	(AOAC 920.39, 1920)

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desecador</li> <li>• Papel filtro</li> </ul>	<p>preparado con éter dietílico y refrigerante</p> <p>d) Programar la extracción durante 4 horas</p> <p>e) Dejar que se enfríe y retirar la muestra</p> <p>f) Dejar que se evapore el éter dietílico en la estufa</p> <p>g) Pesar la muestra</p>	<p>Donde:</p> <p><math>G</math>: Porcentaje de grasa</p> <p><math>P</math>: Masa del envase con grasa</p> <p><math>p</math>: Masa del envase sin grasa</p> <p><math>M</math>: Masa de la muestra</p>	
Porcentaje de fibra	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Mufia</li> <li>• Vaso de precipitación</li> <li>• Reverbero</li> <li>• Embudo</li> <li>• Crisol</li> <li>• Papel filtro</li> <li>• Agua destilada</li> <li>• Ac. Sulfúrico (<math>H_2SO_4</math>) al 1,25%</li> <li>• Hidróxido de sodio (NaOH) al 1,25%</li> <li>• Muestra desengrasada</li> </ul>	<p>a) Colocar 2 g de la muestra desengrasada en el vaso de precipitación</p> <p>b) Añadir <math>H_2SO_4</math> al 1,25% y hervir durante 30 min</p> <p>c) Filtrar hasta que el pH sea el mismo que el del agua destilada</p> <p>d) Agregar NaOH al 1,25% y nuevamente hervir durante 30 min</p> <p>e) Filtrar y lavar hasta que el pH sea igual al del agua destilada</p> <p>f) En un crisol colocar los residuos y secar por 2 horas a 130°C</p> <p>g) Calcinar los residuos por 30 min a 600°C</p>	$F = 100 \frac{(P_s - P_p) - (P_c - P_{cp})}{M}$ <p>Donde:</p> <p><math>F</math>: Porcentaje de fibra</p> <p><math>P_s</math>: Masa seca</p> <p><math>P_p</math>: Masa del papel filtro utilizado</p> <p><math>P_c</math>: Masa de las cenizas del papel filtro</p> <p><math>P_{cp}</math>: Masa de las cenizas totales</p> <p><math>M</math>: Masa inicial de la muestra</p>	(AOAC 962.09, 1982)
Porcentaje de Sólidos Totales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Refractómetro</li> <li>• Vaso de precipitación</li> <li>• Agua destilada</li> <li>• Muestra del mucílago (seca)</li> </ul>	<p>a) Pesar 1 g de la muestra seca</p> <p>b) Añadir 5 ml de agua destilada</p> <p>c) Durante 30 min, hervir y luego filtrar</p> <p>d) En el refractómetro a 20°C analizar la muestra</p>	$SS = 100 \frac{m_0 \cdot s}{m}$ <p>Donde:</p> <p><math>SS</math>: Porcentaje de Sólidos Totales</p> <p><math>m_0</math>: Masa Inicial</p> <p><math>m</math>: Masa luego de la dilución</p> <p><math>s</math>: Índice de refracción</p>	(NTE INEN 380, 1985)
Rendimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Pencas de pitahaya</li> <li>• Mucílago extraído</li> </ul>	Realizar los cálculos con las ecuaciones correspondientes	$R = 100 \frac{P_1}{P_2}$	(Dávila, 2022)

			Donde: <i>R</i> : Porcentaje de rendimiento <i>P</i> <sub>1</sub> : Peso del mucílago <i>P</i> <sub>2</sub> : Peso de las pencas	
Proteínas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Tubo de Macrokjeldhal</li> <li>• Equipo de destilación</li> <li>• Ac. Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)</li> <li>• Hidróxido de sodio (NaOH)</li> <li>• Ácido Bórico (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>)</li> <li>• Ácido clorhídrico (HCl)</li> <li>• Indicador mixto</li> <li>• Mucílago</li> </ul>	a) Agregar 0,5 g de mucílago secado con 2 g de muestra catalizador y 20 ml de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> en el tubo de Macrokjeldhal b) Dejar en el equipo digestor y dejar que se enfríe para luego añadir 25 ml de agua destilada c) En el Erlenmeyer colocar H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> con el indicador mixto d) Titular con HCl hasta obtener rojo en la muestra e) Calcular con las ecuaciones brindadas el porcentaje de proteínas	$P = 1,4 * f * V * \frac{N}{m}$ Donde: <i>P</i> : Porcentaje de proteínas <i>f</i> : factor N <sub>2</sub> en proteínas <i>V</i> : Volumen <i>N</i> : Normalidad <i>m</i> : masa	(NTE INEN 1670, 1991)

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

### 3.3.3. Obtención del bioplástico



**Figura 4:** Diagrama de flujo para la obtención de bioplástico a partir de mucílago de penca de pitahaya

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

### 3.3.3.1. Formulaciones para la elaboración de bioplástico

En la Tabla 9. se muestra la formulación utilizada para la presente investigación, en la que se observa las que los porcentajes de mucílago de penca de pitahaya, almidón de papa, extracto de orégano utilizadas variaron para los cuatro tratamientos mientras que permanecieron constantes los porcentajes de grenetina, vinagre y glicerina, el agua destilada solo fue utilizada en el tratamiento 4 (testigo).

**Tabla 9:** Formulaciones para la elaboración de bioplástico a partir de mucílago de penca de pitahaya

Ingredientes	T1	T2	T3	T4
Mucílago de la penca de la pitahaya	80%	100%	120%	-
Almidón de papa	-	2,5%	2,5%	2,5%
Extracto de orégano	1%	1%	1%	1%
Grenetina	3%	3%	3%	3%
Vinagre	10%	10%	10%	10%
Glicerina	5%	5%	5%	5%
Agua Destilada	-	-	-	80%

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

### 3.3.4. Técnicas para la caracterización físico-mecánica del bioplástico a partir de mucílago de penca de pitahaya

Para la verificación de las características del bioplástico se realizaron cinco ensayos de tres repeticiones cada uno, los ensayos realizados fueron:

- Resistencia a la ruptura
- Elongación
- Espesor
- Porcentaje de humedad

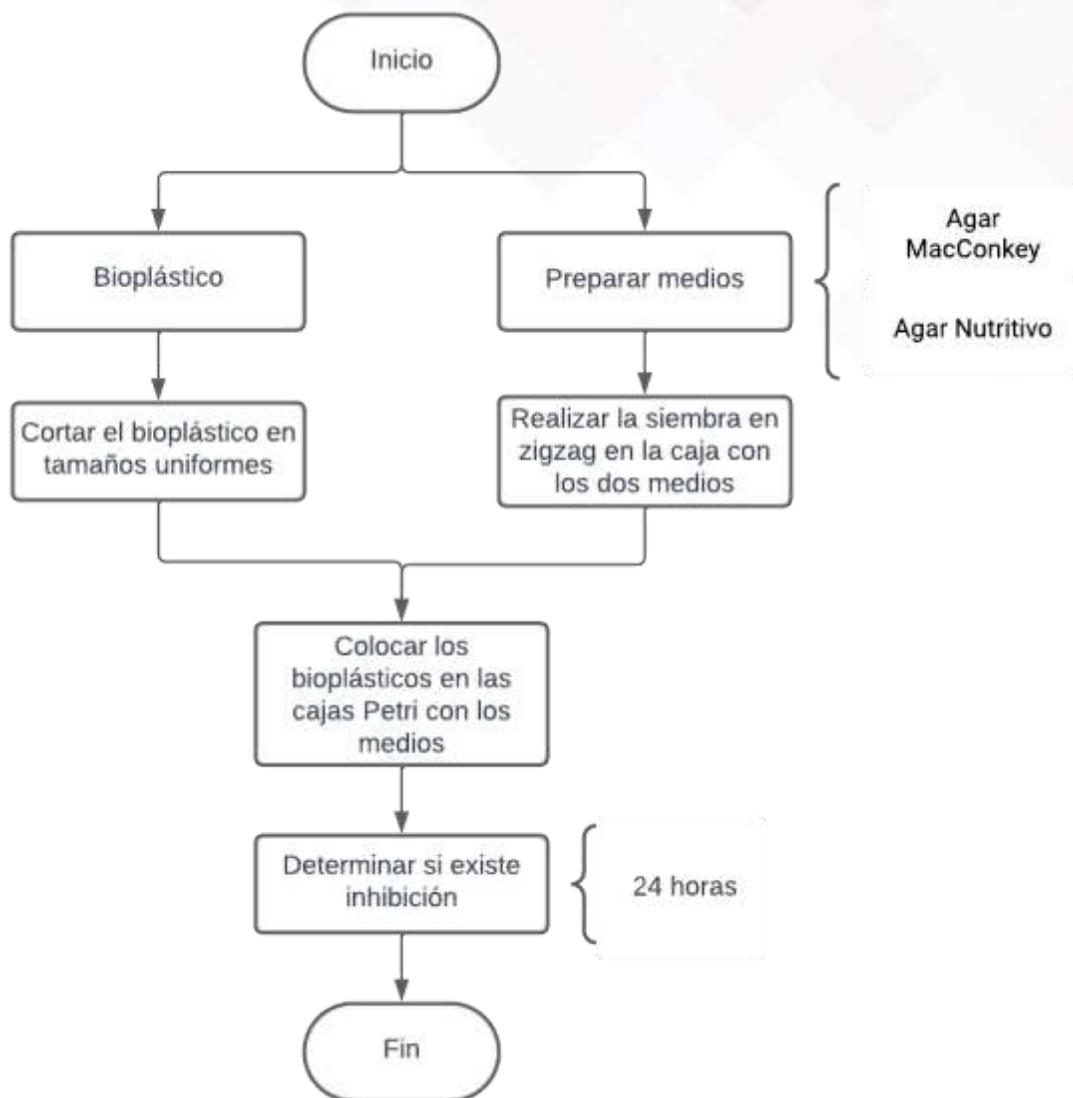
**Tabla 10:** Ensayos ejecutados para la caracterización físico-mecánica del bioplástico

Características físico-mecánicas	Procedimiento	Indicador	Metodología de referencia
Resistencia a la ruptura y elongación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cortar láminas de 4 bioplásticos de cada formulación con una longitud entre 10 a 15 cm y ancho entre 1 a 2 cm.</li> <li>Utilizar un dinamómetro de resorte de 20 N, colocar el bioplástico en el soporte universal con una pinza sujetas al nylon y una segunda pinza sujeta en el elevador de tijeras</li> <li>Colocar cada lámina en cada extremo de las pinzas y realizar las mediciones.</li> </ul>	Pa mm	(ASTM D638, 2003)
Espesor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cortar muestras de bioplástico con medidas de 0,25 mm de ancho y largo, con una exactitud aproximada de 0,01 mm</li> <li>Con la ayuda del micrómetro realizar la medición de 4 bioplásticos de cada formulación y promediar.</li> </ul>	mm	(NTE INEN-ISO 4593, 2014)
Porcentaje de Humedad	<ul style="list-style-type: none"> <li>En una balanza analítica calibrada, pesar el bioplástico.</li> <li>Colocar la muestra en la estufa a 105°C durante 24 horas.</li> <li>Colocar en el desecador y luego pesar cuando se enfríe el bioplástico</li> <li>Realizar los cálculos cuando el peso se encuentre constante.</li> </ul> $H = \frac{\text{Peso inicial película} - \text{Peso final película}}{\text{Peso inicial película}} * 100$ <p>Ecuación 7-3: Humedad del bioplástico</p>	%	(ISO 15512, 2019; López et al., 2009)

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

### 3.3.5. Siembra de *Escherichia coli* en bioplástico a base de mucílago de pitahaya

Como se muestra en la figura 5, para la determinación de la acción de la *E. coli* se realizó mediante la técnica de difusión en agar (CLSI, 2018), este método es utilizado para determinar la susceptibilidad antimicrobiana contra microorganismos específicos como bacterias y levaduras. Este procedimiento se realizó mediante inoculación de las bacterias en placas de agar MacConckey con discos de las biopelículas. El agente antimicrobiano inhibe la germinación y el crecimiento del microorganismo de prueba, difundiéndose en el agar; los resultados se expresan midiendo los diámetros de las zonas de crecimiento de inhibición (Balouiri et al., 2016). Se suspendió cultivos bacterianos (*E. coli*) en agua de peptona (0,1%), el inóculo se sembró con hisopos estériles sobre la superficie de agar MacConckey en cajas petri; las placas se incubaron a 35 °C. durante de 24 h para su cuantificación.



**Figura 5:** Proceso para la determinación de inhibición bacteriana

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

### 3.4. Procesamiento estadístico de la información

En esta investigación, al ser de enfoque experimental involucrando observaciones y medición de variables dependientes, permite la obtención de datos de interés para las distintas formulaciones aplicada; con el fin de validar los resultados se realizaron 4 repeticiones y controles continuos.

Se utilizaron métodos estadísticos para asegurar una buena interpretación de los datos obtenidos mediante el software IBM SPSS con un análisis de varianza ANOVA que permite determinar si al menos un grupo difiere significativamente de los demás en términos de sus medias en los tratamientos aplicados; y la prueba de Tukey se aplica para identificar y caracterizar las diferencias específicas entre pares de grupos.

## Capítulo IV Análisis e Interpretación de Resultados

### 4.1. Análisis de los resultados

#### 4.1.1. Análisis de la caracterización fisicoquímica del mucílago de penca de pitahaya

##### pH

En la tabla 11 se puede observar que los valores de pH para el mucílago de la penca de la pitahaya en el valor promedio de 6.61 y, siendo rangos que se acercan a la neutralidad y que difieren en comparación con los datos obtenidos por García (2011) en los que indica que los valores de pH del mucílago de nopal se encuentran en el rango de 4.64 a 5.7 considerándose ácidos; pero Rodríguez-González et al. (2020) establece que el pH de la misma especie es de 4,45 en promedio, esto puede deberse a varios factores como la edad de la planta, la época de cosecha, etc.

**Tabla 11:** Determinación de pH

Repeticiones	pH	Temperatura (°C)
1	6.77	23.0
2	6.36	22.7
2	6.69	23.3
Promedio	6.61	23

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

### Porcentaje de Humedad

En la tabla 12 se observa el porcentaje de humedad obtenido en el mucilago de la penca de la pitahaya de 92.71% considerándose valores altos, esto coincide con los datos obtenidos por García (2011) en su investigación del nopal, esto se debe principalmente porque pertenecen a la familia de las *Cactaceae* que tienen un reservorio de agua en su tallo o penca. Según datos recopilados por Sotomayor et al. (2019), indican que el valor de humedad se encuentra en un rango entre el 70 y 80%.

**Tabla 12:** Contenido de humedad

Repeticiones	Peso del crisol + muestra húmeda (g)	Peso del crisol + muestra seca (g)	Peso inicial de la muestra (g)	Promedio de porcentaje de humedad %	Promedio total %
1	69.56	64.693	5.077	93.00	92.71
2	63.305	58.403	5.113	92.26	
3	67.274	62.468	5.014	92.86	

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

### Contenido de ceniza

En cuanto al contenido de ceniza en el mucilago de la penca de la pitahaya se puede apreciar en la tabla 13 con un promedio de 1.2% por lo que no posee gran cantidad de materia orgánica, acercándose al valor obtenido por Pazmiño (2021) con un valor de 1.56% para el mucílago de cactus (*Opuntia ficus-indica*). Se contrasta con un estudio realizado por Vargas Mamani et al, (2019) en cactus, en el que en su investigación obtuvo un porcentaje de ceniza de 10.55%

**Tabla 13:**Contenido de ceniza

Repeticiones	Peso de las cenizas (g)	Peso inicial de la muestra (g)	Porcentaje de ceniza (%)	Promedio (%)
1	0.061	4.982	1.22	1.2
2	0.059	4.973	1.19	
3	0.059	4.923	1.20	

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

### Determinación de grasa

En la tabla 14 se observa que el promedio para la determinación de la grasa en el mucilago de la penca de la pitahaya es de 0.72%, se obtiene valores similares en comparación a la investigación realizada por García (2011) que indica un promedio de 0,30% de contenido de grasa en tallos maduros de nopal. Por otro lado Pazmiño (2021) indica que en el mucílago de cactus existió un contenido de grasa de 0,023%.

**Tabla 14:** Determinación de grasa

Repeticiones	Masa en gramos del envase con grasa (g)	Masa en gramos del envase sin grasa (g)	Masa de la muestra (g)	Promedio de porcentaje de grasa %	Promedio %
1	86.055	86.089	1.967	1.72852059	0.72
2	82.737	82.743	1.842	0.3257329	
3	87.105	87.102	1.717	0.11648224	

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

### Determinación del porcentaje de fibra

En cuanto a la fibra obtenida del mucílago de penca de pitahaya se puede observar en la tabla 15, que el promedio fue de 6.29%. En la investigación realizada por Rodríguez-González et al. (2020) indican que el nopal de cerro tiene un contenido de fibra de 5% y 4,7% para nopal de invernadero por lo que estos valores se asemejan a los obtenidos en esta investigación.

**Tabla 15:** Determinación de fibra

Número de repeticiones	Masa del residuo totalmente seco (g)	Masa del papel filtro utilizado (g)	Masa de las cenizas de papel (g)	Masa de las cenizas obtenidas (g)	Muestra masa inicial (g)	Promedio de porcentaje de fibra	Promedio total %
1	2.067	1.932	65.568	65.568	2.976	4.536	6.29
2	2.2195	2.029	62.252	62.252	3.022	6.302	
3	2.372	2.126	58.936	58.936	3.069	8.016	

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

### Determinación sólidos totales

El porcentaje promedio de sólidos solubles del mucílago de penca de pitahaya obtenido es de 7.29% como se puede observar en la tabla 16, un valor menor al obtenido por Bosquez (2020), en el que indica que para la pitahaya el porcentaje de sólidos totales es de 16.5%, esto se debe a que las características del tallo y de la fruta son diferentes; otro estudio realizado por García (2011) para la especie de nopal muestra valores similares a los obtenidos con un promedio de 6.48%.

**Tabla 16:** Determinación de sólidos solubles

Número de repeticiones	Masa inicial (g)	Crisol+peso húmedo	Crisol+peso seco	Promedio de sólidos totales%	Promedio total %
1	5.077	69.56	64.693	7.00	7.29
2	5.113	63.305	58.403	7.74	
3	5.014	67.274	62.468	7.14	

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

### Rendimiento

El rendimiento en la extracción de mucílago de 4 pencas de pitahaya fue de 52,46% como se puede observar en la tabla 17, este valor es mayor al obtenido por Pazmiño (2021) que en su investigación se establece que llegó a un porcentaje de 38.40, mostrando que la penca de pitahaya posee mayor cantidad de mucílago que en el nopal; En otras investigaciones se reporta un rendimiento del 17% para sábila, pero menciona que el factor limitante fue la edad de la hoja de dicha planta por lo que el rendimiento pudo ser mayor según Moreno Bustillos et al. (2017).

**Tabla 17:** Rendimiento

Pesos de las 4 pencas de pitahaya utilizadas (g)	Peso de las pencas de la pitahaya (g)	Peso del mucílago (g)	Promedio de porcentaje %
684.085	2239.829	1174.947	52.46
703.519			
852.225			

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

### Determinación de proteínas

En la tabla 18 se puede observar que el promedio de las proteínas del mucílago de penca de pitahaya es de 11.84% considerándose 10 veces mayor al resultado obtenido por Vargas Mamani et al. (2019), en su investigación con un valor de 1.8% para nopal, esto se puede deber a la edad de la penca y además se especifica en la investigación que el valor obtenido fue bajo. Para Rodríguez-González et al. (2020) estableció el contenido de proteínas en su investigación de 12.59% para nopal de cerro y 9.90% para nopal de invernadero, por lo que estos valores se asemejan a los obtenidos en la presente investigación.

**Tabla 18:** Determinación de proteínas

Número de repeticiones	Cantidad de mucílago (g)	Proteína %	Promedio de proteínas %
1	100.760	11.840	
2	100.560	11.720	11.84
3	100.810	11.950	

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

#### 4.1.2. Análisis de la caracterización físico-mecánica del bioplástico

**Tabla 19:** Caracterización físico-mecánica del bioplástico

Tratamiento	Espesor [mm]	Elongación [cm]	Fuerza [N]	Resistencia [Pa]	Humedad
T <sub>1</sub> M <sub>1</sub>	0.16	10.1	1.7	0.708	79.90
T <sub>1</sub> M <sub>2</sub>	0.155	8.52	1.5	0.645	76.12
T <sub>1</sub> M <sub>3</sub>	0.13	9.29	1.9	0.974	71.57
T <sub>1</sub> M <sub>4</sub>	0.145	10.32	1.8	0.828	73.43
<b>PROMEDIO</b>	0.148	9.558	1.725	0.789	75.26
T <sub>2</sub> M <sub>1</sub>	0.05	7.67	2.3	3.067	75.86
T <sub>2</sub> M <sub>2</sub>	0.04	7.45	2.1	3.500	65.07
T <sub>2</sub> M <sub>3</sub>	0.035	7.31	2	3.810	77.72
T <sub>2</sub> M <sub>4</sub>	0.055	7.86	1.9	2.303	78.30
<b>PROMEDIO</b>	0.045	7.573	2.075	3.17	74.24
T <sub>3</sub> M <sub>1</sub>	0.2	6.58	1.4	0.467	76.50
T <sub>3</sub> M <sub>2</sub>	0.185	6.17	1.2	0.432	76.70
T <sub>3</sub> M <sub>3</sub>	0.17	5.92	1	0.392	77.40

T <sub>3</sub> M <sub>4</sub>	0.18	5.85	1.1	0.407	80.84
<b>PROMEDIO</b>	0.184	6.13	1.175	0.425	77.86
T <sub>4</sub> M <sub>1</sub>	0.21	4.87	1.3	0.413	84.95
T <sub>4</sub> M <sub>2</sub>	0.205	5.13	1.4	0.455	86.26
T <sub>4</sub> M <sub>3</sub>	0.190	5.58	1.5	0.526	86.12
T <sub>4</sub> M <sub>4</sub>	0.195	5.34	1.3	0.444	83.41
<b>PROMEDIO</b>	0.200	5.23	1.375	0.460	85.19

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

#### 4.1.3. Análisis estadístico de las características físico-mecánicas

Una vez obtenidos los valores para las pruebas físico-mecánicas se realizó el análisis ANOVA en el Software SPSS, se demostró que si existe diferencias significativas en los cuatro tratamientos aplicados para los parámetros de espesor, elongación, fuerza y resistenciano con un p-valor  $<0.05$  como se observa en la tabla 20., por otro lado, para el parámetro de humedad se establece que no existen diferencias significativas entre los tratamientos ya que el p-valor  $>0.05$ .

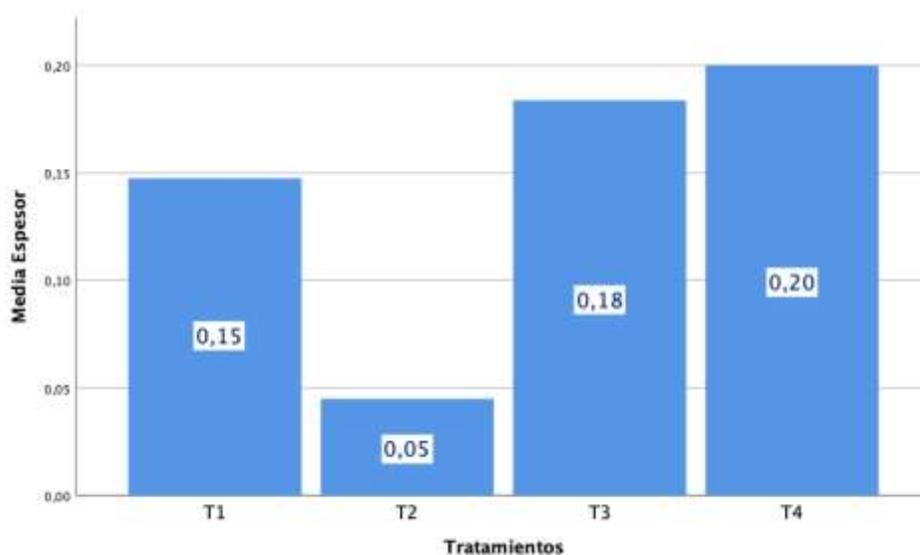
**Tabla 20:** Análisis ANOVA de las características físico-mecánicas

ANOVA					
		Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Significancia
Espesor	Entre grupos	0,058	0,019	155,678	0,000
	Dentro de grupos	0,001	0,000		
	Total	0,60			
Elongación	Entre grupos	42,793	14,264	61,121	0,000
	Dentro de grupos	2,801	0,233		
	Total	45,584			
Fuerza	Entre grupos	1,888	0,629	26,034	0,000
	Dentro de grupos	0,290	0,024		
	Total	2,178			
Resistencia	Entre grupos	20,797	6,932	61,443	0,000
	Dentro de grupos	1,354	0,113		
	Total	22,151			
Porcentaje de humedad	Entre grupos	293,052	97,684	6,18	0,006
	Dentro de grupos	172,064	14,339		
	Total	463,116			

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

#### 4.1.3.1. Espesor

En la figura 6. se observan las medias de espesor de las biopelículas formadas de los cuatro tratamientos, siendo el tratamiento cuatro ( $T_4$ ) el que presentó mayor espesor (0,20 mm), el tratamiento tres ( $T_3$ ) presentó una media similar a ( $T_4$ ); estos valores son similares a los obtenidos por Pazmiño Abad (2021) para cactus (*Opuntia ficus*), en los que indica que su promedio es de 0,18 mm, mientras que los tratamientos ( $T_1$ ) y ( $T_2$ ) se encuentran por debajo de estos resultados con 0,15 mm y 0,05 mm respectivamente.



**Figura 6:** Media del espesor en los cuatro tratamientos

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

En la tabla 21 para el espesor se establece que existe diferencias significativas en los tratamientos aplicados, se aplica la prueba de Tukey en la cual se establece que existen tres subconjuntos. Para el tratamiento ( $T_1$ ) con un valor de 0.045 difiere del segundo subconjunto para el tratamiento ( $T_2$ ) con un valor de 0.147 en y para los tratamientos ( $T_3$ ) y ( $T_4$ ) pertenecen al tercer subconjunto ya que entre ellos no existe diferencias con valores de 0.18 a 0.2.

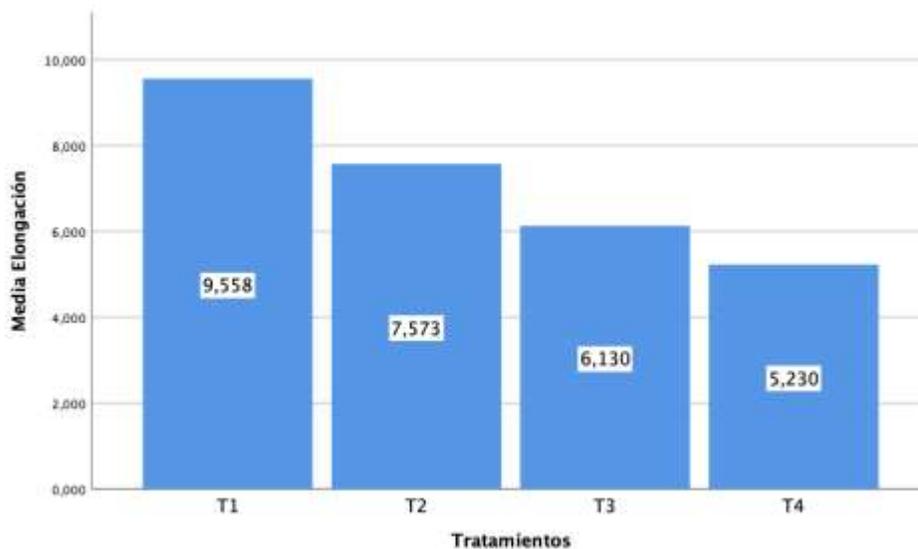
**Tabla 21:** Análisis estadístico de espesor

	Tratamientos	Subconjuntos			Significancia
HSD Tukey		1	2	3	
	2	0,045			**
	1		0,14750		**
	3			0,18375	*
	4			0,20000	*

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

#### 4.1.3.2. Elongación

En la figura 7. se observan las medias de elongación de las biopelículas formadas de los cuatro tratamientos, siendo el tratamiento uno ( $T_1$ ) el que presentó mayor elongación (9,56 cm), seguido por el tratamiento dos ( $T_2$ ) que presentó una media de 7,57 cm con un valor de media similar al obtenido por el mejor tratamiento en la investigación de Quispe (2022) realizado en el nopal (*Opuntia tomentosa*) con un valor 7.3 cm; los tratamientos con menor elongación fueron el tratamiento tres ( $T_3$ ) y tratamiento cuatro ( $T_4$ ) con una media de 6,13 cm y 5,23 cm respectivamente.



**Figura 7:** Media de elongación en los cuatro tratamientos

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

Una vez determinado que el p-valor  $<0.05$  en el análisis de ANOVA, para la elongación se aplica el estadístico de Tukey, que determina la formación de 3 subconjuntos, de los cuales los tratamientos ( $T_4$ ) y ( $T_3$ ) no difieren entre sí por lo que pertenecen al primer subconjunto con valores de 6.13 y 5.23 respectivamente, mientras que para el ( $T_2$ ), pertenece al segundo subconjunto con un valor promedio de 7.57 y el ( $T_1$ ) pertenece al tercer subconjunto teniendo el mayor valor obtenido entre los otros tratamientos aplicados de 9.5.

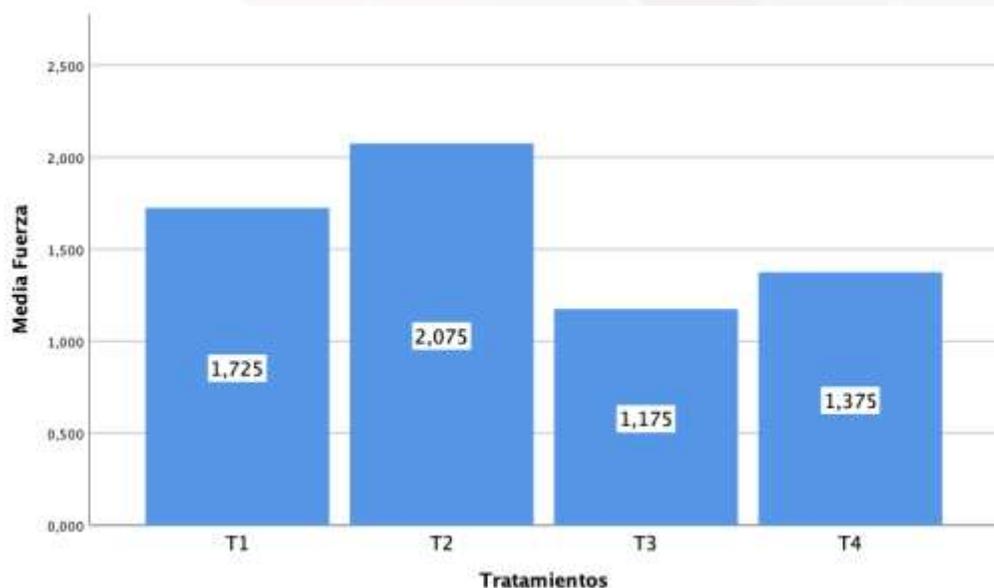
**Tabla 22:** Análisis estadístico de Elongación

HSD Tukey	Tratamientos	Subconjuntos			Significancia
		1	2	3	
	4	5,23000			*
	3	6,13000			*
	2		7,57250		**
	1			9,55750	**

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

#### 4.1.3.3. Fuerza

En la figura 8. se observan las medias de fuerza de las biopelículas formadas de los cuatro tratamientos, siendo el tratamiento dos ( $T_2$ ) el que presentó mayor fuerza (2,075 N) con datos similares al obtenido en las investigaciones realizadas en el nopal (*Opuntia tomentosa*) por Quispe (2022) cuyo valor es de 2 N; seguido por el tratamiento uno ( $T_1$ ) que presentó una media de 1,73 N; los tratamientos con menor elongación fueron el tratamiento cuatro ( $T_4$ ) y tratamiento tres ( $T_3$ ) con una media de 1,375 N y 1,175 N respectivamente.



**Figura 8:** Media de fuerza de los cuatro tratamientos

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

Para los cuatro tratamientos aplicados, el resultado de fuerza aplicado el estadístico de Tukey según la tabla 23, se establece que los tratamientos (T<sub>4</sub>) y (T<sub>3</sub>) no difieren significativamente entre sí perteneciendo al primer subconjunto con valores bajos de 1.18 y 1.38 respectivamente mientras que, para el tratamiento (T<sub>1</sub>) pertenece al segundo subconjunto con un valor de 1,73 y para el tratamiento (T<sub>2</sub>) con un valor de 2.075.

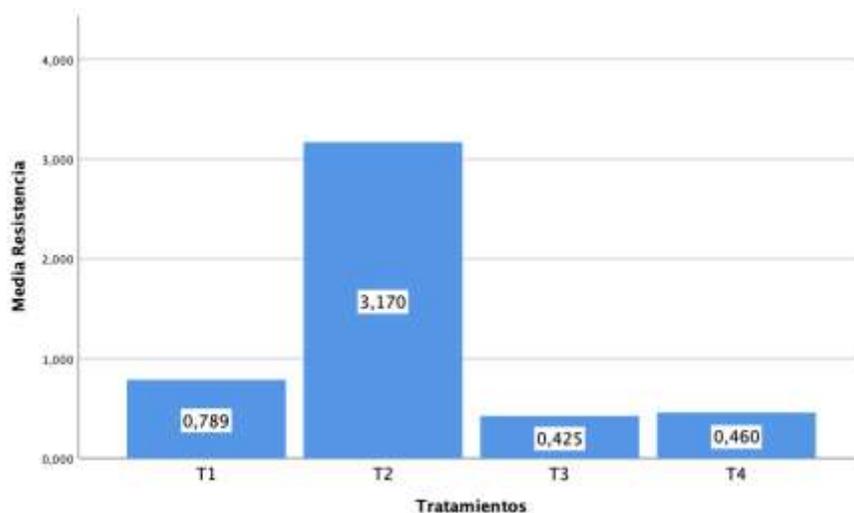
**Tabla 23:** Análisis estadístico de la fuerza

HSD Tukey	Tratamientos	Subconjuntos			Significancia
		1	2	3	
	3	1,17500			*
	4	1,37500			*
	1		1.72500		**
	2			2.07500	**

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

#### 4.1.3.4. Resistencia

En la figura 9. se observan las medias de resistencia de las biopelículas formadas de los cuatro tratamientos, siendo el tratamiento dos ( $T_2$ ) el que presentó mayor resistencia (3,17 Pa) siendo mayor al obtenido por Pazmiño Abad (2021) en su investigación con el mejor tratamiento para el cactus (*Opuntia ficus*) con un valor de 1,42 Pa; seguido por el tratamiento uno ( $T_1$ ) que presentó una media de 0,789 Pa; los tratamientos con menor elongación fueron el tratamiento tres ( $T_3$ ) y tratamiento cuatro ( $T_4$ ) con una media de 0,425 Pa y 0,46 Pa respectivamente.



**Figura 9:** Medias de resistencia para los cuatro tratamientos

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

En el parámetro de resistencia, al establecer que existe diferencias significativas en los tratamientos aplicados, se aplica la prueba de Tukey que se muestra en la tabla 24, para determinar que tratamiento tiene mejores resultados, estableciendo que el tratamiento ( $T_2$ ) pertenece al segundo subconjunto con valor promedio de 3.17, esto difiere significativamente del primer subconjunto que se considera al tratamiento ( $T_1$ ), tratamiento ( $T_3$ ) y tratamiento ( $T_4$ ) que los valores son menores a 1.

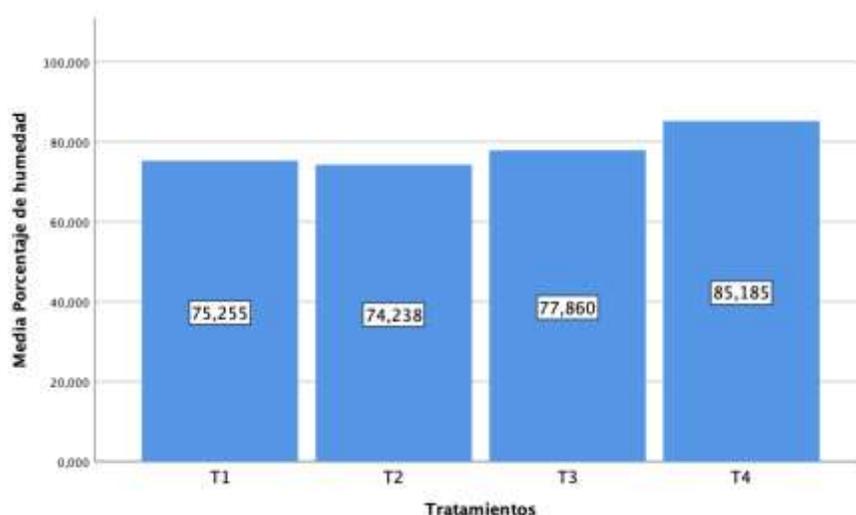
**Tabla 24:** Análisis estadístico de Resistencia

	Tratamientos	Subconjuntos		Significancia
HSD Tukey		1	2	
	3	0,42450		*
	4	0,45950		*
	1	0,78875		*
	2		3,17000	**

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

#### 4.1.3.5. Porcentaje de Humedad

En la figura 10. se observan las medias del porcentaje de humedad de las biopelículas formadas de los cuatro tratamientos, siendo los cuatro tratamientos con valores similares de humedad, el tratamiento cuatro (T4) presenta un ligero valor mayor de 85,19%, datos que difieren en comparación con las investigaciones realizadas por Quispe (2022) para nopal (*Opuntia tomentosa*) con un 36,86% y Pazmiño Abad (2021) para cactus (*Opuntia ficus*) con un 10,17%.



**Figura 10:** Media del porcentaje de humedad para los cuatro tratamientos

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

Para los cuatro tratamientos aplicados, el resultado del porcentaje de humedad una vez aplicado el estadístico de Tukey como se muestra en la tabla 25., se determinó que todos los tratamientos (T1), (T2), (T3) y (T4) no difieren significativamente entre sí formando dos subconjuntos en el que el (T4) tuvo mayor valor de 85,18%.

**Tabla 25:** Análisis estadístico de humedad

	Tratamientos	Subconjuntos		Significancia
<b>HSD Tukey</b>		1	2	
	2	74,23750		*
	1	75,25500		*
	3	77,86000		*
	4		85,18500	*

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

#### 4.1.4. Inhibición de crecimiento de la bacteria *E.coli* en el bioplástico

Para determinar la capacidad de inhibición de las películas de bioplástico frente a la *Escherichia coli* se evaluó la sensibilidad que presentó frente a los cuatro tratamientos aplicados de dos métodos: 1) La siembra directa de la bacteria sobre las películas del bioplástico con la adición de agar nutritivo y 2) La siembra de las películas de bioplástico ( 1cmx1cm) sobre medio de cultivo MacConkey como fuente de alimento, para lo cual después de un periodo de 24 horas de incubación a 35°C, se pudo determinar que según la primera metodología, el tratamiento (T1) que en su formulación se consideraba el mucilago (80g) sin almidón inhibió el crecimiento de la *Escherichia coli* a diferencia de los tratamientos (T2) que en su formulación se consideró el mucilago (100 g) más almidón ( 3g), para el tratamiento (T3) que estaba formulado de mucilago (120 g) más almidón ( 3g) y (T4) que se consideró control negativo al no tener el mucílago de la penca de la pitahaya obteniendo como resultado el crecimiento de la bacteria como lo indica en la tabla 26. Para la segunda metodología aplicada se pudo observar que, en el tratamiento (T1) y (T2) presentó inhibición en el crecimiento de la *Escherichia coli* mientras que para el tratamiento

(T3) y (T4) existió la proliferación de la bacteria considerando que el medio fue el adecuado para desarrollarse, razón por la cual los tratamientos (T3) y (T4) no se podrían considerar como bioplásticos para el uso en la industria alimenticia. Según Moncada et.al (2022) concluyó en su investigación que las biopelículas al 2,5 % de aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*) presentaron mayor inhibición de la cepa *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus* pero no obtuvieron buenos resultados para *E. coli*.

Según Araya (2021) en su investigación estableció que la adición de aceite esencial de romero (AER) proporcionó propiedades antimicrobianas contra las bacterias *E. coli* y *S. aureus* y el hongo *A. niger* en la producción de un biocompuesto, donde también determinó que a concentraciones más altas el AER incorporado actúa como plastificante, información que se corrobora con los resultados obtenidos en la presente investigación ya que todos los tratamientos tuvieron una concentración de 1% de extracto de orégano y en combinación con el mucílago de la penca de la pitahaya el tratamiento (T1) fue el que inhibió el crecimiento completamente de la *E. coli*. Dado lo expuesto anteriormente, los hallazgos de este estudio ofrecen datos relevantes sobre el avance en la creación de biopelículas destinadas a su aplicación futura en la industria del empaquetado que con una correcta formulación puede escalarse a la industria de alimentos garantizando una seguridad alimenticia.

**Tabla 26:** Crecimiento de *E.coli* en láminas de bioplástico

TRATAMIENTO	CRECIMIENTO DE <i>E. coli</i>	
	EN EL BIOPLASTICO Agar nutritivo	SOBRE EL BIOPLASTICO Agar McConkey
T1	NO	NO
T2	SI	NO
T3	SI	SI
T4	SI	SI

Elaborado por: Cerda, A. & Arcos, J. 2024

## Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

Se logró obtener películas de bioplástico utilizando formulaciones con el mucílago de la penca de pitahaya (*Selenicereus undatus*) con un rendimiento de extracción de 52,46% y almidón de papa (*Solanum tuberosum*) como aditivo, en diferentes formulaciones con extracto de orégano (1%), glicerina (5%), vinagre (10%) y grenetina (3%) con valores fijos para lograr una estabilidad de la estructura.

Se caracterizó las propiedades fisicoquímicas del mucílago de penca de pitahaya (*Selenicereus undatus*), con valores de pH (6.61), humedad (92,71%), contenido de ceniza (1,20%), determinación de grasa (0,72%), sólidos solubles (7,29%) y determinación de fibra (6,29%), proteína (11.4%), y determinación de azúcares (0%) estableciendo valores óptimos para el desarrollo de biopelículas.

Según el análisis estadístico de los datos obtenidos del análisis físicos-mecánicos de las biopelículas formadas, se puede establecer que los tratamientos (T<sub>1</sub>) y (T<sub>2</sub>) dieron mejores resultados comparados con los tratamientos (T<sub>3</sub>) y (T<sub>4</sub>), sin embargo, el (T<sub>2</sub>) presento mejores características de color, sensibilidad al tacto, mayor resistencia a la ruptura (3,17 Pa), elongación (7,57 mm) y fuerza (2,08 N).

Se analizó la actividad antimicrobiana de los cuatro tratamientos aplicado después de la siembra de la bacteria y colocadas en la incubadora a 35°C por 24 horas estableciendo que el (T<sub>1</sub>) presentó inhibición al crecimiento de la *E. coli* en comparación a los tratamientos (T<sub>2</sub>), (T<sub>3</sub>) y (T<sub>4</sub>) que existió la proliferación de la bacteria descartando la viabilidad de utilizar las formulaciones de estos 3 tratamientos para el uso en la industria del empaquetado ya que no existiría una garantía en la seguridad alimentaria.

## 5.2 Recomendaciones

Con el fin de obtener mayor porcentaje de azúcar y mejores características fisicoquímicas del mucílago se recomienda utilizar pencas de la primera cosecha (pencas jóvenes).

Con la intención de mejorar la inhibición bacteriana se recomienda colocar mayor cantidad de extracto de orégano y vinagre.

Con el objetivo de mejorar las características físico-mecánicas del bioplástico se debe considerar un mayor tiempo de maduración de las películas antes de su desmolde.

Con el propósito de prolongar la duración del bioplástico, es necesario reducir el porcentaje de humedad.

Establecer nuevas formulaciones entre el mucílago de la penca de la pitahaya y el almidón de la papa para establecer las concentraciones óptimas

## Bibliografía

- Abang, S., Wong, F., Sarbatly, R., Sariau, J., Bains, R., & Besar, N. A. (2023). Bioplastic classifications and innovations in antibacterial, antifungal, and antioxidant applications. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 8(4), 361-387. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2023.06.005>
- Adeyemi, S. B., Akere, A. M., Orege, J. I., Ejeromeghene, O., Orege, O. B., & Akolade, J. O. (2023). Polymeric nanoparticles for enhanced delivery and improved bioactivity of essential oils. *Heliyon*, 9(6), e16543. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16543>
- Ali, S. S., Abdelkarim, E. A., Elsamahy, T., Al-Tohamy, R., Li, F., Kornaros, M., Zuurro, A., Zhu, D., & Sun, J. (2023). Bioplastic production in terms of life cycle assessment: A state-of-the-art review. *Environmental Science and Ecotechnology*, 15, 100254. <https://doi.org/10.1016/j.ese.2023.100254>
- Al-Qthanin, R., Salih, A. M. M. E., Mohammed A Alhafidh, F., Almoghran, S. A. M., Alshehri, G. A., & Alahmari, N. H. (2024). Assessing the suitability of pitaya plant varieties for cultivation in the arid climate of Saudi Arabia. *Heliyon*, 10(1), e21651. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21651>
- AOAC 920.39. (1920). Fat (Crude) or Ether Extract in Animal Feed. En N. J. Wendt Thiex & G. W. Latimer Jr. (Eds.), *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.041>
- AOAC 962.09. (1982). Fiber (Crude) in Animal Feed and Pet Food: Ceramic Fiber Filter Method. En N. J. Wendt Thiex & G. W. Latimer Jr. (Eds.), *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL* (p. 0). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.042>
- Araya Navarro, J. L. (2021). *Producción de un biocompuesto a base de almidón termoplástico de yuca amarga (Manihot Esculenta Crantz) y nanocelulosa obtenida de rastrojo de piña (Ananas Comosus)*. <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/20527>
- ASTM D482. (2013). *Standard Test Method for Ash from Petroleum Products*.

<https://www.astm.org/d0482-13.html>

- ASTM D638. (2003). *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. <https://www.astm.org/d0638-14.html>
- ASTM E96. (2022). *Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials*. <https://www.astm.org/e0096-00e01.html>
- Barbosa, L. N., Alves, F. C. B., Andrade, B. F. M. T., Albano, M., Rall, V. L. M., Fernandes, A. A. H., Buzalaf, M. A. R., Leite, A. de L., de Pontes, L. G., dos Santos, L. D., & Fernandes Junior, A. (2020). Proteomic analysis and antibacterial resistance mechanisms of *Salmonella* Enteritidis submitted to the inhibitory effect of *Origanum vulgare* essential oil, thymol and carvacrol. *Journal of Proteomics*, 214, 103625. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2019.103625>
- Barlaam, A., Parisi, A., Spinelli, E., Caruso, M., Taranto, P. D., & Normanno, G. (2019). Global Emergence of Colistin-Resistant *Escherichia coli* in Food Chains and Associated Food Safety Implications: A Review. *Journal of Food Protection*, 82(8), 1440-1448. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-19-116>
- Bosquez, J. (2020). *Evaluación físico-química de pitahaya (Selenicereus undatus (Haw.) D.R Hunt.) para su aprovechamiento agroindustrial en las provincias de Pastaza y Morona Santiago [Universidad Estatal Amazónica]*. <https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/871/1/T.AGROIN.B.UEA.2109.pdf>
- Brianese, A. (2021, julio 1). *El impacto ambiental del plástico en la naturaleza*. ambientevitrubio. <https://www.ambientevitrubio.com/post/el-impacto-ambiental-del-plastico-en-la-naturaleza>
- Contreras-Omaña, R., Escorcia-Saucedo, A. E., & Velarde-Ruiz Velasco, J. A. (2021). Prevalencia e impacto de resistencias a antimicrobianos en infecciones gastrointestinales: Una revisión. *Revista de Gastroenterología de México*, 86(3), 265-275. <https://doi.org/10.1016/j.rgmx.2021.02.003>
- Dávila, Y. (2022). *Estudio de las propiedades físico-químicas y funcionales del mucílago de la cáscara de pitahaya [Universidad Autónoma del Estado de México]*. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/136915/Tesis.pdf?sequenc>

e=1

- Diéguez Santana, K., Zabala Velin, A. A., Villarroel Quijano, K. L., & Sarduy Pereira, L. B. (2020). Evaluación del impacto ambiental del cultivo de la pitahaya, Cantón Palora, Ecuador. *TecnoLógicas*, 23(49), 113-128.
- Difilo, A. I. (2017). *Fortalecimiento asociativo de los actores de la economía popular y solidaria para el aprovechamiento de oportunidades de negocios en mercados internacionales. Caso: Asociación de productores y comercializadores de pitahaya y otros productos Palora, Provincia de Morona Santiago* [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14200/FORTALECIMIENTO%20ASOCIATIVO%20DE%20LOS%20ACTORES%20DE%20LA%20ECONOMIA%20POPULAR%20Y%20SOLIDARIA%20PARA%20EL%20APROVECHAMIENTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dorigato, A., & Fredi, G. (2023). Effect of nanofillers addition on the compatibilization of polymer blends. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2023.09.004>
- Dubreuil, J. D. (2020). Fruit extracts to control pathogenic Escherichia coli: A sweet solution. *Heliyon*, 6(2), e03410. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03410>
- FDA. (2023). Escherichia coli (E. coli). *Center for Food Safety and Applied Nutrition*. <https://www.fda.gov/food/foodborne-pathogens/escherichia-coli-e-coli>
- Fredi, G., & Dorigato, A. (2021). Recycling of bioplastic waste: A review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 4(3), 159-177. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2021.06.006>
- Fuentes, A., García, E., & Fernández, I. (2013). *Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA). Método de prensado*. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/29835/Determinacion%20de%20CRA\\_mtodo%20de%20prensado.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/29835/Determinacion%20de%20CRA_mtodo%20de%20prensado.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- García, E. (2011). *Optimización del secado por aspersion de mucílago de pitahaya (Hylocereus undatus) en función de sus propiedades reológicas* [Instituto Politécnico Nacional].

[http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/LITER\\_CIIDIR\\_OAX/160/Garc%c3%ada%20Cruz%2c%20E.%20E..pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/LITER_CIIDIR_OAX/160/Garc%c3%ada%20Cruz%2c%20E.%20E..pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Gilani, I. E., Sayadi, S., Zouari, N., & Al-Ghouti, M. A. (2023). Plastic waste impact and biotechnology: Exploring polymer degradation, microbial role, and sustainable development implications. *Bioresource Technology Reports*, 24, 101606. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101606>
- Gujral, H., Sinhmar, A., Nehra, M., Nain, V., Thory, R., Pathera, A. K., & Chavan, P. (2021). Synthesis, characterization, and utilization of potato starch nanoparticles as a filler in nanocomposite films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 186, 155-162. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.005>
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 718-726. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
- Hosseini, S. N., Pirsá, S., & Farzi, J. (2021). Biodegradable nano composite film based on modified starch-albumin/MgO; antibacterial, antioxidant and structural properties. *Polymer Testing*, 97, 107182. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107182>
- Imoisili, P. E., & Jen, T.-C. (2023). Synthesis and characterization of bioplastic films from potato peel starch; effect of glycerol as plasticizer. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.565>
- INCyTU. (2019). Plásticos en los océanos. *NOTA-INCyTU*, 034, 6.
- ISO 10504. (2013). *Starch derivatives. Determination of the composition of glucose syrups, fructose syrups and hydrogenated glucose syrups. Method using high-performance liquid chromatography*. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/50792/6aca1053f16945ab93147a538dc54377/ISO-10504-2013.pdf>
- ISO 10523. (2008). *Water quality—Determination of pH*. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:10523:ed-2:v1:en>
- ISO 15512. (2019). *Plastics-Determination of water content*.

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/73834/799f830abad2475186f42edfbc8b46a9/ISO-15512-2019.pdf>

- Lavagnolo, M. C., Poli, V., Zampini, A. M., & Grossule, V. (2023). Biodegradability of bioplastics in different aquatic environments: A systematic review. *Journal of Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.06.013>
- Leal Maske, B., Murawski de Mello, A. F., da Silva Vale, A., Prado Martin, J. G., de Oliveira Soares, D. L., De Dea Lindner, J., Soccol, C. R., & de Melo Pereira, G. V. (2024). Exploring diversity and functional traits of lactic acid bacteria in traditional vinegar fermentation: A review. *International Journal of Food Microbiology*, 412, 110550. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110550>
- Ledesma Ugsiña, A. A., Dalgo Flores, V. M., Flores Fiallos, L. M., & Chango Lescano, G. (2021). Bioplásticos de almidón de maíz y quinua para uso como envolturas alimenticias biodegradables. *Dominio de las Ciencias*, 7(Extra 4), 39-56.
- Leon Moncada, A. J. (2021). Elaboración y caracterización de biopelículas a base de una mezcla de almidón de maíz—Papa, sorbitol y aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*). *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/17451>
- León-Martínez, F. M., Rodríguez-Ramírez, J., Medina-Torres, L. L., Méndez Lagunas, L. L., & Bernad-Bernad, M. J. (2011). Effects of drying conditions on the rheological properties of reconstituted mucilage solutions (*Opuntia ficus-indica*). *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 439-445. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.12.004>
- León-Méndez, G., León-Méndez, D., Monroy-Arellano, M. R., Espriella-Angarita, S. D. L., & Barros, A. H.-. (2020). *Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4263410>
- Lopes, J., Pettersen, M. K., Grøvlen, M. S., Sharmin, N., Li, K. D., Wetterhus, E., Ferreira, P., Coimbra, M. A., & Gonçalves, I. (2024). Heat-sealable bioplastic films of blended locust bean and potato byproducts for active packaging of fatty foods: Cheese and oat cookies as case studies. *Food Hydrocolloids*, 147,

109322. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109322>

- López, A., Lopretti, M., Tomasso, M., & Duarte, G. (2009). *Evaluación de residuos de la industria forestal por un sistema de FSS de presacarificación con fines a la producción de alcohol*. 4, 9-10.
- López-Fernández, M. del M., González García, F., & Franco-Mariscal, A. J. (2022). Plásticos: Revisión bibliográfica en Didáctica de las Ciencias Experimentales (2010-2019). *Revista de Educación*, 397, 1-32. <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2022-397-547>
- Lozada, L. F., Aguilar, C. N., Vargas, C. L., Bedoya, C. M., & Serna-Cock, L. (2022). Biological control for basal rot in yellow pitahaya fruits (*Selenicereus megalanthus*): Ex vivo trials. *Journal of King Saud University - Science*, 34(5), 102042. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102042>
- Madrigal, P. R., Ibarra, A. M., & Robles, I. G. C. (2020). *TECNOLOGÍA DE ELABORACIÓN DE GOMITAS DE GRENETINA ADICIONADAS CON VITAMINA C*.
- Martel, G. (2023). *OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE CÁSCARA DE PAPA (*Solanum tuberosum*) Y PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) DE RESIDUOS DE POLLERÍAS Y TACACHERÍAS DE LA CIUDAD DE HUÁNUCO* [Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. <https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/8955/TAI00220M26.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Merchan, Á., Fischöder, T., Hee, J., Lehnertz, M., Osterthun, O., Pielsticker, S., Schleier, J., Tiso, T., Blank, L. M., Klankermayer, J., Kneer, R., Quicker, P., Walther, G., & Palkovits, R. (2022). Chemical recycling of bioplastics: Technical opportunities to preserve chemical functionality as path towards a circular economy. *Green Chemistry*, 24(24), 9428-9449. <https://doi.org/10.1039/d2gc02244c>
- Montañez, M. (2022). *Producción de bioplástico a partir de almidón de semilla de aguacate (*Persea spp.*) reforzado con material lignocelulósico* [Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB\\_UMICH/](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/)

6684/FIQ-M-2022-0226.pdf?sequence=1

- Moreno Bustillos, A. I., Humarán Sarmiento, V., Báez Valdez, E. P., Báez Hernández, G. E., & León Villanueva, A. (2017). Transformación del almidón de papa, mucílago de nopal y sábila en bioplásticos como productos de valor agregado amigables con el ambiente. *Ra Ximhai*, 365-382. <https://doi.org/10.35197/rx.13.03.2017.21.am>
- Morillo-Coronado, A. C., Manjarres-Hernández, E. H., Saenz-Quintero, Ó. J., & Morillo-Coronado, Y. (2022). Morphoagronomic Evaluation of Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) in Miraflores, Colombia. *Agronomy*, 12(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071582>
- NMX-F-083. (1986). *Alimentos. Determinación de humedad en productos alimenticios*. <https://vdocuments.mx/nmx-f-083-1986.html>
- NTE INEN 380. (1985). *Conservas Vegetales. Determinación de Sólidos Solubles. Método Refractométrico*. <https://studylib.es/doc/4840171/norma-técnica-ecuatoriana-conservass-vegetales>
- NTE INEN 1670. (1991). *Quinua. Determinación de la proteína total. (Proteína cruda)*. <http://archive.org/details/ec.nte.1670.1991>
- NTE INEN-ISO 4593. (2014). *Plásticos. Películas y hojas de plástico. Determinación del espesor por medición directa con micrómetro (ISO 4593:1993, IDT)*. <https://docplayer.es/62020855-Quito-ecuador-extracto-plasticos-peliculas-y-hojas-de-plastico-determinacion-del-espesor-por-medicion-directa-con-micrometro-iso-4593-1993-idt.html>
- OECD. (2022, enero 22). *La contaminación por plástico crece sin cesar, en tanto que la gestión de residuos y el reciclaje se quedan cortos, dice la OCDE*. OECD. <https://www.oecd.org/espanol/noticias/perspectivas-globales-del-plastico.htm>
- Oliveria Andrade, R. (2019, noviembre 13). *Fabrican plástico biodegradable con almidón de yuca*. *América Latina y El Caribe*. <https://www.scidev.net/america-latina/news/fabrican-plastico-biodegradable-con-almidon-de-yuca/>
- Palma, M. (2017). *Determinación de la Densidad*. <https://manuelgpblog.files.wordpress.com/2017/04/manuelgutic3a9rrez-efq-prc3a1ctica8.pdf>

- Pazmiño Abad, K. G. P. (2021). *OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL MUCÍLAGO DE CACTUS (Opuntia ficus-indica) PARA USO COMO ENVOLTURAS ALIMENTICIAS* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16780/1/96T00694.pdf>
- Pazmiño, K. (2021). *Obtención de Bioplástico a partir del mucílago de Cactus (Opuntia ficus-indica) para el uso como envolturas alimenticias* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16780/1/96T00694.pdf>
- Quispe, A. S. Q. (2022). *Obtención de Plástico Biodegradable a partir de Cladodios de Nopal (Opuntia tometosa) como alternativa al uso de bolsas plásticas convencionales* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16919/1/96T00750.pdf>
- Revista Industria Alimentaria. (2020). *Pitahaya: ¿cuáles son sus principales beneficios y propiedades?* <https://www.industriaalimentaria.org/blog/contenido/pitahaya-cuales-son-sus-principales-beneficios-y-propiedades>
- Riera, M. A., & Palma, R. R. (2018). Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador. *Avances en Química*, 13(3), 69-78.
- Rodríguez-González, S., Martínez-Flores, H. E., Órnelas-Nuñez, J. L., & Garnica-Romo, M. G. (2020). *OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DEL MUCÍLAGO DE NOPAL (Opuntia ficus-indica)*.
- Salinas-Salazar, V. M., Trejo-Márquez, M. A., & Vargas, A. A. L. (2022). *Aplicación de recubrimientos comestibles a base de mucílago de nopal, grenetina y cera de abeja en ciruela almacenada en refrigeración*. 23.
- Sandid, A., Spallina, V., & Esteban, J. (2024). Glycerol to value-added chemicals: State of the art and advances in reaction engineering and kinetic modelling. *Fuel Processing Technology*, 253, 108008. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2023.108008>
- Sayavedra, J., & Rodríguez, R. (2018). Desarrollo de bioplásticos a partir de tortas residuales y gomas naturales. *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*,

13(1), Article 1. <https://doi.org/10.24133/cctespe.v13i1.783>

- Sotomayor, A., Pitzaca, S., Sánchez, M., Burbano, A., Díaz, A., Nicolalde, J., Viera, W., Caicedo, C., & Vargas, Y. (2019). Evaluación físico química de fruta de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) en diferentes estados de desarrollo. *Enfoque UTE*, 10(1), 89-96.
- Swain, S. S., Paidsetty, S. K., Padhy, R. N., & Hussain, T. (2023). Nanotechnology platforms to increase the antibacterial drug suitability of essential oils: A drug prospective assessment. *OpenNano*, 9, 100115. <https://doi.org/10.1016/j.onano.2022.100115>
- Tien, N. N. T., Nguyen, H. T., Le, N. L., Khoi, T. T., & Richel, A. (2023). Biodegradable films from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel pectin and potato starches crosslinked with glutaraldehyde. *Food Packaging and Shelf Life*, 37, 101084. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101084>
- Tomas, M. da G., Rodrigues, L. J., Almeida Lobo, F. de, Takeuchi, K. P., de Paula, N. R. F., Pinto, D. M., Nhantumbo, N., Pizzatto, M., Oualmakran, Y., Machado, G. G. L., & Boas, E. V. de B. V. (2023). Physicochemical characteristics and volatile profile of pitaya (*Selenicereus setaceus*). *South African Journal of Botany*, 154, 88-97. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.01.020>
- Vargas Mamani, J. J., Vera Vargas, G. V., & Suppé Tejada, N. A. (2019). Caracterización físico-química, microscópica de barrido y dispersión de rayos X del mucílago de cladodios de *Opuntia ficus* en la región alta de Tacna. *Rev Soc Quím Perú*. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n3/a03v85n3.pdf>
- Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., Paucar-Menacho, L. M., Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. M. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439-453. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>
- Waller, S. B., Ripoll, M. K., de Melo, L. P., Lindemann, P., Gomes, A. dos R., Martins, O. de A., Cleff, M. B., de Mello, J. R. B., de Faria, R. O., & Meireles, M. C. A. (2023). Are polar extracts and essential oil from *Origanum vulgare* Linn. (Oregano) an alternative against itraconazole-resistant dermatophytes from

veterinary cases? *Journal of Medical Mycology*, 33(3), 101391.  
<https://doi.org/10.1016/j.mycmed.2023.101391>

- Yang, S.-S., Wu, W.-M., Pang, J.-W., He, L., Ding, M.-Q., Li, M.-X., Zhao, Y.-L., Sun, H.-J., Xing, D.-F., Ren, N.-Q., Yang, J., Criddle, C. S., & Ding, J. (2023). Bibliometric analysis of publications on biodegradation of plastics: Explosively emerging research over 70 years. *Journal of Cleaner Production*, 428, 139423. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139423>
- Zambrano Sánchez, C. C., Latorre Castro, G. B., & Carrillo Anchundia, B. J. (2022). Materiales Poliméricos y el impacto ambiental: Una revisión. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 7(6 (JUNIO 2022)), 596-614.
- Zhuang, Y., Wang, Y., & Yang, H. (2024). Effects of cation valence on swelling power, solubility, pasting, gel strength characteristics of potato starch. *Food Chemistry*, 434, 137510. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137510>
- Zúñiga Rizo, C. A. (2016). *Biología Floral y Estructura Vegetativa de la Pitahaya (Hylocereus undatus Haqoeth)* [Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas]. [http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/3467/Zuniga\\_Rizo\\_CA\\_MC\\_Fructicultura\\_2016.pdf;jsessionid=4B392535AC0AF084B30A6A72668B9C70?sequence=1](http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/3467/Zuniga_Rizo_CA_MC_Fructicultura_2016.pdf;jsessionid=4B392535AC0AF084B30A6A72668B9C70?sequence=1)

## Anexos

### ANEXO A: MUESTRAS DE PITAHAYA RECOLECTADAS



### ANEXO B: OBTENCIÓN DEL MUCÍLAGO DE LA PENCA DE LA PITAHAYA Y MEDICIÓN DE PARÁMETROS



**ANEXO C: MUCÍLAGO CENTRIFUGADO Y PRECIPITADO EN ALCOHOL AL 96%.**



**ANEXO D: DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA DEL MUCÍLAGO DE LA PENCA DE LA PITAHAYA**



**ANEXO E: DETERMINACIÓN DE GRASA DEL MUCÍLAGO DE LA PENCA DE LA PITAHAYA. (MÉTODO SOXTLER)**



**ANEXO F: PREPARACIÓN DEL BIOPLÁSTICO A PARTIR DE LA PENCA DE LA PITAHAYA**



**ANEXO G: TRATAMIENTOS APLICADOS**



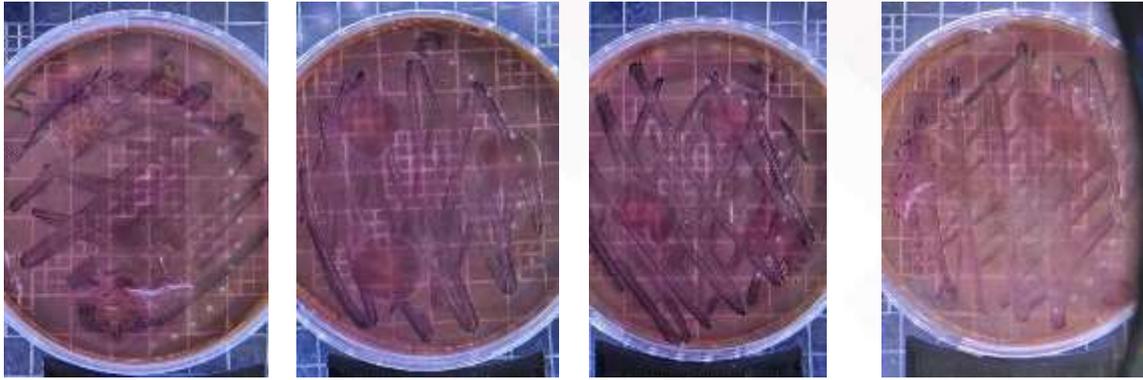
## ANEXO H: OBTENCIÓN DE LAS PELÍCULAS DE BIOPLÁSTICO



## ANEXO I: MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA CON EL TRIAXIAL

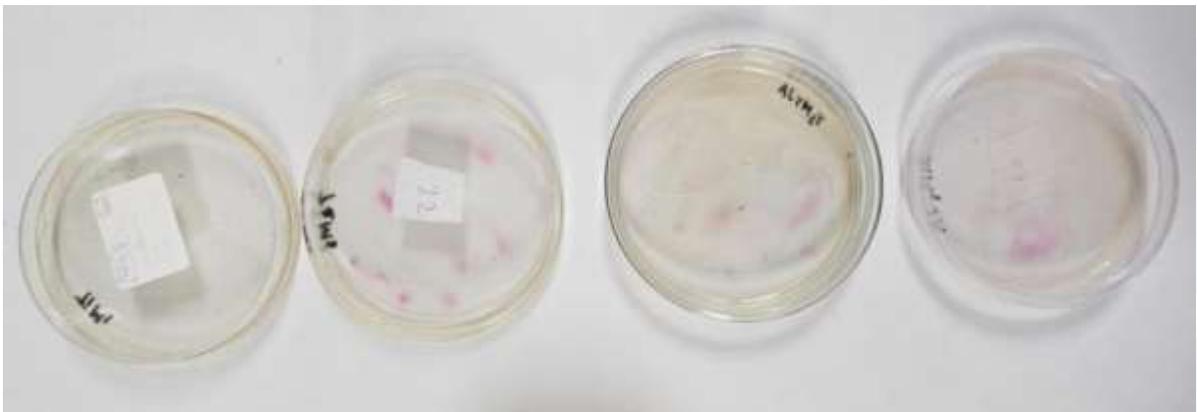


## ANEXO J: CRECIMIENTO DE LA *E. COLI* SOBRE EL BIOPLASTICO



TRATAMIENTO 4    TRATAMIENTO 3    TRATAMIENTO 2    TRATAMIENTO 1

## ANEXO K: CRECIMIENTO DE LA *E. COLI* EN LAS PELÍCULAS DE BIOPLASTICO



# UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

*¡Evolución académica!*

@UNEMIEcuador

