



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y
BIOTECNOLOGÍA**

CARRERA DE ALIMENTOS

Desarrollo de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*).

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención de título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Inés Abigail Galarza Sanabria

Tutor: Ing. Gabriel Alejandro Moreno Toasa MSc

Ambato – Ecuador

Febrero 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

Ing. Gabriel Alejandro Moreno Toasa MSc.

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de la Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 15 de enero del 2024

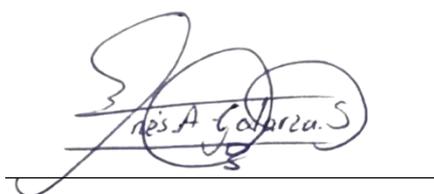
Ing. Gabriel Alejandro Moreno Toasa MSc.

C.I. 150064791-0

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Inés Abigail Galarza Sanabria, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.

A handwritten signature in black ink, written over a horizontal line. The signature is stylized and includes the text 'Inés A. Galarza S.'.

Inés Abigail Galarza Sanabria

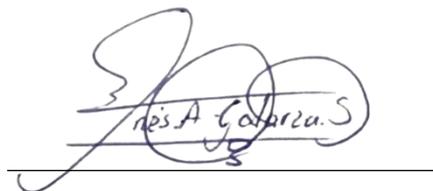
C.I. 180523437-2

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Informe Final del Trabajo de Titulación o parte de él un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final del Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'I' followed by the name 'Inés A. Galarza S.' written in a cursive script. The signature is positioned above a horizontal line.

Inés Abigail Galarza Sanabria

C.I. 180523437-2

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores calificadores, aprueban el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Presidente del Tribunal

Dr. Freddy Geovanny Del Pozo León

C.I. 180244627-6

Dra. Liliana Alexandra Cerda Mejía

C.I. 180414808-6

Ambato, 25 de enero de 2024

DEDICATORIA

A Reinaldo, rey de mi vida e Inés, mi ángel del cielo.

Isabella, Inna, Isra complemento de mi vida

AGRADECIMIENTO

A Dios y la virgencita por regalarme la oportunidad de recorrer este largo camino llamado “vida”, y descubrir cuán importante es disfrutar cada escalón.

A mis padres Reinaldo e Inés+ que siempre han caminado junto a mi sin dejarme caer pese a cualquier adversidad que se nos ha presentado, hace 10 años gané un hermoso ángel en el cielo y un héroe aquí en la tierra que jamás se rindió ante ninguna batalla. Solamente un DIOS LE PAGUE por todo el esfuerzo, dedicación y sobre todo un amor incondicional el cual ha llenado mi corazón y mi vida entera.

A mis dos grandes amores que sin duda alguna fueron mi mayor inspiración Isabella con quien inicié este largo camino y puedo decir lo logramos amor de mi vida y Raphaela quien llegó a completar mi corazón de amor y ternura, cada día trato de ser mejor por ustedes, e Israel gracias por formar parte de este largo trayecto por su apoyo, esfuerzo y trabajo, por esas palabras de apoyo incluidas las habladas para que priorice las cosas jaja le amo bby, a seguir juntos por un futuro de éxitos.

A mis herman@s Reinaldo, Juliana y Erick por jamás dejarme sola pese a las adversidades o diferencias siempre lo hemos superado y continuado, gracias por ser el segundo hogar de mis princesas.

A mis tías Sanabria Verito, Moni, Luquita, Cleito por siempre estar al pendiente y jamás dejarme sola, por ese amor de madre y apoyo incondicional.

A mi querida Sra. Nelly por su cariño y apoyo desinteresado gracias por todo suegrita, y como no a mi amigocha a más de mi cuñada mi amiga.

A la Universidad Técnica de Ambato y la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología por brindarme la oportunidad de formarme en tan noble institución, y ser una profesional de excelencia.

A mis docentes por ser una guía en cada paso, por cada conocimiento o palabra de apoyo impartido por ser parte de este gran logro.

A mi tutor Ing. Gabriel Moreno por la confianza brindada desde el inicio de este gran proyecto.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN EJECUTIVO	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.1.1 Contaminación por plásticos sintéticos	1
1.1.2 Películas Biodegradables	3
1.1.3 Fruta de pan (<i>Artocarpus altilis</i>).....	5
1.1.3 Harina de fruta de pan (<i>Artocarpus altilis</i>)	7
1.2 Objetivos	9
1.2.1 Objetivo General	9
1.2.2 Objetivos específicos.....	9
CAPITULO II	10
METODOLOGÍA	10
2.1 Materia prima	10

2.2. Formulación de biopelículas utilizando diferentes proporciones de harina de fruta de pan (<i>Artocarpus altilis</i>) y glicerol como plastificante natural.	11
2.2.1 Diseño experimental de formulaciones biopelículas.....	12
2.2.2 Desarrollo biopelículas degradable	13
2.3 Analizar propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas de las biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (<i>Artocarpus altilis</i>).....	13
2.3.1 Contenido de humedad (%H).....	14
2.3.2 Espesor	14
2.3.3 Prueba de punción (N).....	14
2.3.4 Permeabilidad al vapor de agua (PVA)	15
2.3.5 Solubilidad de las películas (%S).....	16
2.3.6 Resistencia al agua	16
2.3.8 Color.....	17
2.3.9 Barreras de la luz y transparencia (UV-VIS).....	17
2.4 Evaluación de la degradabilidad de las biopelículas bajo condiciones controladas en el suelo	17
2.4.1 Ensayo enterrado	17
2.4.2 Porcentaje de Materia seca	18
2.4.3 Caracterización inicial del suelo en el proceso de biodegradación	19
CAPÍTULO III.....	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
3.1 Biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (<i>Artocarpus altilis</i>) y glicerol como plastificante natural.	20
3.2 Propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas de las biopelículas degradables.	21
3.2.1 Contenido de materia seca y humedad	21
3.2.2 Espesor de las biopelículas	23
3.2.3 Prueba de punción (N)	25

3.2.4 Permeabilidad al vapor de agua (PVA).....	27
3.2.5 Solubilidad de las biopelículas (%S)	32
3.2.6 Resistencia al agua.....	34
3.2.7 Color	38
3.2.8 Barreras de la luz y transparencia (UV-VIS)	40
3.3 Biodegradación	42
3.3.1 Ensayo de enterrado.....	42
3.3.2 Porcentaje de materia seca (%MS)	46
3.3.3 Contenido de nitrógeno total en el suelo	47
CAPÍTULO IV.....	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
Conclusiones	49
Recomendaciones	50
MATERIALES DE REFERENCIA.....	51
Anexos.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	6
<i>Composición Nutricional Fruta de pan (Artocarpus altilis) (g/100 g)</i>	6
Tabla 2	8
<i>Composición Nutricional de la harina de fruta de pan (Artocarpus altilis)</i>	8
Tabla 3	12
Diseño experimental bifactorial para la elaboración de biopelículas degradables a partir de la harina de fruta de pan (<i>Artocarpus altilis</i>)	12
Tabla 4	18
<i>Condiciones climáticas durante el ensayo de biodegradación</i>	18
Tabla 5	22
<i>Porcentaje del contenido materia seca y de humedad obtenidos de los tratamientos de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan y muestra control (PEBD)</i>	22
Tabla 6	24
<i>Espesor (mm) de las películas biodegradables a partir de harina de fruta de pan y muestra control (PEBD)</i>	24
Tabla 7	27
<i>Valores de fuerza aplicada a la punción (N) de las películas biodegradables a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis) y muestra control (PEBD)</i>	27
Tabla 8	29
<i>Valores de Permeabilidad al vapor de agua de las películas biodegradables a partir de harina de fruta de pan y muestra control (PEBD)</i>	29

Tabla 9.	33
<i>Resultados obtenidos para solubilidad de los tratamientos.</i>	33
Tabla 10.	35
<i>Resistencia al agua de biopelículas degradables A0B0 (T1) a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis.) (2.5 %) y glicerol (2.5 %).</i>	35
Tabla 11.	35
<i>Resistencia al agua de biopelículas degradables A0B1 (T2) a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis.) (2.5 %) y glicerol (5 %).</i>	35
Tabla 12.	36
<i>Resistencia al agua de biopelículas degradables A1B0 (T3) a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis.) (5 %) y glicerol (2,5 %).</i>	36
Tabla 13.	36
<i>Resistencia al agua de biopelículas degradables A1B1 (T4) a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis.) (5 %) y glicerol (5 %).</i>	36
Tabla 14.	36
<i>Resistencia al agua de biopelículas degradables A2B0 (T5) a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis.) (7.5 %) y glicerol (2.5 %).</i>	36
Tabla 15.	37
<i>Resistencia al agua de biopelículas degradables A2B1 (T6) a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis.) (7.5 %) y glicerol (5 %).</i>	37
Tabla 16.	37
<i>Resistencia al agua de un plástico transparente PEBD (Control).</i>	37

Tabla 17.	41
<i>Porcentaje de transparencia de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis) y muestra control (PEBD).</i>	41
Tabla 18.	42
<i>Caracterización del suelo inicial para la biodegradación.</i>	42
Tabla 19.	44
<i>Condiciones climáticas durante el ensayo de biodegradación</i>	44
Tabla 20.	48
<i>Porcentaje de transparencia (T %) de bioplásticos degradables a partir de la harina de fruta de pan (Artocarpus altilis.) y muestra control.2</i>	48

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** *Fruta de pan (Artocarpus altilis). A: Fruto inmaduro (verde) y maduro con semillas; B: harina de fruta de pan. Fuente: (Cabrera & Castillo, 2018)..... 6*
- Figura 2.** *Diagrama de proceso de elaboración de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis). Elaborado por: Galarza S. Inés..... 10*
- Figura 3.** *Diagrama de proceso de elaboración de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis) y glicerol como plastificante natural. Elaborado por: Galarza S. Inés 11*
- Figura 4.** *Biopelículas degradables obtenidas a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis) y glicerol. A: solución filmogénica en caja Petri; B: película biodegradable T3 (5% harina 2.5% glicerol). Elaborado por: Galarza S. Inés.....20*
- Figura 5.** *Análisis de espesor en biopelículas degradables obtenidas a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis) y glicerol. A: micrómetro manual (0-25 mm); B: 15 mediciones en biopelículas degradables. Elaborado por: Galarza S. Inés 23*
- Figura 6.** *Prueba de punción para biopelículas degradables obtenidas a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis) y glicerol. A: texturómetro (Brookfield CT3); B: análisis de punción previo a rotura; C: rompimiento de la biopelícula. Elaborado por: Galarza S. Inés 25*
- Figura 7.** *Fuerza (N) aplicada en un determinado tiempo (s), en biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis) y muestra control (PEBD). T1: 2,5% harina y glicerol al 2,5% (turqueza); T2: 2,5% harina y glicerol al 5% (lila); T3: 5% harina y glicerol 2,5% (amarillo); T4: 5% harina y glicerol al 5% (naranja); T5: 7,5% harina y glicerol al 2,5% (verde); T6: 7,5% harina y glicerol al 5% (azul); Control: plástico transparente (PEBD) (rojo). Elaborado por: Galarza S. Inés 26*
- Figura 9.** *Aumento de peso en PVA de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis) A: T1 2,5% harina y glicerol al 2,5%; B: T2 2,5% harina y glicerol al 5%; C: T3 5% harina y glicerol al 2,5%; D: T4 5% harina y*

glicerol al 5%; E: T5 7,5% harina y glicerol al 2,5%; F: T6 7,5% harina y glicerol al 5%; G: control plástico transparente (PEBD). **Elaborado por:** Galarza S. Inés 30

Figura 10. Solubilidad de biopelículas biodegradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y muestra control (PEBD). A: muestras de biopelículas de 4 cm²; B: proceso de solubilidad de cada tratamiento; C: secado de las muestras luego del filtrado. **Elaborado por:** Galarza S. Inés 32

Figura 11. Resistencia al agua de películas biodegradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y muestra control (PEBD). A: inicio del proceso de resistencia; B: después de 48h los restos de las biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y glicerol. **Elaborado por:** Galarza S. Inés 34

Figura 12. Parámetros de color en películas biodegradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y muestra control (PEBD). L*: (Luminosidad del bioplástico); a*: (coordenadas de tonalidad rojo/verde); b*: (coordenadas de tonalidad amarillo/azul); c*: (saturación o intensidad de color) y ΔE : (variación total del color). **Elaborado por:** Galarza S. Inés..... 39

Figura 13. Proceso de biodegradación. A: maceta+ suelo inicial; B: incorporación de malla separadora; C: biopelícula degradable a partir de harina de fruta de pan sobre malla y suelo; D: enterrado de biopelícula degradable; E: proceso de biodegradación (30 días). **Elaborado por:** Galarza S. Inés..... 43

Figura 14 Proceso de biodegradación de las biopelículas a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) desde el día 0 hasta el día 30. **Elaborado por:** Galarza S. Inés 45

Figura 15. Resultados gráficos de pérdida de peso de las biopelículas de harina de fruta de pan y control PEBD durante 30 días. T1: 2,5 % harina y glicerol al 2,5% (turquesa); T2: 2,5% harina y glicerol al 5% (lila); T3: 5% harina y glicerol 2,5% (amarillo); T4: 5% harina y glicerol al 5% (naranja); T5: 7,5% harina y glicerol al 2,5% (verde); T6: 7,5% harina y glicerol al 5% (azul); Control: plástico transparente (PEBD) (rojo). **Elaborado por:** Galarza S. Inés 47

RESUMEN EJECUTIVO

La investigación sobre el desarrollo de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) reviste una importancia crucial en el contexto actual de preocupación ambiental y sostenibilidad. Con el creciente problema de contaminación plástica, las biopelículas ofrecen una alternativa prometedora y eco amigable. La harina de fruta de pan, una fuente natural abundante, se presenta como un recurso valioso para la fabricación de estos filmes biodegradables, proporcionando una solución sostenible para mitigar el impacto ambiental negativo de los plásticos convencionales.

En cuanto a la metodología, el proceso de desarrollo de biopelículas a partir de harina de fruta de pan implica la extracción y procesamiento de la harina para obtener los componentes adecuados. La mezcla resultante se utiliza para formar películas biodegradables mediante técnicas específicas. La investigación aborda la optimización de estos procesos con el uso de glicerol como plastificante natural, evaluando propiedades como la resistencia mecánica, la degradabilidad y la capacidad de barrera de las biopelículas.

La investigación destaca el éxito en la obtención de biopelículas degradables utilizando harina de fruta de pan y glicerol mismas que exhiben propiedades mecánicas y de barrera adecuadas, sugiriendo su potencial aplicación en envases y productos similares. Además, la degradabilidad de las biopelículas abre la puerta a soluciones más sostenibles para el problema de los residuos plásticos. En conjunto, los resultados respaldan la viabilidad y la importancia de utilizar la harina de fruta de pan en la fabricación de biopelículas como una alternativa prometedora en la lucha contra la contaminación plástica.

Palabras clave: gestión ambiental, sostenibilidad ambiental, biodegradabilidad, películas biodegradables, biopolímeros, fruta de pan

ABSTRACT

Research on the development of degradable biofilms from breadfruit flour (*Artocarpus altilis*) is of crucial importance in the current context of environmental concern and sustainability. With the growing problem of plastic pollution, biofilms offer a promising and eco-friendly alternative. Breadfruit flour, an abundant natural source, is presented as a valuable resource for the manufacture of these biodegradable films, providing a sustainable solution to mitigate the negative environmental impact of conventional plastics.

Regarding the methodology, the process of developing biofilms from breadfruit flour involves the extraction and processing of the flour to obtain the appropriate components. The resulting mixture is used to form biodegradable films using specific techniques. The research addresses the optimization of these processes with the use of glycerol as a natural plasticizer, evaluating properties such as mechanical resistance, degradability and barrier capacity of biofilms.

The research highlights the success in obtaining degradable biofilms using breadfruit flour and glycerol that exhibit adequate mechanical and barrier properties, suggesting their potential application in packaging and similar products. Furthermore, the degradability of biofilms opens the door to more sustainable solutions to the problem of plastic waste. Taken together, the results support the feasibility and importance of using breadfruit flour in biofilm manufacturing as a promising alternative in the fight against plastic pollution.

Keywords: environmental management, environmental sustainability, biodegradability, biodegradable films, biopolymers, breadfruit

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Contaminación por plásticos sintéticos

Los plásticos son la principal causa de contaminación ambiental que se derivan del petróleo y gas natural (recursos naturales no renovables); formados mediante procesos químicos (polimerización) siendo los hidrocarburos su materia prima principal. La composición específica de los plásticos es diferente de acuerdo al aditivo y tipo del polímero utilizado en su fabricación (Arcos & Marín, 2021). Los polímeros más utilizados son: polietileno de alta densidad (HDPE), el polietileno de baja densidad (LDPE), el policloruro de vinilo (PVC), el poliestireno (PS), el polipropileno (PP) y el polietileno tereftalato (PET) (Rojo & Montoto, 2018); en el caso del polietileno de baja densidad (PEBD) el cual posee cadenas largas de unidades de etileno lo que le aporta a su estructura flexibilidad permitiendo que se adapte a la superficie, es por ello que se utiliza en ciertos envases, bolsas de plástico, películas de embalaje, entre otros (Zambrano, Latorre, & Carrillo, 2022).

Los residuos plásticos son de limitada degradación y su producción excesiva genera un alto impacto ambiental (Katherine, Yuribeth, Génesis, & Samudio, 2019) como: contaminación del agua, suelo, aire, flora y fauna, deteriorando el entorno natural ya que al no reutilizar ni reciclar los residuos éstos son transportados mediante lluvias o animales (aves) hacia los océanos y al estar dentro del entorno marino se enfrentan a condiciones variables como: temperatura, salinidad, radiación UV y fuerza mecánica de la marea, dando lugar a la formación de los macro (>5mm) o micro plásticos debido a su diminuto tamaño (<5mm) (García, 2019). Los micro plásticos generados por la incorrecta eliminación de los plásticos pueden acumularse en organismos acuáticos y trasladarse a la cadena alimenticia dando paso a que lleguen al consumidor (ser humano) ya que se ha identificado en alimentos como mariscos, sal marina, agua embotellada, entre otros (Elías, 2018).

Además, tienen la capacidad de servir como agentes de transporte para compuestos químicos. Estos compuestos pueden ser de dos tipos: a) aquellos directamente asociados con la fabricación de plásticos para conferirles propiedades específicas, como aditivos (por ejemplo, ftalatos que otorgan maleabilidad, el Bisfenol A, retardantes de llama, antimicrobianos, y agentes antioxidantes como nonilfenoles); o b) metales pesados y contaminantes orgánicos hidrófobos (COHs) que se adsorben en los micro plásticos, como cobre, zinc, plomo, etc. Éstos compuestos tienden a concentrarse en polímeros plásticos como PVC, polietileno o poliestireno; se han identificado en el océano, lo que sugiere que los micro plásticos podrían ser una fuente potencial de contaminación para el medio ambiente y la vida marina. Estos aditivos y COHs tienen el potencial de interferir con procesos biológicos fundamentales, pudiendo actuar como disruptores endocrinos y afectar la movilidad, reproducción, desarrollo, así como los sistemas neurológicos e inmunológicos, o incluso presentar efectos carcinogénicos (Rojo & Montoto, 2018).

Por otro lado, en cuanto al aire este se contamina al momento de producir los plásticos y también durante su incineración ya que provocan la emisión de gases de efecto invernadero como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), monóxido de carbono (CO) (Portilla, 2022), estar expuestos a este tipo de gases provoca efectos negativos en la salud del ser humano ocasionando problemas respiratorios, cardiovasculares incluso enfermedades respiratorias a largo plazo (Elías, 2018).

Además, presentan una vida útil prolongada de 55 a más de 500 años de acuerdo al tipo de plástico (García, 2019). En las últimas décadas el uso de plásticos sintéticos se ha elevado de forma significativa, se conoce que al año en todo el mundo son producidas alrededor de 380 millones de toneladas de plástico (Buteler, 2019) de lo cual el 9% se recicla, aproximadamente el 12% se incinera y el 79% se incrementa contaminando el ecosistema ya que se va acumulando en basureros, desagües, ríos e incluso ya llegan al océano (García, 2019). En el Ecuador el consumo de plástico es de 20 kg per cápita, en comparación con Perú y Colombia es menor ya que estos países tienen un consumo de 30 kg y 24 kg respectivamente; cada habitante ecuatoriano produce un promedio de 0,58 kg al día de residuos sólidos. Además, se estima que alrededor del 79% de plástico que ha sido producido desde los años 50, ahora forma parte de los residuos plásticos que se encuentran en vertederos o en medio de la

naturaleza (Riera & Palma, 2018); demostrando que es necesario de una alternativa sostenible que limite o reduzca la cantidad de plástico que se produce como podría ser el desarrollo de biopelículas degradables a partir de fuentes naturales las cuales sean amigables para el medio ambiente.

Finalmente, el ser humano mantiene como una necesidad principal su alimentación e hidratación en la actualidad, ésta responsabilidad recae en la industria alimentaria ya que este sector desempeña un papel importante el cual incorpora al plástico (Arcos & Marín, 2021), material que posee características específicas tales como: protección, transparencia, flexibilidad, durabilidad y resistencia como recubrimiento, envase y embalaje de productos de origen animal y vegetal provenientes de la agricultura, cría, ganadería y pesca los cuales son transformados y distribuidos como alimentos para el consumo de la población; cabe considerar que el alimento tiene la capacidad de absorber las sustancias nocivas para el consumidor especialmente cuando estos se someten a un proceso de calentamiento a altas temperaturas lo que representa un riesgo de salud (Avellán et al., 2020).

1.1.2 Películas Biodegradables

Las películas biodegradables se refieren a láminas finas que se elaboran a partir de 3 componentes principales: un polímero natural (almidón), disolvente (agua) y plastificante natural (glicerol) (Solano, Alamilla, & Jiménez, 2018). A pesar de existir diferentes técnicas de elaboración la más común es mediante el método de casting en el cual se disuelven los componentes de la película para posteriormente exponer a cierta temperatura (80-90 °C) de reacción del polímero y finalmente evaporar el disolvente a temperatura controlada (60°C) (Avellán et al., 2020). Su principal característica es su biodegradabilidad ya que al ser parte de una matriz orgánica poseen la capacidad para transformarse y deteriorarse por acción de microorganismos de forma natural y segura (Velasco et al., 2022).

Además, desempeñan un papel crucial en la preservación de la textura y firmeza de los alimentos que cubren ya que previenen la pérdida o ganancia de humedad (Mederos, Bernabé, & Ramírez, 2020). Así mismo, cumplen un rol significativo en retrasar cambios químicos, como alteraciones en el aroma, valor nutricional y aroma actuando como barrera contra la transferencia de gases el cual a su vez, impacta

significativamente en la estabilidad química y microbiológica de los alimentos, simultáneamente que protege contra daños mecánicos derivados de la manipulación (Solano, Alamilla, & Jiménez, 2018). También, pueden funcionar como un sistema pequeño que modifica las condiciones gaseosas que rodean y afectan dentro del entorno de productos vegetales, siendo una alternativa efectiva para la conservación de productos hortofrutícolas frescos al reducir de manera notable la pérdida de peso, contenido de agua e intercambio de gases. En consecuencia, contribuye al retraso del envejecimiento y a la mejora de la calidad sensorial de estos productos (Hernández, Guillén, Bautista, & Guillen S, 2018).

Por otro lado, uno de los biopolímeros naturales abundante es el almidón se caracteriza por ser una opción económica, renovable y biodegradable. Después de la celulosa es el más común presente en estructuras vegetales como frutas, semillas, tubérculos y hojas; insoluble en agua fría debido a interacciones de cadenas de glucosa su tamaño es mínimo (1-100 μm), está compuesto por amilosa (15-35 %) y amilopectina (65-85%) las cuales poseen una estructura lineal y ramificada, respectivamente (Muñoz, Salaris, López, & Peponi, 2022). Posee diversas aplicaciones funcionales una de ellas se centra en la elaboración de películas biodegradables ya que, al ser un compuesto abundante, en la naturaleza, este debe ser modificado para generar propiedades de barrera y mecánicas sin elevar ningún costo de producción (Alcides et al., 2015).

Estas biopelículas, son productos que pueden competir en el mercado ya que se consideran biodegradables, es decir, poseen la capacidad para transformarse, rompiendo su estructura con facilidad y deteriorarse en un periodo corto de tiempo. Se conocen diversos métodos para que un material pueda degradarse, sin embargo, la exposición al suelo es el más recomendado, es así que se hace pruebas en el suelo (In situ) simulando un ambiente propicio para su degradación. (Muñoz, Salaris, López, & Peponi, 2022). De manera diferente, las matrices poliméricas son una estructura en 3 dimensiones que permiten la liberación controlada de sustancias químicas provenientes de plantas, microorganismos, alimentos u otras fuentes beneficiosas para la salud del ser humano, tal es el caso de las biopelículas producidas a partir de harinas que presentan un coeficiente de difusión altamente significativo que coopere en el movimiento y transporte de la sustancia de interés (Ishizawa & Nakamatsy, 2020). Por otro lado, la acción de los microorganismos presentes en el biofilm es de vital

importancia ya que de estos depende la degradación en materia más simple (Avellán et al., 2020); Sin embargo, existen diversas investigaciones que demuestran que dicha acción microbiana depende del tipo de biomolécula, es decir, cuando se trabaja con harinas de distintos carbohidratos como papa, arroz o yuca se procesan plásticos biodegradables de mejor calidad y eficiencia (López, Cerón, Osorio, Checa, & Villada, 2017).

Finalmente, en la industria alimentaria, las matrices poliméricas son sistemas en los que se utilizan polímeros como parte fundamental para encapsular y liberar de manera controlada ingredientes y aditivos en productos comestibles (Alcides et al., 2015). Estas matrices se aplican para salvaguardar y distribuir ingredientes delicados, tales como: sabores, nutrientes, vitaminas, antioxidantes, agentes antimicrobianos y otros, con el propósito de mejorar la calidad, seguridad y funcionalidad de los alimentos, contribuyendo así a la innovación y al desarrollo de nuevos productos alimenticios (Mera, 2022).

1.1.3 Fruta de pan (*Artocarpus altilis*)

La fruta de pan (*Artocarpus altilis*) es una fruta nutritiva y valiosa originaria del sudeste asiático la cual se ha extendido y cultivado en varias regiones tropicales de todo el mundo, en Ecuador se produce en la Costa y Oriente, regiones cálidas para su cultivo. Los árboles son grandes (15-20m) de hojas verdes con una nervadura central y venas principales (Ragone, 2018). Lo más importante de sus frutos de forma ovalada (12-20 de diámetro), corteza espinosa la cual posee una pulpa fibrosa de color blanco cremoso o amarillo pálido en la cual se incluyen sus semillas marrones, oblongas poco aplanadas que contiene una cáscara tipo leñosa que ofrece protección (Mera, 2022).



Figura 1. Fruta de pan (*Artocarpus altilis*). A: Fruto inmaduro (verde) y maduro con semillas; B: harina de fruta de pan. **Fuente:** (Cabrera & Castillo, 2018)

Tabla 1

Composición Nutricional Fruta de pan (Artocarpus altilis) (g/100 g).

Componente	Cantidad	
	Semilla	Pulpa
Humedad	35,1-56,8	62,7-89,2
Proteínas	5,25-13,3	1,3-2,24
Grasas	2,59-5,59	0,1-0,86
Cenizas	1,5 – 5,58	0,56 – 1,2
Carbohidratos	30,8 – 44,0	21,5-29,5
Fibra	1,34-2,14	1,08-2,1

Fuente: (Cabrera & Castillo, 2018)

Debido a su alto contenido en carbohidratos y minerales como calcio, hierro, fósforo y vitamina C, es un alimento que se utiliza para diversos fines. En la actualidad, se producen harinas a partir de la fruta las cuales permiten obtener subproductos tales como: galletas, cupcakes, muffins, barras energéticas, entre otros e incluso se ha probado que la fruta de pan se utiliza para fines medicinales para controlar a través de sus compuestos activos dolores de cabeza e incluso puede reducir la presión arterial y diabetes (Trejo et al., 2001).

Finalmente, la fruta de pan (*Artocarpus altilis*) se ha investigado como una fuente potencial de biopelículas degradables al ser una fuente natural de almidón en su harina. Estas biopelículas son recursos sostenibles que ofrecen beneficios ambientales al ser biodegradables y tienen aplicaciones en envases y otros campos, contribuyendo así a la reducción de los desechos plásticos no biodegradables (Mera, 2022).

1.1.3 Harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*)

En el Ecuador, existe un gran número de especies vegetales de la región amazónica que se encuentran desaprovechadas como lo es la fruta de pan, su producción en el país es por temporadas (meses de junio- septiembre) se puede cosechar, esto tiende a depender de su zona de producción y se puede encontrar en otros lugares de la amazonia y costa ecuatoriana. Su producción puede llegar a ser abundante, pero al no ser conocida este alimento, no es aprovechado en su totalidad ya que es utilizada como alimento para animales (Cabrera & Castillo, 2018).

El proceso de elaboración de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) inicia desde la recepción de la materia prima, para poder lavar, desinfectar y clasificar de acuerdo a su tamaño y madurez, se pela eliminando toda la cáscara y se procede a pesar una vez ya se tenga todo, se seca a una temperatura de 40-50°C por 8 horas aproximadamente; una vez libre de agua se muele y se almacena herméticamente para su posterior uso (Cabrera & Castillo, 2018).

La harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) contiene un color blanco de varias tonalidades, hasta alcanzar un tono amarillento, también tiene un olor ligeramente dulce característico de la fruta sin presentar rancidez, presenta un sabor dulce con una textura granular fina y una consistencia de un polvo después del tamizado eliminando los gránulos gruesos (Yaguache, 2021). Tiene un alto rendimiento porcentual 17,9% a comparación de otras harinas vegetales como: yuca, plátano, arroz, entre otras; Finalmente, es una fuente importante de nutrientes al tener valores significativos de calcio, niacina, potasio y hierro. Se conoce que el almidón es uno de los componentes principales de la harina de fruta de pan, por ende, es una fuente alta en carbohidratos, se estima que la cantidad de almidón comprende entre 70-80% por lo que es una buena opción para aquellos que necesitan que el índice de carbohidratos sea mayor convirtiendo dicha harina en una alternativa nutritiva (Cabrera & Castillo, 2018).

Tabla 2.*Composición Nutricional de la harina de fruta de pan (Artocarpus altilis)*

Componente	Cantidad (%)
Humedad	7,78
Proteína	3,79
Grasa	1,09
Ceniza	2,10
Fibra bruta	5,78
Carbohidratos	79,46

Fuente: (Adepeju, Gbadamosi, Adeniran, & Omobuwalo, 2011)

Por último, estos bioplásticos son películas delgadas y flexibles hechas de materiales biodegradables que tienen una variedad de aplicaciones, desde envases hasta productos médicos. En el caso de la fruta de pan (*Artocarpus altilis*), su harina se extrae y se utiliza para crear biopelículas que son biodegradables y respetuosas con el medio ambiente (Arévalo et al., 2017.). Estas biopelículas de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) son prometedoras debido a su capacidad para degradarse en el medio ambiente, reduciendo así la acumulación de desechos plásticos no biodegradables. Además, son seguras para su uso y consumo en aplicaciones alimentarias ya que ayudan a prolongar la vida útil de algunos alimentos (Alcides et al., 2015). Es por ello que estos bioproductos creados sirven como una alternativa a la sustitución de plásticos sintéticos mejorando sustancialmente las condiciones medio ambientales. Generando a futuro propuestas en cuanto a legislación ambiental competentes; para que estas películas puedan ser creadas de forma industrial y así contrarrestar los efectos ambientales que ocasionan el utilizar plásticos convencionales, explotando los recursos naturales renovables y brindando alternativas de uso eco amigable con el medio ambiente.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Desarrollar biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*).

1.2.2 Objetivos específicos

- Formular biopelículas utilizando diferentes proporciones de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y glicerol como plastificante natural.
- Analizar propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas de las biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*).
- Evaluar la degradabilidad de las biopelículas bajo condiciones controladas en el suelo.

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materia prima

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), la fruta fue obtenida en el cantón Tena de la provincia Napo de la Región Amazónica, y la harina se obtuvo mediante el método descrito por (Cabrera & Castillo, 2018). Además, como plastificante natural se utilizó glicerol el cual se adquirió en la distribuidora La Casa del Químico de la ciudad de Ambato de la provincia de Tungurahua.

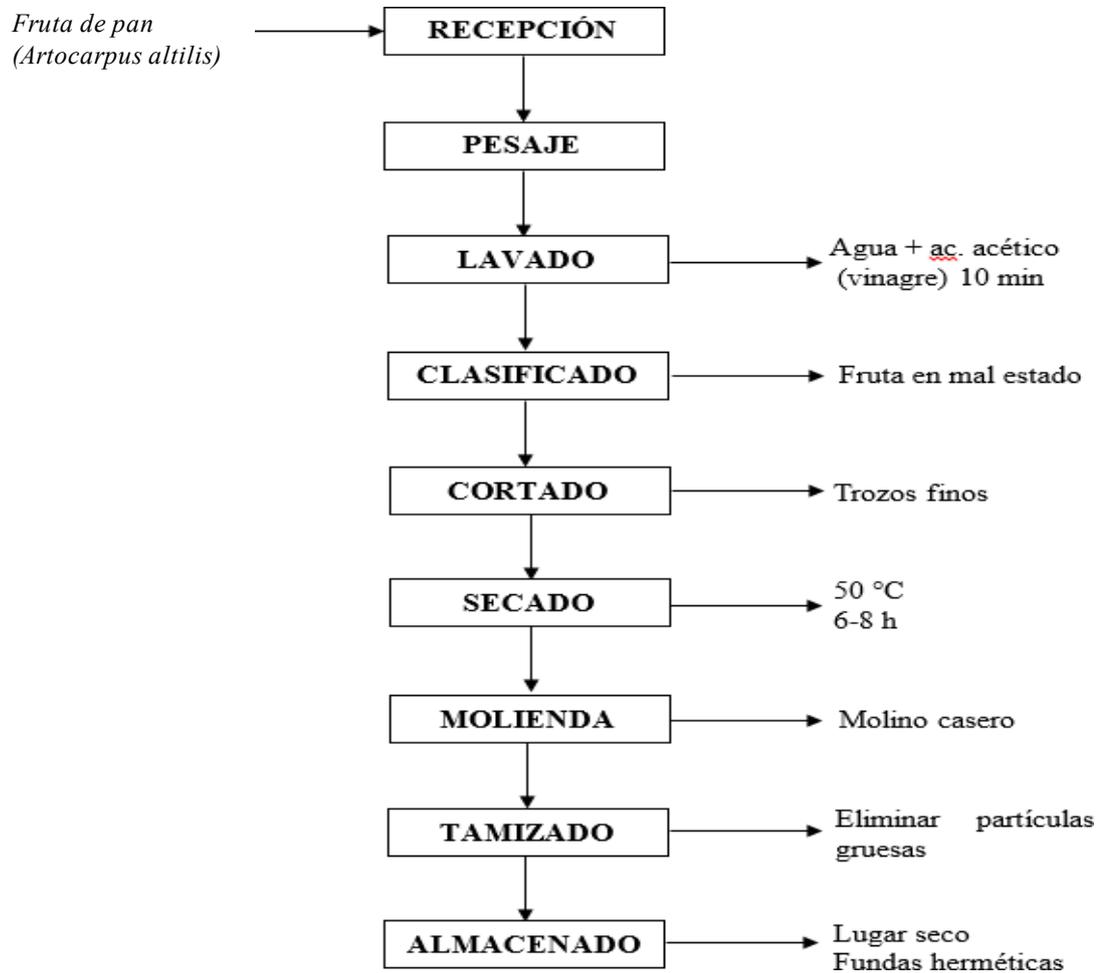


Figura 2. Diagrama de proceso de elaboración de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*). Elaborado por: Galarza S. Inés

2.2. Formulación de biopelículas utilizando diferentes proporciones de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y glicerol como plastificante natural.

Una vez obtenida la harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) mediante el método descrito por (Cabrera & Castillo, 2018), se elaboraron las biopelículas degradables siguiendo la metodología establecida por (Solano, Alamilla, & Jiménez, 2018), al utilizar la técnica conocida como modelo de casting en monocapa (drop casting). Este proceso de casting se dio al verter un material líquido o fundido en un molde plano de plástico y permitir que se endurezca (a través de secado) y tome su forma. Luego, la lámina delgada resultante se retiró del molde para su posterior procesamiento y aplicación. La creación y caracterización de estas biopelículas se llevaron a cabo en los laboratorios académicos e investigativos y en el laboratorio LACONAL, ubicados en la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

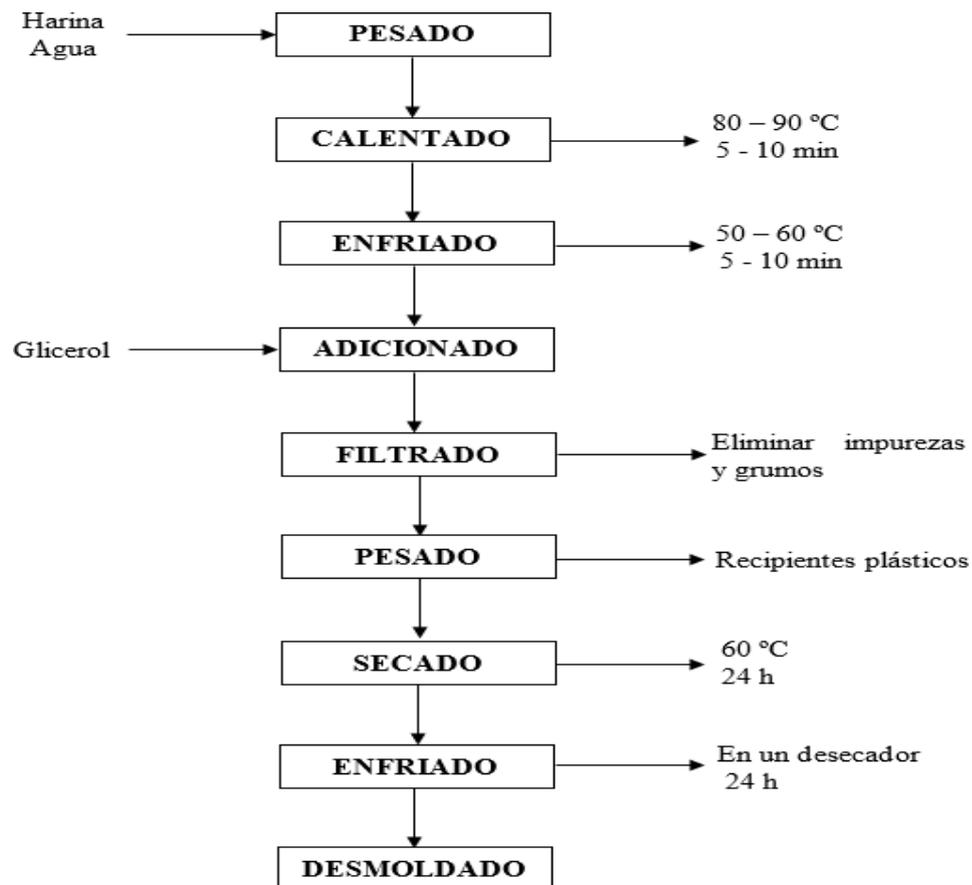


Figura 3. Diagrama de proceso de elaboración de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y glicerol como plastificante natural.

Elaborado por: Galarza S. Inés

2.2.1 Diseño experimental de formulaciones biopelículas

Para los tratamientos de obtención de las biopelículas degradables con la harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) se utilizó un diseño experimental A*B bifactorial el cual se indica en la tabla 2, para poder iniciar la investigación, además, se utilizó una funda plástica transparente (PEBD) como muestra control, ya que este tipo de materia es utilizado en el transporte, embalaje o almacenamiento de alimentos (Acosta, Contreras, & Pedraza, 2023).

Tabla 3.

Diseño experimental bifactorial para la elaboración de biopelículas degradables a partir de la harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*).

Factores	Niveles	Diseño experimental AxB	Tratamientos	
A: Harina de fruta de pan (<i>Artocarpus altilis</i>)	A ₀ :2,5% de harina de fruta de pan	A ₀ B ₀	T ₁ : 2,5% de harina con 2,5% de glicerol	
	A ₁ :5% de harina de fruta de pan	A ₀ B ₁	T ₂ : 2,5% de harina con 5% de glicerol	
	A ₂ :7,5% de harina de fruta de pan	A ₁ B ₀	T ₃ : 5% de harina con 2,5% de glicerol	
		A ₁ B ₁	T ₄ : 5% de harina con 5% de glicerol	
	B: Glicerol	B ₀ : 2,5% de glicerol	A ₂ B ₀	T ₅ : 7,5% de harina con 2,5% de glicerol
		B ₁ : 5% de glicerol	A ₂ B ₁	T ₆ : 7,5% de harina con 5% de glicerol
Control		C	T ₇ : Bolsa plástica transparente PEBD (polietileno de baja densidad)	

Elaborado por: Galarza S. Inés

2.2.2 Desarrollo biopelículas degradable

De acuerdo al diseño experimental especificado en la tabla 2, se pesaron 2.5%, 5% y 7.5% de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) mediante una balanza de precisión (Citizen CG 1202) y se diluyó en agua destilada en relación al porcentaje, toda la disolución se calentó a temperatura de ebullición (80-90°C) mediante una plancha de calentamiento, manteniendo en agitación constante en un tiempo de 5-10 minutos y se obtuvo la solución filmogénica con una consistencia moderadamente espesa (Arévalo et al., 2010).

A continuación, se disminuyó la temperatura hasta alcanzar los 60°C, posteriormente se añadió glicerol en diferentes concentraciones de su peso en relación con la solución filmogénica total (>50%) del plastificante natural como se mencionó en la tabla 2; para alcanzar completa solubilización, se filtró la mezcla y se sumergió en ultrasonido durante 15 minutos para eliminar burbujas. Las películas se desarrollaron por el método "casting", motivo por el cual se pesaron 25 gramos de solución filmogénica, dentro de una caja Petri plástica, y posterior se secó en una incubadora (Memmert) a 60°C, durante 12 horas aproximadamente (Moreno, 2015). Finalmente, se humectaron las biopelículas para generar elasticidad en ellas colocándolas durante 4 horas en un desecador con una solución salina (NaCl).

2.3 Analizar propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas de las biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*)

Propiedades fisicoquímicas

La evaluación de las propiedades fisicoquímicas de las biopelículas degradables es esencial para garantizar la seguridad alimentaria, conservación de productos, compatibilidad con diferentes alimentos, sostenibilidad, biodegradabilidad, adecuación a procesos de envasado, identificar aplicaciones potenciales y la innovación en el desarrollo de nuevos materiales sostenibles y respetuosos con el medio ambiente (Pereda et al., 2014).

2.3.1 Contenido de humedad (%H)

Se determinó el contenido de agua dentro de las películas mediante el método de secado establecido por la A.O.A.C (Asociación Oficial de Químicos Analistas) lo cual se realizó por secado utilizando alrededor de 1.5-2.0 g de muestra en una estufa al vacío (Hasuc) a 110°C por un tiempo de 24 horas y se presentó como porcentaje del peso total la cantidad de agua que se obtuvo (Crespo, 2002). Esta determinación se realizará por triplicado.

2.3.2 Espesor

Con un micrómetro (Whale Brand, USA) se midió por triplicado el espesor de las biopelículas en 15 localizaciones elegidas al azar (Moreno, 2015), se realizó por triplicado para obtener datos más precisos.

Propiedades mecánicas

Son características significativas de las biopelículas las cuales ofrecen información sobre cómo se relacionan con fuerzas aplicadas y su respuesta correspondiente de cambio. Por lo tanto, es esencial comprender las características del material antes de someterlo a alteraciones que puedan comprometer su estructura (Vélez, Zambrano, Delgado, Burgos, & Cedeño, 2021).

2.3.3 Prueba de punción (N)

Se realizaron las pruebas por triplicado utilizando un analizador de textura (Brookfield CT3), el cual se controló con el programa TexturePro CT VL.2 Build 9 para la configuración de las características de análisis; se realizó la evaluación en un área aproximada de 10000 mm² de las biopelículas las cuáles se fijaron en una base cuadrada (elemento TA-DE) de 100 cm² con una abertura en el centro de 6 cm de diámetro, hasta el punto de rotura, se utilizó un émbolo redondeado (esfera) (sonda TA23) de 5 mm fabricado de acero inoxidable, a una velocidad de 1.70 mm/seg (Moreno, 2015). Esta determinación se realizará por triplicado en el laboratorio de LACONAL en la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

2.3.4 Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

Este análisis se determinó por duplicado, el cual se encuentra descrito por Suárez & Jetzy (2019), donde a una temperatura ambiente (21-25°C) se llenó un desecador con agua destilada, para alcanzar el 100% de humedad relativa dentro del sistema. Posteriormente se llenaron frascos plásticos con aproximadamente 50 g de gel de sílice seca (sólido azul) y la parte superior en la tapa con un orificio de diámetro (3 cm) se colocaron las películas biodegradables obtenidas en cada uno de los tratamientos.

Las muestras se pesaron en una balanza de precisión (Mettler Toledo) cada 10 minutos, por al menos 2 horas, el paso del vapor de agua a través de las biopelículas fue por el gel de sílice; de esta manera se puede calcular la permeabilidad al vapor de agua en esta investigación. Además, la permeabilidad al vapor de agua se calculó siguiendo la ecuación: $w \cdot x \cdot t - 1 \cdot A - 1 \cdot \Delta P - 1$, donde w es el peso ganado (g), x es el espesor de la película (mm), t es el tiempo (h), A es el área de película expuesta (cm²) y ΔP es la diferencia de presión parcial de vapor entre la atmósfera y el gel de sílice (2642 Pa a 22 °C).

$$PVA = \frac{w \cdot x}{t \cdot A \cdot \Delta P}$$

Ecuación 1: Ecuación de permeabilidad de vapor de agua

Donde:

w = peso ganado (g)

x = espesor de la película (mm) t = tiempo (h)

A = área de película expuesta (cm²)

ΔP = diferencia de presión parcial de vapor entre la atmósfera y el gel de sílice (2642 Pa a 22 °C)

2.3.5 Solubilidad de las películas (%S)

En esta prueba, las películas fueron cortadas a manera de un cuadrado de un área de 4 cm², y colocadas en recipientes con 50 ml de agua destilada a 22°C durante 24 horas después se filtró la solución a través de papel filtro whatman N° 4; para recuperar películas restantes sin disolver; que posteriormente fueron desecadas 105°C por 24 horas en una estufa al vacío (Hasuc) (Mera, 2022). Esta determinación se realizó por duplicado y sus resultados se expresaron en porcentaje. La solubilidad de la película se calculará mediante la expresión:

$$S = \left[\frac{W_0 - W_f}{W_f} \right] \times 100$$

Ecuación 2: Ecuación de solubilidad de la película

Donde:

W₀ = peso inicial de la película expresada como materia seca (g) W_f = peso del residuo desecado sin disolver la película (g)

2.3.6 Resistencia al agua

Se determinó bajo la guía descrita por Moreno (2015); donde las películas se fijaron en celdas calibradas con un área de 10.75 cm², y se les vertió agua destilada en una cantidad de 5 ml sobre la superficie de la película cada 3h durante 2 días, en donde se registró deformaciones en las biopelículas, debido al efecto del agua (medida en cm) y el tiempo que tardan en romperse. Esta determinación se realizó por duplicado.

Propiedades ópticas

La evaluación de las propiedades ópticas de las biopelículas degradables fue importante para entender cómo estas características pueden influir en aspectos como: calidad, envasado, presentación e interacción del material para garantizar la funcionalidad, la sostenibilidad y la respuesta adecuada a diversas condiciones de uso y almacenamiento (Piñeros, Sierra, Piñeros C, & Ortega, 2019). Estas determinaciones se realizaron por triplicado en laboratorios de investigación en la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

2.3.8 Color

Los parámetros de color L^* (luminosidad), a^* (rojo/verde), b^* (amarillo/azul), c^* (intensidad de color) y ΔE (variación total de color) de la escala CIE, se midieron en un colorímetro (Lovibond LC 100), con un iluminador D65 y observador estándar D10, los resultados fueron procesados en el mismo equipo (Moreno, 2015). Esta determinación se realizó por triplicado.

2.3.9 Barreras de la luz y transparencia (UV-VIS)

Las propiedades de barrera a la luz se determinó utilizando un espectrofotómetro UV-VIS (Fisher Scientific), calibrado con longitudes de onda entre 200 a 800 nm respectivamente, las biopelículas se cortaron en forma rectangular y se colocaron en la celda de cuarzo dentro del espectrofotómetro, se utiliza una celda vacía como referencia. Por otro lado, el análisis de transparencia (%T) se calculó con los datos que se obtuvo de absorbancia y se aplicó la ecuación 3:

$$\%T = 10^{-(Absorbancia)} \times 100$$

Ecuación 3: Ecuación de transparencia de la película

2.4 Evaluación de la degradabilidad de las biopelículas bajo condiciones controladas en el suelo

La evaluación de las propiedades de biodegradación en las biopelículas es crucial para asegurar el equilibrio medioambiental reduciendo la contaminación por plásticos en suelos, seguridad sustentable y cumplimiento de normativas y regulaciones amigables con el medio ambiente (Ruth et al., 2017). Estas determinaciones se realizaron por triplicado en laboratorios académicos en la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

2.4.1 Ensayo enterrado

El ensayo de biodegradación se llevó a cabo utilizando muestras de suelo orgánico natural, las biopelículas que previamente estarán acondicionadas a 75% HR (Humedad relativa). En pequeñas macetas se colocó tierra fértil, sobre ella una fina malla negra y luego las biopelículas y por último se les enterró de igual manera con tierra. De esa

manera quedaron enterradas y se agregó agua en la azotea de la facultad para simular condiciones naturales para su óptimo proceso de biodegradación. A estas biopelículas enterradas se regaron con agua cada 3 días para simular condiciones de llovizna, y al cabo de 0, 5, 15, 25 y 30 días, se las desenterró, limpió y finalmente se secan a 60 °C, en una estufa al vacío (Hasuc) durante 24 horas hasta llegar a un peso constante; el grado de degradación de las películas se determinará siguiendo la ecuación 4 de pérdida de peso (Moreno, 2015). Esta determinación se realizará por duplicado en el laboratorio académico 2.2 de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

$$W_{perdida} = \left[\frac{W_0 - W_f}{W_0} \right] \times 100\%$$

Ecuación 4: Ecuación de pérdida de peso de la película

Donde:

W₀ y W_f es el peso de la película antes y después de la prueba de degradación (g)

Tabla 4.

Condiciones climáticas durante el ensayo de biodegradación

Temperatura (min - máx.) y % Humedad en Ambato		
Parámetro	17-nov-23	17-dic-23
Temperatura mínima (°C)	8.9	8.9
Temperatura máxima (°C)	16.9	16.5
% Humedad Relativa Media	83%	85%

Elaborado por: Galarza S. Inés

2.4.2 Porcentaje de Materia seca

El contenido de materia seca de las biopelículas en el proceso de biodegradación se determinó por duplicado mediante el método de secado establecido por la A.O.A.C (Asociación Oficial de Químicos Analistas) año 1990; se colocó 1.5 - 2.0 g de muestra a 110°C en una estufa al vacío (Hasuc) por 24 horas, El contenido de materia seca se expresó como porcentaje del peso total y se calculó mediante ecuación 5:

$$SS[\%] = \frac{W_{(muestra\ 105^{\circ}C\ incl.cápsula)} - W_{(cápsula)}}{W_{(muestra\ húmeda)}}$$

Ecuación 5: Ecuación del contenido de materia seca de la película.

Donde:

SS [%]: Porcentaje de materia seca W [g]: Peso en gramos

2.4.3 Caracterización inicial del suelo en el proceso de biodegradación

Contenido de nitrógeno total en el suelo

Para determinar el contenido de nitrógeno total del suelo se siguió el método Kjeldahl, el cual se basa digerir una alícuota de la muestra del suelo junto con ácido sulfúrico, una mezcla de sulfato ferroso y sulfato de cobre en una relación de 20 a 1, se pudo calcular la cantidad de nitrógeno conociendo el porcentaje de proteínas presente (Acevedo, 2011). Esta determinación se realizará por triplicado en el laboratorio LACONAL de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Contenido de humedad del suelo

Este análisis se realizará al suelo antes y después del ensayo de enterrado, donde el contenido de humedad se determinará por secado, mediante el método de secado establecido por la A.O.A.C (Asociación Oficial de Químicos Analistas) utilizando 1.5-2.0 g de muestra en una estufa al vacío (Hasuc) a 110°C por 24 horas (NTE INEN 1108 (2014), se realizó por duplicado y el contenido de agua se expresará como porcentaje del peso total.

Determinación de pH del suelo

El potencial de hidrógeno se determinó por triplicado en el suelo antes y después del ensayo de enterrado, a través de lectura directa utilizando un potenciómetro manual portátil (Benchtop 210), previamente calibrado, a temperatura ambiente. Se pesará 10 g de suelo y se agregaron 40 ml de agua destilada, se introdujo el electrodo en la mezcla y se determinó el pH.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y glicerol como plastificante natural.

En la investigación se obtuvieron biopelículas utilizando 2,5%, 5% y 7,5% de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) como factor A y 2,5% y 5% de glicerol como factor B. Se utilizó un diseño experimental AxB donde se propusieron 6 tratamientos con diferentes formulaciones de harina y glicerol; además, se utilizó como control una bolsa de plástico convencional de polietileno de baja densidad (PEBD) ubicado en grado 4 de reciclaje. Se utilizó este plástico sintético ya que está en constante contacto con alimentos por lo tanto es adecuado para esta investigación.

A partir del modelo de casting descrito en la metodología de (Solano, Alamilla, & Jiménez, 2018). Las biopelículas presentaron una superficie lisa y además fueron maleables y homogéneas sin la presencia de burbujas ni grietas siendo uniformes y de un solo color (Figura 4). Cusme & Gómez (2019), mencionan que la obtención de biopelículas de harina de fruta de pan surge como consecuencia de la gelatinización del almidón. Es decir, el almidón se hincha y tiende a ser más soluble lo que permite que al adicionar glicerol se degrada completamente la estructura cristalina del almidón, dando paso a una estructura más elástica y maleable capaz de ser moldeada en formas distintas (Muñoz, Salaris, López, & Peponi, 2022).

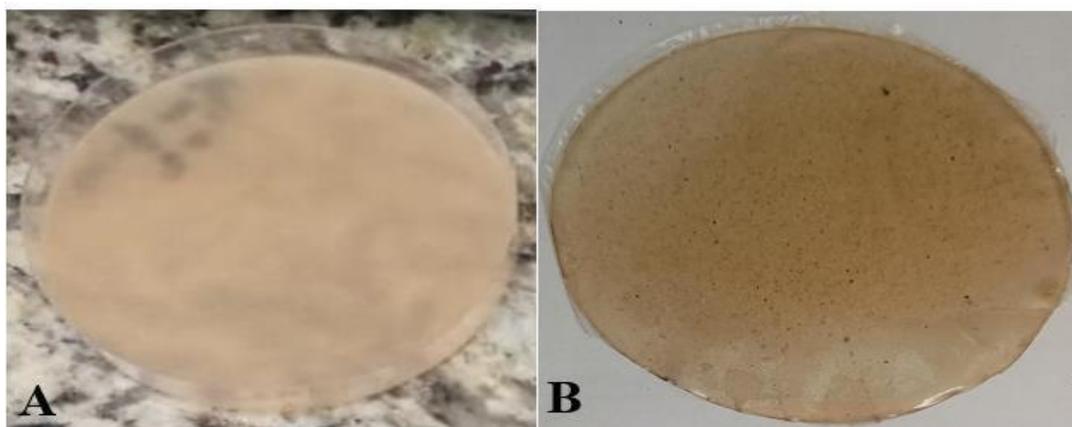


Figura 4. Biopelículas degradables obtenidas a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y glicerol. A: solución filmogénica en caja Petri; B: película biodegradable T3 (5% harina 2.5% glicerol). **Elaborado por:** Galarza S. Inés

En los resultados obtenidos por Mera (2022) en biopelículas de semillas de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), expone que la obtención de biopelículas surge como consecuencia de la gelatinización del almidón. Es decir, el almidón se hincha cuando se expone a altas temperaturas (80-90°C) y tiende a ser más soluble lo que permite que al adicionar plastificantes naturales como glicerol se degrada completamente la estructura cristalina del almidón, dando paso a una estructura más elástica y maleable capaz de ser moldeada en formas distintas como el caso de las biopelículas.

3.2 Propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas de las biopelículas degradables.

Propiedades fisicoquímicas

3.2.1 Contenido de materia seca y humedad

Los contenidos de humedad obtenidos mediante la aplicación del método A.O.A.C en las biopelículas se encontraron entre 15.23% a 16.77% respectivamente, este análisis permite conocer la estabilidad y durabilidad de las biopelículas. En la investigación se demostró que la presencia de glicerol provocó un aumento significativo en el contenido de agua ya que este tiene la capacidad de atraer agua presente en el ambiente debido a grupos hidroxilo los cuales forman enlaces de hidrógeno.

Bátori et al., (2017), se demostraron en un estudio de biopelículas a partir de residuos de naranja, que la cantidad de glicerol que se incluye en la formulación de biopelículas juega un rol fundamental ya que, al utilizar 3,5% de glicerol y 7 g de harina de residuos de naranja obtuvieron biopelículas con 11,7%H, la cual de acuerdo con la investigación presentó mayor resistencia al agrietamiento sin embargo su rigidez se redujo significativamente; con respecto a las biopelículas obtenidas de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) se obtuvieron %H de $16,77 \pm 0,10$ que comparados con los valores del control $4,02 \pm 0,20$ (PEBD) Tabla 5, se encontró diferencias significativas ya que al ser hidrofóbico el control resiste al agua y por ende el material es estable y durable en el tiempo. En comparación con los valores reportados por Palma et al. (2017) donde se obtiene %H de 10,33 al igual que Cusme & Gómez, (2019) con %H 9,97 se asocian los valores dispersos a las propiedades del almidón ya que al poseer componentes tales como proteínas y fibras interfieren en la matriz al aumentar la retención de agua por acción de capilaridad.

Las biopelículas elaboradas a partir de almidones obtenidos con harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) deben manejar una correcta humedad (10,45 a 18,7%H) ya que de esto dependerán sus propiedades mecánicas que darán paso a la degradación final de la película por efecto de la degradación del almidón presente en la harina (Duarte et al., 2017); Estos valores reportados son ligeramente semejantes a los mencionados en la obtención de biopelículas de banano verde de (López, Cerón, Osorio, Checa, & Villada, 2017) con valores comprendidos entre (11,78 %H a 17,5 %H) ya que, por la presencia de la harina el almidón se vuelve más flexible y con ello la propiedad hidrofílica (afinidad al agua) de las biopelículas es mayor, acción que no sucede con el control ya que al ser resistente al agua (4,02 %H) no es capaz de degradarse representando un problema ambiental.

Tabla 5

Porcentaje del contenido materia seca y de humedad obtenidos de los tratamientos de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan y muestra control (PEBD).

Tratamientos	Materia seca (%)	Humedad (%)
T1	82,03± 0,16 a	15,23 ± 0,11 a
T2	81,70 ± 0,57 a	15,59 ± 0,41 a
T3	80,51± 0,31 a	16,13 ± 0,22 a
T4	80,29± 0,47 a	16,41 ± 0,33 a
T5	80,41± 0,27 a	16,57 ± 0,19 a
T6	79,97± 0,15 a	16,77 ± 0,10 a
Control	95,90± 0,22 ab	4,02 ± 0,20 ab

Nota: Los resultados obtenidos son media ± desviación estándar. Las letras (a) y (b) demuestran las diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0,05$). **Elaborado por:** Galarza S. Inés

En la Tabla 5 se presentan los valores obtenidos de materia seca que se obtuvo a partir del desarrollo del método descrito por la A.O.A.C, valores entre 80-82% entre tratamientos ya que tienen relación con la presencia almidón en la harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), este valor es importante ya que influye directamente en las propiedades físicas y químicas de la película tales como flexibilidad, solubilidad, biodegradabilidad entre otras. Se puede considerar que las películas biodegradables de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) varían en %MS dependiendo del contenido

de sólidos (almidón, proteínas, fibra, etc) presentes en la muestra antes de la formación; Duarte et al. (2017), obtuvo %MS de $80 \pm 0,44$ en biopelículas obtenidas a partir del mismo tipo de harina contrastando que la proporción de materia seca encontrada en la película influye proporcionalmente en las propiedades mecánicas de la misma.

Finalmente, en el análisis estadístico con prueba de Tukey ($p < 0,05$) presentaron diferencias significativas entre los tratamientos T1-T6 de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) con la muestra control, se observa un valor mínimo de 4.02 %MS que no presenta cambios en sus componentes, por ende, no se atribuye al aumento de humedad ya que el PEBD al ser un polímero sintético que no retiene humedad López et al. (2017).

3.2.2 Espesor de las biopelículas

En cuanto al análisis de espesor, se tomó 15 secciones diferentes de las biopelículas con un micrómetro manual (0-25mm) este tipo de pruebas es importante para las aplicaciones industriales ya que es necesario obtener películas de características uniformes de acuerdo a la futura aplicación, por lo que es un factor crítico a considerar durante la elaboración de biopelículas. Como se muestra en la tabla en la tabla 6 se obtuvieron valores de 0,46-0.51 mm, estos valores de espesor pueden variar a medida que la cantidad de harina aumenta, por lo tanto, el grosor de cada tratamiento varió dando como resultado un valor diferente en cada caso, sin embargo, no es significativo estadísticamente.

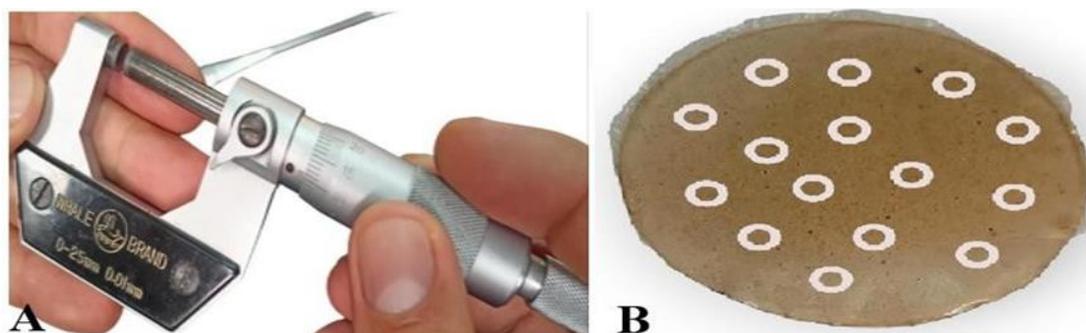


Figura 5. Análisis de espesor en biopelículas degradables obtenidas a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y glicerol. A: micrómetro manual (0-25 mm); B: 15 mediciones en biopelículas degradables. **Elaborado por:** Galarza S. Inés

De acuerdo con los resultados de Díaz, (2021) sobre películas biodegradables con harina de cáscara de plátano donde obtuvo 0,11mm- 0,22mm, y estudios de Huacho, Rodríguez, & Brito, (2021) de un polímero biodegradable a base de yuca (*Manihot Esculenta Crantz*) de 0,11 mm y 0,12 mm; valores menores a los que se obtuvo en la presente investigación, se puede atribuir a la variación en cuanto a la cantidad de harina ya que ésta permite la formación de estructuras tridimensionales a través de interacciones con las cadenas poliméricas del almidón presente en su composición (Muñoz, Salaris, López, & Peponi, 2022).

Tabla 6.

Espesor (mm) de las películas biodegradables a partir de harina de fruta de pan y muestra control (PEBD).

Tratamientos	Espesor (mm)
T1	0,46 ± 0,02 a
T2	0,47 ± 0,02 a
T3	0,48 ± 0,03 a
T4	0,49 ± 0,03 a
T5	0,51 ± 0,01 a
T6	0,52 ± 0,01 a
Control	0,02 ± 0,00ab

Nota: Resultados obtenidos media ± desviación estándar con a,b como diferencias significativas para cada tratamiento y muestra control ($P \leq 0,05$). Elaborado por: Galarza S. Inés

Por otro lado, de acuerdo a la tabla 6, existe una diferencia entre los tratamientos y el control los tratamientos, se considera importante mencionar que el T1 (2,5% harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y 2,5% glicerol) con 0,46 mm es demasiado fino y débil a comparación del T6 (7,5% harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y 5% glicerol) con 0,52 mm de espesor siendo más grueso y poco flexible; por lo tanto se puede tomar el T3 (5% harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y 2,5% glicerol) con un valor de 0,48 mm dato intermedio en relación a los demás tratamientos presentando mejor maleabilidad y resistencia.

Finalmente, el análisis estadístico basado en la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$) muestra que entre tratamientos no existe diferencia significativa, pero en relación al control y los tratamientos si existe diferencia esto debido a que es un plástico sintético expuesto a distintos procedimientos para su formación por lo que presenta 0,02 mm de espesor dentro del rango permitido según (NTE-INEN 2542, 2010) requisitos para láminas plásticas la cual establece que deben tener un máximo de 0,2 mm.

Propiedades mecánicas

3.2.3 Prueba de punción (N)

Para la prueba de punción se utilizó un analizador de textura (Brookfield CT3) Figura 6, es una prueba importante que evalúa la resistencia mecánica de las biopelículas obtenidas, medida en Newtons (N) donde se midió la fuerza aplicada para que se dé el rompimiento de las biopelículas. De acuerdo a la tabla 7 se obtuvo 1,42 a 13,76(N). valores que pueden asociarse a la cantidad de glicerol en la composición de las biopelículas, es decir, (Vélez, Zambrano, Delgado, Burgos, & Cedeño, 2021).

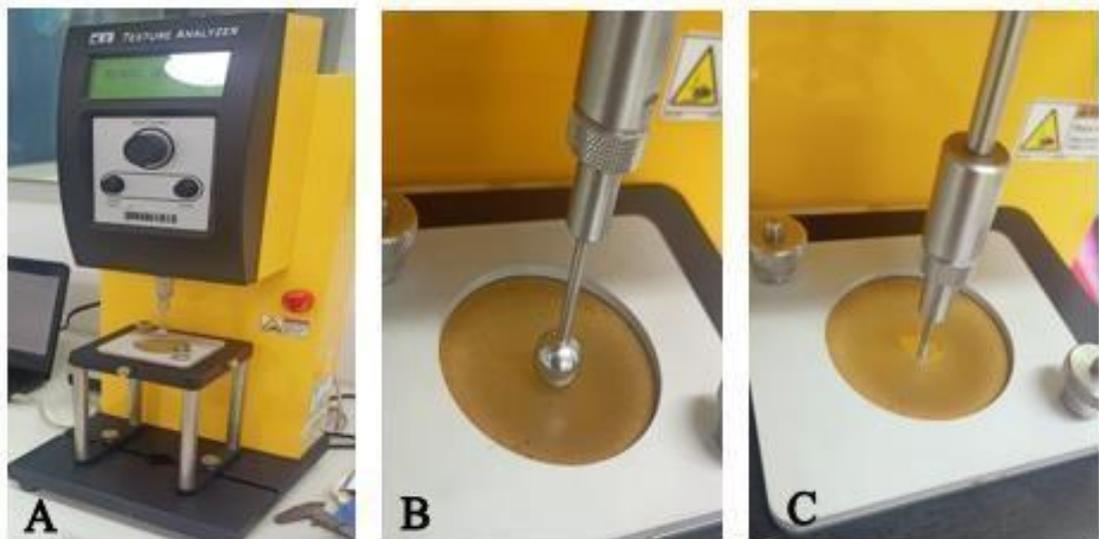


Figura 6. Prueba de punción para biopelículas degradables obtenidas a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y glicerol. A: texturómetro (Brookfield CT3); B: análisis de punción previo a rotura; C: rompimiento de la biopelícula.

Elaborado por: Galarza S. Inés

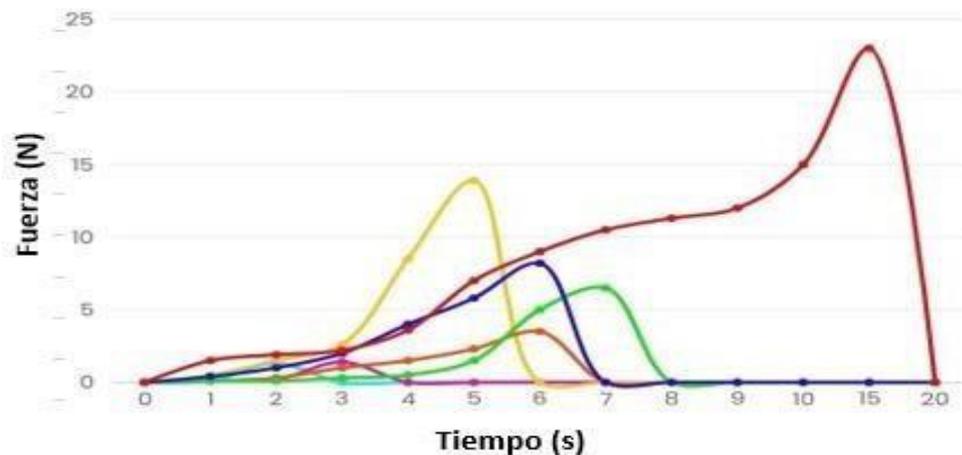


Figura 7. Fuerza (N) aplicada en un determinado tiempo (s), en biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y muestra control (PEBD). T1: 2,5% harina y glicerol al 2,5% (turquesa); T2: 2,5% harina y glicerol al 5% (lila); T3: 5% harina y glicerol 2,5% (amarillo); T4: 5% harina y glicerol al 5% (naranja); T5: 7,5% harina y glicerol al 2,5% (verde); T6: 7,5% harina y glicerol al 5% (azul); Control: plástico transparente (PEBD) (rojo). **Elaborado por:** Galarza S. Inés

Los resultados obtenidos con respecto a la fuerza de punción previo a su rotura, la fuerza aplicada analizada en Newtons (N). La película con mayor resistencia mecánica fue la que contenía 5 % de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y glicerol al 2,5% (T3) con respecto a los demás tratamientos (Figura 7). el cual mantuvo una fuerza de 13,76 (N), con respecto a las demás películas siendo la más resistente a comparación de los demás tratamientos que fueron débiles y se rompieron con facilidad; esta propiedad en cuanto a resistencia y flexibilidad depende de la proporción entre amilosa y amilopeptina del polisacárido es decir, con mayor interacción intramolecular de la amilosa contribuye a la resistencia y con menor interacción de la amilopeptina generando mayor flexibilidad (Vélez, Zambrano, Delgado, Burgos, & Cedeño, 2021).

Por otro lado, en el control no existió ruptura en el tiempo establecido, por lo que, a diferencia de las biopelículas obtenidas con harina de fruta de pan, no existió la estructura cristalina rígida propia del almidón ni el aumento de la flexibilidad por efecto del glicerol provocando que la muestra control no se perfora en el tiempo estimado para todas las muestras. Avellán et al., (2020), supone que la presencia del

polímero de baja densidad provoca en la película mayor rigidez lo cual no permite que la película sea de fácil contracción o estiramiento.

Tabla 7.

*Valores de fuerza aplicada a la punción (N) de las películas biodegradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y muestra control (PEBD).*

Tratamientos	Fuerza (N)
T1	1,76 ± 0,06 a
T2	1,42 ± 0,03 a
T3	13,76 ± 1,06ac
T4	3,63 ± 0,19ab
T5	7,72 ± 0,95 ab
T6	7,80 ± 0,65 ab
Control	23,26 ± 0,39abc

Nota: Resultados obtenidos media ± desviación estándar con a,b y c como diferencias significativas para cada tratamiento y muestra control ($P \leq 0,05$). Elaborado por: Galarza S. Inés

Por último, el análisis estadístico basado en la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$) muestra que si existe diferencia significativa entre tratamientos, y se puede considerar al T3 (5% harina y 2,5% glicerol) como el más fuerte; pero, en relación con control también es significativo ya que al ser un polietileno de baja densidad expuesto a varios proceso y sus cadenas poliméricas están ordenadas formando una estructura cristalina fuerte y por ende presenta mayor resistencia y su biodegradabilidad es nula o limitada (Díaz, 2021).

3.2.4 Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

En el análisis de permeabilidad al vapor de agua se desarrolló siguiendo la metodología descrita por Trejo et al., (2001) como se observa en la figura 8. Se obtuvo valores entre $1,17 \text{ E-}06 \text{ g.mm (h-1.Pa-1.cm}^2\text{-1)}$ y $1,57 \text{ E-}06 \text{ g.mm.(h-1.Pa-1.cm}^2\text{-1)}$ tabla 8, propiedad que está asociada a la composición de su estructura molecular, es decir cómo actúa el almidón de la harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) con el plastificante frente a su unión con el agua permitiendo que aumente los espacios porosos afectando

la capacidad de absorber o retener agua, y de esta manera actuando ante la biodegradación de las biopelículas a posteriori (Guaña, Vaca, & Aguilar, 2022).



Figura 8. Análisis de permeabilidad al vapor de agua (PVA) en películas biodegradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y muestra control (PEBD). A: envases + sílica gel; B: biopelícula en envase; C: sistema completo en desecador con agua destilada (100%HR). Elaborado por: Galarza S. Inés

En los datos reportados por Pastuizaca, (2020) en su investigación sobre Obtención de una biopelícula a partir de la Oca (*Oxalis tuberosa*) y de la yuca (*Manihot esculenta*) para la utilización como envoltura de alimentos donde se obtuvo PVA de ($6,75 \text{ E-}06 \text{ g.mm.h}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{cm}^2^{-1}$) en tratamientos con yuca y de ($1,45 \text{ E-}05 \text{ g.mm.h}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{cm}^2^{-1}$) en tratamientos con Oca, relacionando los valores son superiores los de oca se puede atribuir al %H de éstas muestras que estuvo por los 23% aproximadamente es decir, su red polimérica presentó mayor cristalización. Al comparar los resultados de yuca con las de fruta de pan de esta investigación también es superior debido a que el almidón presente es mayor que la matriz en estudio fruta de pan (*Artocarpus altilis*) ya que al ser harina cuenta con otros componentes como proteínas, azúcares, entre otros, elementos que pueden interferir en los enlaces moleculares en la formación de biopelículas y por ende existe mayor nivel de regulación para el paso de vapor de agua (Solano, Alamilla, & Jiménez, 2018).

Tabla 8.

Valores de Permeabilidad al vapor de agua de las películas biodegradables a partir de harina de fruta de pan y muestra control (PEBD).

Tratamientos	PVA E-06 g.mm.h ⁻¹ .Pa ⁻¹ .cm ² -1
T1	1,17± 0,52 a
T2	1,19± 0,76 a
T3	1,57 ± 0,48 ab
T4	1,49 ± 0,74 ab
T5	1,26 ± 0,81 a
T6	1,51 ± 0,77 ab
Control	0,48 ± 0,00 abc

Nota: Resultados obtenidos media ± desviación estándar con a, b y c como diferencias significativas para cada tratamiento y muestra control (P≤0,05). Elaborado por: Galarza S. Inés

De acuerdo a la tabla 8, los valores de T3 con 1,57 E-06g.mm.h-1.Pa-1.cm2-1 en relación a los demás, se puede atribuir que depende de los componentes de la biopelícula en este caso harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) la cual contiene almidón y proteínas, moléculas que pueden atraer y retener agua y glicerol por sus grupos hidroxilo, dependiendo el uso que se le vaya a dar a las biopelículas es importante controlar esta propiedad para poder ser un medio apropiado para el almacenamiento de alimentos. A medida que la cantidad de harina de fruta de pan aumenta el valor de permeabilidad también sigue incrementando, a diferencia del T5 que obtuvo un valor de 1,26 E-06 g.mm.h-1.Pa-1.cm2-1 y no continuó aumentado, a pesar que el contenido de harina es de 7,5% se podría dar por una interferencia en la estructura provocando una cierta porosidad debido a que su espesor también es más grueso, además al contener 2,5% de glicerol este no es suficiente para optimizar las conexiones moleculares de la biopelícula (Montes, 2022) .

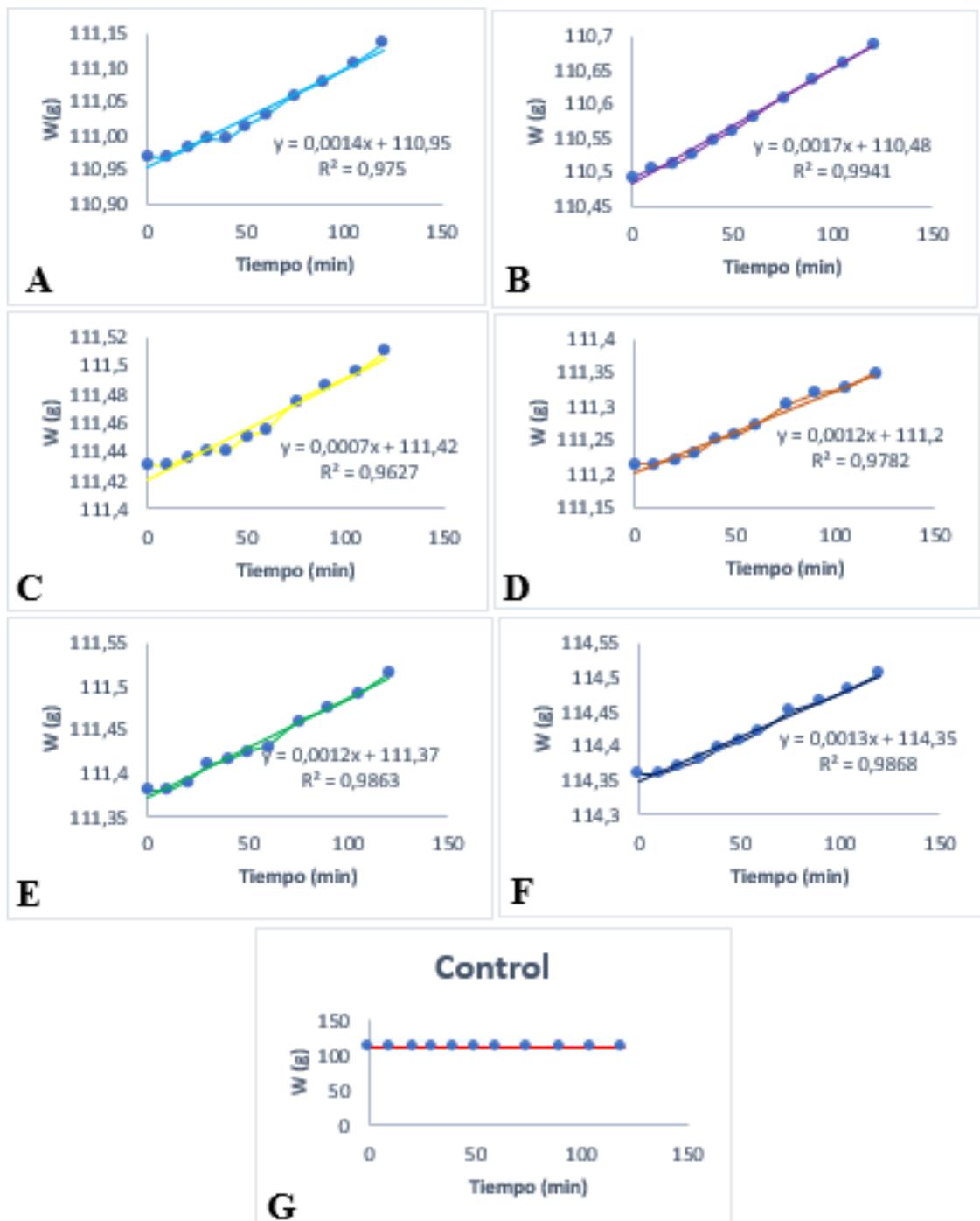


Figura 9. Aumento de peso en PVA de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) A: T1 2,5% harina y glicerol al 2,5%; B: T2 2,5% harina y glicerol al 5%; C: T3 5% harina y glicerol al 2,5%; D: T4 5% harina y glicerol al 5%; E: T5 7,5% harina y glicerol al 2,5%; F: T6 7,5% harina y glicerol al 5%; G: control plástico transparente (PEBD). **Elaborado por:** Galarza S. Inés

Por otro lado, con respecto a la figura 9 se muestra una tendencia lineal ascendente de los tratamientos, a excepción del control, haciendo referencia a la ganancia de peso de la silica gel en relación al tiempo que se mantuvo en el sistema con una HR 100%, donde es importante mencionar con respecto a la figura 9B al T2 con un $R^2 = 0.9941$ y se puede decir que existe una correlación directa, positiva y fuerte ya que el valor de R^2 es más próximo a 1. A pesar de no presentar una gran diferencia es importante mencionar que las biopelículas al ser elaboradas con una matriz natural tienden a presentar una interacción molecular que permite el paso de vapor de agua, sin embargo se puede considerar como una ventaja al momento de su aplicación ya que existen industrias alimentarias que necesitan un cierto tipo de embalaje que puedan mantener frescos a sus productos (Guaña, Vaca, & Aguilar, 2022).

Considerando al control con respecto a los demás tratamientos su valor $0,48 \text{ E-}06 \text{ g.mm.h}^{-1} \text{ Pa}^{-1} \text{ cm}^2^{-1}$ es mínimo al ser un polímero sintético con una estructura lineal ramificada de unidades de etileno, es decir su estructura no permite el transporte de humedad por tal motivo presenta un valor muy bajo en cuanto a PVA, por ello es considerado como material de almacenamiento o protección, sin embargo es importante mencionar que si se llega a controlar cada uno de los compuestos de las biopelículas de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) también se puede utilizar en la industria alimentaria para poder mantener a los productos y de esa manera contribuir al cuidado del medio ambiente y del propio consumidor (Díaz, 2021).

Finalmente, con un análisis estadístico basado en la prueba de Tukey donde los resultados obtenidos a un valor de ($P \leq 0,05$) se determinó que, si existe diferencia significativa entre tratamientos y también con el control, tomando en cuenta el tipo y la diferencia de porcentajes de sus compuestos como la cantidad de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) ya que de ello depende el espesor que puedan presentar las biopelículas y por ende existe variación en valores de PVA refiriéndose a la transferencia de humedad del medio hacia la biopelícula la cual mediante sus componentes puede controlar este movimiento intermolecular (Solano, Alamilla, & Jiménez, 2018).

3.2.5 Solubilidad de las biopelículas (%S)

La solubilidad es un factor de interés en la elaboración de biopelículas ya que permite conocer la capacidad que tiene una película para resistir a la presencia de agua o humedad, dando especial importancia a las películas que tendrán como fin la protección de alimentos. Se determinó siguiendo el método de Mera (2022) como se observa en la figura 10, donde llegan a perder peso y su estructura se reduce.

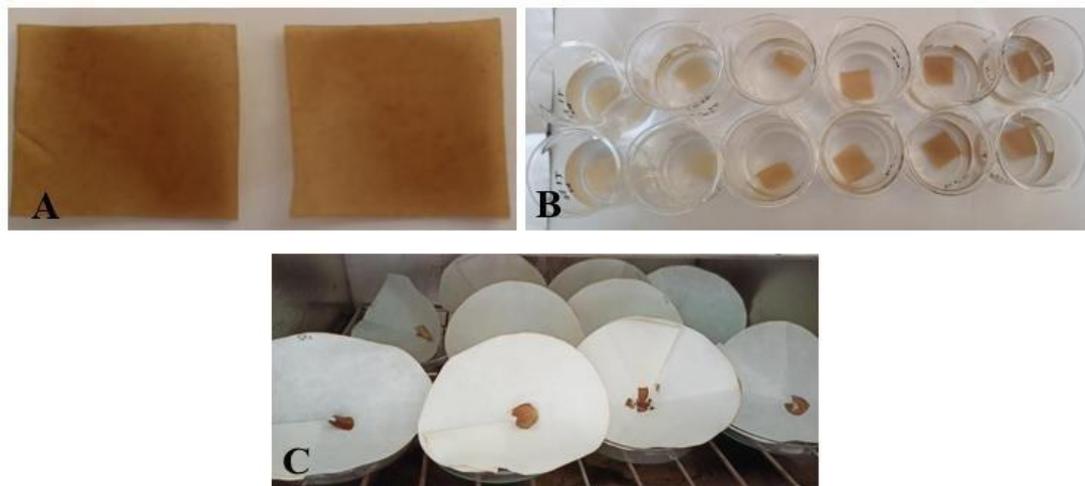


Figura 10. Solubilidad de biopelículas biodegradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y muestra control (PEBD). A: muestras de biopelículas de 4 cm²; B: proceso de solubilidad de cada tratamiento; C: secado de las muestras luego del filtrado. **Elaborado por:** Galarza S. Inés

Solano et al. (2018), en su estudio de solubilidad de películas comestibles establece que un porcentaje elevado de solubilidad es ventajoso cuando el alimento que contiene la película será sometido a condiciones extremas de calor o frío por lo que, en contraste con los resultados obtenidos en la presente investigación se demostró que, en las películas, los valores de solubilidad aumentan proporcionalmente de 7,334% a 19,09%. De la misma manera es la investigación de Cedeño, Yáñez, Núñez, Montalván, & Rogel, (2023) estudio sobre películas de maíz obtuvieron un 15-25 %S, pero es importante mencionar que incorporaron a su estructura gelatina y AE (aceites esenciales) por lo cual el % tuvo esos valores ya que éstos confieren una capacidad hidrofóbica reduciendo las interacciones moleculares del agua.

Las biopelículas elaboradas a partir de fruta de pan poseen una estructura lisa no obstante se observaron múltiples imperfecciones debido a la interacción almidón-glicerol que se involucran totalmente en la matriz, por ende, la difusión de las moléculas de agua es mejor ya que la estructura de la matriz genera apariencia abierta y a la vez porosa (Solano, Alamilla, & Jiménez, 2018). A medida que la cantidad de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) incrementa junto a la cantidad de glicerol de forma proporcional (tabla 9), debido a que estos compuestos son de carácter hidrofílico es decir poseen moléculas que tengan afinidad y puedan interactuar con el agua, pudiendo ser el almidón y los grupos OH de las estructuras de cada uno respectivamente. A diferencia del control que al tratarse de material PEBD con 0,34 % de solubilidad por lo que es nada degradable. La solubilidad ideal viene dada en base a la futura aplicación de la biopelícula ya que de esto dependerá la calidad que esta brinde; como menciona Arévalo, Alemán, Rijas, & Morales, (2020) en su estudio sobre películas biodegradables a partir de residuos de cítricos, un empaque provee de protección y conservación para mantener la calidad del alimento.

Tabla 9.

Resultados obtenidos para solubilidad de los tratamientos.

Tratamientos	Solubilidad
T1	7,33±0,28 ab
T2	9,29±0,36 a
T3	9,30±0,20 ac
T4	11,60±0,64 bc
T5	15,97±1,56 a
T6	19,09±0,99 b
Control	0,34±0,002 abc

Nota: Resultados obtenidos media ± desviación estándar con a, b y c como diferencias significativas para cada tratamiento y muestra control ($P \leq 0,05$). **Elaborado por:** Galarza S. Inés

Se desarrollo un análisis estadístico basado en la prueba de Tukey donde los resultados obtenidos a un valor de probabilidad ($P \leq 0.05$) determinaron que, si existe diferencia significativa entre los tratamientos los cuales varían su porcentaje de acuerdo a sus componentes, además también se diferencia del control ya que este presenta un % mínimo de solubilidad ya que no existió cambio alguno en su matriz debido a que necesita de más tiempo y otros factores ambientales y microorganismos para que pueda cambiar en algo su estructura (Montes, 2022).

3.2.6 Resistencia al agua

Los resultados obtenidos a la resistencia al agua de las biopelículas se muestran en la figura 11. Para diferentes factores como elongación (cm), filtración de agua (ml) y tiempo de rotura (h) en cada tratamiento durante un tiempo aproximado de 48 h se muestran en las tablas 10-16. Los tiempos de rotura varía desde las 12h hasta las 48 h, pero es importante mencionar que ciertos tratamientos T3 y T5 fueron irrompibles; los compuestos principales de las biopelículas son la harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y glicerol es por ello que les confiere de acuerdo a sus porcentajes afinidad o rechazo por el agua (Mera, 2022) .



Figura 11. Resistencia al agua de películas biodegradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y muestra control (PEBD). A: inicio del proceso de resistencia; B: después de 48h los restos de las biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y glicerol. **Elaborado por:** Galarza S. Inés

Tomando en cuenta los estudios realizados por Viteri, (2020) sobre utilización de cáscara de plátano (*Musa spp.*), en el desarrollo de películas biodegradables el cual obtuvo un tiempo de rotura 25 h pero datos similares a la presente investigación, de igual manera obtuvo 2 tratamientos irrompibles los cuales tenían mayor espesor al haber tenido mayor cantidad de solución filmogénica en el molde de secado, además en sus componentes mantiene la misma cantidad de glicerol (1,5%) en todos los tratamientos por lo que se puede decir que dependió directamente del contenido de harina, donde el mayor porcentaje agregado fue la combinación de harina de pulpa y cáscara.

Tabla 10.

Resistencia al agua de biopelículas degradables A0B0 (T1) a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis.) (2.5 %) y glicerol (2.5 %).

Tiempo (h)	0,17	1,17	7,35	25	48
Elongación (cm)	0,1 ± 0,07	0,2 ± 0,05	0,2 ± 0,07	0,3 ± 0,4	0,4 ± 0,05
Filtración de agua (ml)	23				
Tempo de rotura (h)	12				

Elaborado por: Galarza S. Inés

Tabla 11.

Resistencia al agua de biopelículas degradables A0B1 (T2) a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis.) (2.5 %) y glicerol (5 %).

Tiempo (h)	0,25	1,45	9,3	24	48
Elongación (cm)	0,1 ± 0	0,1 ± 0	0,3 ± 0,07	0,3 ± 0,05	0,4 ± 0,06
Filtración de agua (ml)	21				
Tempo de rotura (h)	11				

Elaborado por: Galarza S. Inés

Tabla 12.

Resistencia al agua de biopelículas degradables AIB0 (T3) a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis.) (5 %) y glicerol (2,5 %).

Tiempo (h)	0,30	0,45	1	24	48
Elongación (cm)	0,2 ± 0,06	0,2 ± 0,06	0,3 ± 0,07	0,4 ± 0,07	0,4 ± 0,07
Filtración de agua (ml)	31				
Tempo de rotura (h)	Irrompible				

Elaborado por: Galarza S. Inés

Tabla 13.

Resistencia al agua de biopelículas degradables AIB1 (T4) a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis.) (5 %) y glicerol (5 %).

Tiempo (h)	0,35	0,50	2	24	48
Elongación (cm)	0,1 ± 0	0,2 ± 0,04	0,3 ± 0,06	0,4 ± 0,06	0,4 ± 0,07
Filtración de agua (ml)	28				
Tempo de rotura (h)	25				

Elaborado por: Galarza S. Inés

Tabla 14.

Resistencia al agua de biopelículas degradables A2B0 (T5) a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis.) (7.5 %) y glicerol (2.5 %).

Tiempo (h)	0,38	1,55	7,20	24	48
Elongación (cm)	0,2 ± 0,05	0,2 ± 0,05	0,3 ± 0,08	0,3 ± 0,08	0,4 ± 0,11
Filtración de agua (ml)	28				
Tiempo de rotura (h)	Irrompible				

Elaborado por: Galarza S. Inés

Tabla 15.

Resistencia al agua de biopelículas degradables A2B1 (T6) a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis.) (7.5 %) y glicerol (5 %).

Tiempo (h)	0,40	1,40	7.30	24	48
Elongación (cm)	0,1 ± 0	0,2 ± 0,03	0,2 ± 0,03	0,3 ± 0,08	0,4 ± 0,012
Filtración de agua (ml)	32				
Tempo de rotura (h)	48				

Elaborado por: Galarza S. Inés

Tabla 16.

Resistencia al agua de un plástico transparente PEBD (Control).

Tiempo (h)	4	6	8	24	48
Elongación (cm)	0 ± 0	0,1 ± 0	0,1 ± 0	0,1 ± 0	0,2 ± 0
Filtración de agua (ml)	0				
Tempo de rotura (h)	Irrompible				

Elaborado por: Galarza S. Inés

Las películas con 2,5 de harina (Tabla 10 y Tabla 11) demostraron ser más débiles con respecto a las demás muestras, se puede atribuir a su espesor ya que fueron muy finas por tanto débiles ya que los porcentajes de sus componentes era mínimos. Es importante también mencionar que con el pasar de las horas las biopelículas adquirirían mayor dureza y rigidez por tal motivo el agua pasa, pero en cantidades mínimas. Por otro lado, la muestra control (Tabla 16) resultó ser irrompible demostrando que este comportamiento está relacionado con la propiedad hidrofóbica del PEBD lo cual tiende a ser una desventaja ya que no se degrada bajo circunstancias normales a las que las biopelículas se exponen, pero si son altamente resistentes al agua por ende las industrias las utilizan mucho ya que todos los alimentos contienen agua en diferentes proporciones, generando un producto de alto consumo pero difícil degradación ocasionando un gran impacto al medio ambiente.

Propiedades ópticas

3.2.7 Color

El análisis de color es una herramienta importante para relacionarse con alimentos, al momento de reconocer a que va destinado, incluso puede indicar la calidad del producto final ya que si existe variaciones en lotes se podría detectar, a través de las variaciones que el color presente. Se analizó el color de las biopelículas de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) con un colorímetro (Lovibond LC 100) el cual mostro la variación de color en datos numéricos de acuerdo a los siguientes parámetros de la escala CIE: L*(luminosidad), a*(rojo/verde), b*(amarillo/azul), c*(intensidad de color) y ΔE (diferencia total de color).

En la figura 12 se presentan los parámetros de color con respecto a cada índice de acuerdo con la amarillez o brillo que las películas presentaron. Con respecto a los valores obtenidos en L*, b*, c* y ΔE^* , se determinó que las biopelículas obtenidas tienen tonalidades amarillas (L*= 74 – 55) y (b= 16 – 35); no obstante, existen variaciones en las tonalidades de las biopelículas según cada uno de los tratamientos existiendo una tendencia en dichas variaciones para cada caso. El parámetro c* intensidad de color (0-100) analizado en las biopelículas de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) los valores fueron de 36,97 – 16,80 considerando que este parámetro indica si se mezclan colores (atenuado) o si la muestra presenta brillo, de tal manera los tratamiento a medida que se mezclan sus componentes (harina-glicerol) varían este parámetro y en cuanto al control mostro un valor menor de 8,83 al ser un polietileno de baja densidad que al ser procesado presenta una superficie es lisa y permite una reflexión uniforme de la luz.

Por otro lado se determinó la variación total de color (ΔE) representada por la diferencia de las tres coordenadas (L*, a* y b*) resultando valores de 57,73-33,47 en los tratamientos y en relación al control que presento un valor 26,70 este parámetro indica la diferencia total de color a comparación del estudio de Viteri, (2020) en películas con cáscara de plátano obtuvo valores de 64-72 al tener muy poca variación se podría atribuir a la composición de la materia prima particularmente proteínas, almidón (amilosa), fibra entro otros.

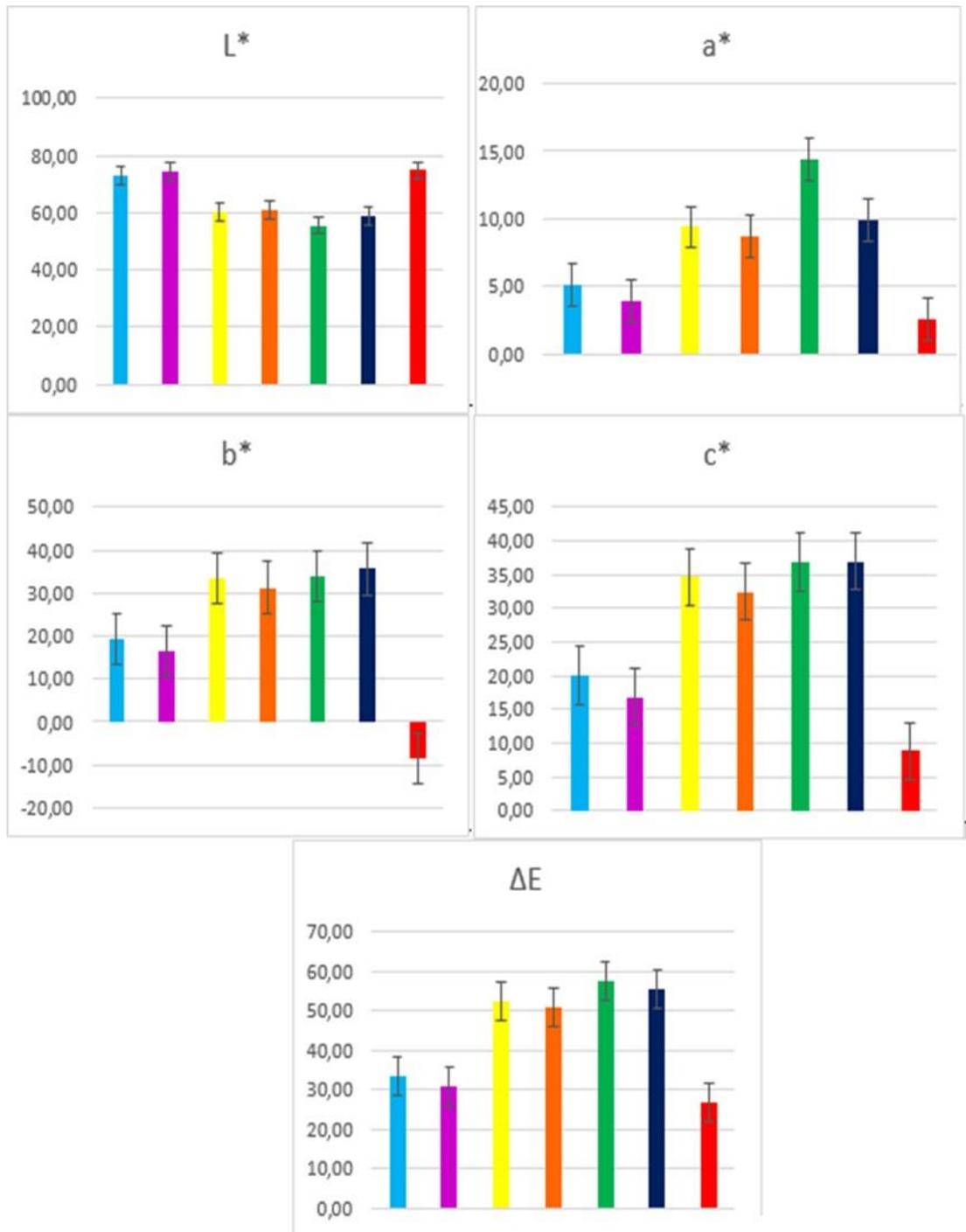


Figura 12. *Parámetros de color en películas biodegradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y muestra control (PEBD). L*:* (Luminosidad del bioplástico); *a*:* (coordenadas de tonalidad rojo/verde); *b*:* (coordenadas de tonalidad amarillo/azul); *c*:* (saturación o intensidad de color) y ΔE : (variación total del color). **Elaborado por:** Galarza S. Inés.

Analizando los resultados obtenidos a través de una prueba comparativa estadística de Tukey ($p < 0,05$) se demostró que de acuerdo a los porcentajes en sus componentes si existe diferencia significativa, ya que al variar la cantidad de harina la cual interfiere en dar su color blanco-amarillento el color también cambia, es decir los primeros tratamientos presenta un color más claro a diferencia de los últimos que son más oscuros. Además, comparando con el control también existe diferencia significativa ya que al trabajar con un polietileno de baja densidad transparente significa que no tiene coloración alguna.

3.2.8 Barreras de la luz y transparencia (UV-VIS)

El análisis de barrera de luz y transparencia se realizó utilizando un espectrofotómetro UV-VIS (Fisher Scientific) mediante el cual se obtuvo valores de absorbancia utilizando un rango de longitud de onda de 200-800 nm y aplicando la ecuación 3 se obtuvieron resultados del porcentaje de transparencia (Tabla 17). Los resultados están comprendidos entre 0,51-61,6% valores que se pueden atribuir a la uniformidad de su estructura de acuerdo a la composición de la harina y matriz polimérica formada (López, Cerón, Osorio, Checa, & Villada, 2017).

De acuerdo a los datos de transparencia que obtuvieron (Niño, García, Medina, & Rojas, 2018) en biopelículas de almidón modificado donde consiguió 84,9% valor más transparente en biopelículas de almidón modificado con betalaína (pigmento de remolacha) a diferencia de valores de 69,8 y 66,4% valores correspondiente al almidón modificado con riboflavina (vitamina B2) y rutina (bioflavonoides) respectivamente, en relación a los tratamientos de biopelículas con harina de fruta de pan los valores son superiores atribuyendo a la alta afinidad hacia el agua favoreciendo el paso al paso de luz (Niño, García, Medina, & Rojas, 2018).

Tabla 17.

*Porcentaje de transparencia de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y muestra control (PEBD).*

Tratamientos	Transparencia (%)
T1	4,12 ± 0,015 ab
T2	6,16 ± 0,06 b
T3	3,22 ± 0,018ab
T4	3,55 ± 0,024 ab
T5	0,51±0,003 a
T6	1,06 ± 0,021 ab
Control	80,45± 1,48 abc

Nota: Los resultados mostrados son el valor medio y ± la desviación estándar para cada tratamiento y la muestra control. Las letras representadas muestran la diferencia significativa entre los tratamientos y el control con un valor ($P \leq 0.05$). **Elaborado por:** Galarza S. Inés

Según los datos reportados en la tabla 17 el tratamiento con menos transparencia es el T1 con (7,5% harina de fruta de pan y 2,5% glicerol) con un valor de 0,51% refiriéndose a que el aspecto de la película sea menos transparente efectuado por la opacidad característica que otorgada una mayor protección en la luz; debido a los distintos componentes en su estructura, al contrario, tomando como referencia al control PEBD del cual se obtuvo 80,45% de transparencia refiriendo al paso directo de luz a través de este tipo de material otorgándole la característica de transparente ya permite el paso directo de luz (López, Cerón, Osorio, Checa, & Villada, 2017).

Por último, mediante un análisis estadístico con la prueba de Tukey, se demostró que si existe diferencia significativa en los valores de transparencia entre los tratamientos ya que este cambia de acuerdo a sus componentes principalmente de acuerdo al contenido de glicerol ya al utilizar como plastificante también mejora la interacción molecular reduciendo la opacidad y de esa manera favorece al paso de luz, además, comparando con el control también existe diferencia significativa ya que de acuerdo a su estructura molecular poco densa favorece la transparencia (Solano, Alamilla, & Jiménez, 2018).

3.3 Biodegradación

Se hace referencia a la capacidad de un elemento para transformarse y deteriorarse por la acción de microorganismos o enzimas, para disminuir el impacto ambiental que está provocando el uso desmedido de plásticos; las biopelículas son productos que pueden competir en el mercado ya que se consideran biodegradables, es decir, rompen su estructura con facilidad en un periodo corto de tiempo (Trejo et al., 2001). Se conocen diversos métodos para que un material pueda transformarse, sin embargo, la exposición al suelo es el más reconocido, es así que para comprobar que un material es biodegradable se hace pruebas en el suelo de modo que se exponga a diferentes condiciones ambientales simulando condiciones de biodegradación reales (Trejo et al., 2001).

Tabla 18.

Caracterización del suelo inicial para la biodegradación.

Análisis de Caracterización del Suelo inicial	
Nitrógeno %	0,34
Humedad %	23,10
UFC/g ($\times 10^6$)	6,10
pH	6,44

Elaborado por: LACONAL, (2023)

3.3.1 Ensayo de enterrado

Siguiendo la metodología descrita en la figura 13, se inició el proceso de biodegradación tomando en cuenta las fases por las que las biopelículas previamente acondicionadas y a una temperatura de 23 °C se colocaron en macetas con tierra para que experimenten cambios climáticos simulados, como condiciones atmosféricas de lluvia, luz y oscuridad (Cada 3 días). El ensayo se realizó por duplicado y las películas presentaron cambios notorios en su apariencia física asemejándose a lo obtenido por Arévalo et al. (2018) quien realizó una propuesta de envases biodegradables obtenidos resultados satisfactorios de degradación a los 35 días.

Los resultados obtenidos muestran que las biopelículas elaboradas a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) se degradan dado que sus principales características como color, rigidez y textura cambiaron durante el tiempo que duró el ensayo (30 días), demostrando resultados semejantes en la obtención de biopelículas de albedo de maracuyá donde el tiempo de degradación fue de 51 días (Alcides et al., 2015) y en la elaboración de empaques activos a partir de cítricos donde el tiempo fue de 57 días (Arévalo et al., 2018) otorgándole valor a la calidad del suelo y la composición que posee la harina utilizada para la elaboración de las películas.



Figura 13. *Proceso de biodegradación. A: maceta+ suelo inicial; B: incorporación de malla separadora; C: biopelícula degradable a partir de harina de fruta de pan sobre malla y suelo; D: enterrado de biopelícula degradable; E: proceso de biodegradación (30 días). Elaborado por: Galarza S. Inés*

En la figura 14 se observa el procedimiento a partir del día 0, 5, 15, 25 y 30 de la degradación de las biopelículas, reconociendo que uno de los factores más importantes para la descomposición son los microorganismos propios del suelo que digieren la película y provocan que las cadenas de amilosa presentes en las matrices poliméricas de la película de harina de fruta de pan tengan la mayor cantidad posible de agua provocando un aumento acelerado en la tasa de biodegradación como se muestra en la

tabla 18, la cantidad de microorganismos al inicio del proceso de biodegradación con una humedad de 23,10%. (Velasco et al., 2022), afirma en su estudio que desarrollar biopelículas con fuente renovables como los almidones, proporcionan una opción amigable con el planeta que se descomponen bajo condiciones favorables en periodos de tiempo menores, acción que no sucede con los plásticos comerciales comunes (PEBD) ya que estos no se descomponen en el suelo en plazos cortos y sus componentes son liberados y arrastrados contaminando toda la zona en la que ha sido enterrada.

Tomando en consideración el clima al que fueron expuestas cada una de las biopelículas como se muestra en la tabla 19, es importante mencionar que mediante una absorción de agua facilita la biodegradación de las biopelículas a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), además al contener glicerol en su estructura éste disminuye la fuerza de las biopelículas reduciendo las fuerzas intermoleculares del almidón (Antonio et al., 2020).

Tabla 19.

Condiciones climáticas durante el ensayo de biodegradación

Temperatura (min - máx.) y % Humedad en Ambato		
Parámetro	17-nov-23	17-dic-23
Temperatura mínima (°C)	8.9	8.9
Temperatura máxima (°C)	16.9	16.5
% Humedad Relativa Media	83%	85%

Elaborado por: Galarza S. Inés

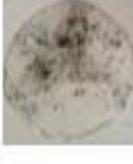
Tratamientos	Tiempo de biodegradación				
	Día 0	Día 5	Día 15	Día 25	Día 30
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					
T6					
Control					

Figura 14 *Proceso de biodegradación de las biopelículas a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus altilis) desde el día 0 hasta el día 30. Elaborado por: Galarza S. Inés*

Una de las razones más importantes por las que se desarrollan bioplásticos con materiales obtenidos de fuentes naturales es por la ventaja de considerarse degradables ya que esto da paso a una desintoxicación del suelo siendo una alternativa sostenible frente al PEBD. Uno de los factores que poseen relevancia al momento de la degradación de las biopelículas es el espesor de la misma ya que en base a lo establecido por Alcides et al., (2015), para garantizar que una biopelícula se considere como sostenible es importante que se garantice la funcionalidad de la misma a través de la implementación de las proporciones adecuadas para que el producto final a obtener factibilidad y no presente impactos negativos con el ambiente como es el caso de las películas de PEBD que no son biodegradables y su presencia en el suelo es tóxica. Se puede observar en el experimento que el tiempo de biodegradación es de 20 días lo que quiere decir que genera un gran beneficio al planeta tierra ya que se ha logrado demostrar la importancia que tienen las biopelículas referentes a plásticos convencionales es decir estas biopelículas tienen un menor tiempo de biodegradación con respecto a los elaborados de forma industrial que tardan muchos años en descomponerse.

3.3.2 Porcentaje de materia seca (%MS)

La determinación del % MS de las biopelículas de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) se desarrolló una vez culminado el tiempo de ensayo (30 días desde noviembre hasta diciembre 2023). La pérdida de peso de las películas durante el tiempo que duro el ensayo está relacionada con la pérdida de la materia seca o soluble en agua del almidón presente en la harina. La pérdida de peso de las biopelículas en contraste con la muestra control, demuestran que los tratamientos que contiene una mayor concentración de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) disminuyen su peso de forma gradual y por esta razón su peso al final del ensayo es menor que las demás muestras (Figura 15).

Esto puede darse por acción del almidón que al ser liberado en una matriz que contiene glicerol mejora sus propiedades de difusión de nutrientes (Trejo et al., 2001) aumentando de forma significativa la tasa de degradación. En contraste con lo obtenido por (Bonifaz, 2020), donde en su estudio realizado observó descomposición al día 24. Valores muy similares a los obtenidos en esta investigación

Además, en el análisis estadístico comparativo con una prueba de Tukey ($P < 0,05$) permitió reconocer que no existen diferencias significativas entre tratamientos, no obstante, con respecto al control si existieron variaciones notorias debido a que al ser un hidrocarburo que se repele al agua no retiene sólidos solubles dando como resultado la contaminación del suelo a largo plazo (Vera et al., 2020).

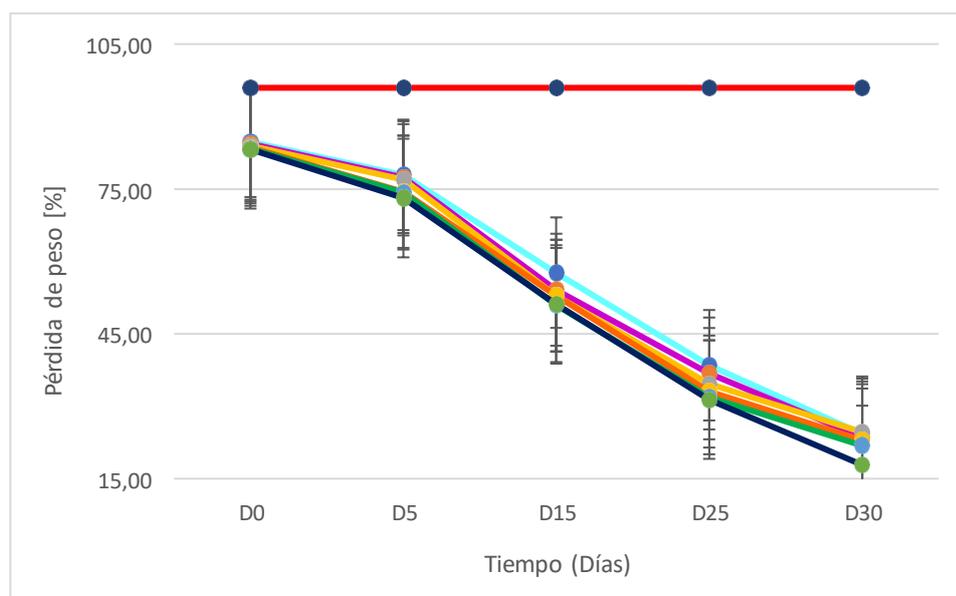


Figura 15. Resultados gráficos de pérdida de peso de las biopelículas de harina de fruta de pan y control PEBD durante 30 días. T1: 2,5 % harina y glicerol al 2,5% (turquesa); T2: 2,5% harina y glicerol al 5% (lila); T3: 5% harina y glicerol 2,5% (amarillo); T4: 5% harina y glicerol al 5% (naranja); T5: 7,5% harina y glicerol al 2,5% (verde); T6: 7,5% harina y glicerol al 5% (azul); Control: plástico transparente (PEBD) (rojo). **Elaborado por:** Galarza S. Inés

3.3.3 Contenido de nitrógeno total en el suelo

Se realizó un análisis del contenido de nitrógeno presente en el suelo al transcurrir los 30 días del ensayo. En la tabla 20 se observan los valores iniciales y finales donde se hace referencia a la degradación producida por el biopelícula en el suelo siendo este inversamente proporcional a la cantidad de nitrógeno encontrado en el suelo entre el día 0 y el día 30, es decir, se observa la disminución de nitrógeno entre el inicio y el fin de la biodegradación por acción de microorganismos que generan el correcto equilibrio entre el nitrógeno y el carbono presentes en el suelo, siendo el nitrógeno consumido significativamente en el proceso de descomposición de la biopelícula (López et al., 2017). En comparación con la muestra control, en los tratamientos la

pérdida de peso de las biopelículas que contenían 5–7 g de harina de fruta de pan y 2,5% glicerol disminuyeron su peso de forma gradual debido a que se libera en la matriz el almidón de manera más rápida y eficaz dando como resultado una alta tasa de biodegradación como se observa en la figura 15 siendo significativo estadísticamente ($p < 0,05$) con respecto al control el cual al ser de material sintético PEBD no es capaz de generar una liberación de sus componentes en el mismo periodo de tiempo y por ende, la cantidad total de peso perdido no difiere con el tiempo (Palma et al., 2017).

Finalmente es importante mencionar que tiene una relación directa entre el proceso de biodegradación y el % de nitrógeno antes y después del ensayo de enterrado, el cual se puede mencionar una disminución del nitrógeno del mismo esto es ventajoso ya que se puede indicar que el suelo está comenzando a enriquecerse generando las condiciones necesarias para que a futuro pueda crecer cualquier planta. De esta manera se demuestra que elaborar biopelículas genera una alternativa ecológica de uso de recursos renovables para aportar significativa al cambio climático y generando productos eco amigables que permitan tener características similares a los plásticos convencionales reduciendo su impacto ambiental y su tiempo de biodegradación. Cabe mencionar que mejoro sustancialmente al suelo que comenzó a crecer plantas (Ver Anexo 7B), lo que permite una corroboración de los resultados y permite observar que el deterioro de biopelículas mejora las condiciones de biodegradación en el suelo.

Tabla 20.

Porcentaje de Nitrógeno en el suelo al inicio y al final del proceso de biodegradación.

Muestra	Nitrógeno Total Inicial(%)	Nitrógeno Total Final(%)
Suelo	0,34	0,27

Elaborado por: LACONAL, (2023); Anexos 1 y 2

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se desarrollaron biopelículas degradables con la adición de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y glicerol como plastificante natural. Presentado un aspecto flexible de superficie lisa sin ninguna deformidad. Además, las biopelículas mostraron actividad de descomposición en el suelo en un periodo corto de tiempo de alrededor de 27 días representando una ventaja frente al control (PEBD).
- Las biopelículas desarrolladas con un mayor porcentaje de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) en proporción inversa al porcentaje de glicerol, presentaron mejoras en sus propiedades fisicoquímicas; demostrando que el tratamiento A1B0 (T3) con valores de espesor y humedad de 0,48 mm y 16,13 % respectivamente; resistencia a fuerza de punción de 12,76 N en mayor tiempo fue el que mayor beneficio presento en comparación con los demás tratamientos, donde buenas características mecánicas y ópticas.
- Se evaluaron las condiciones de biodegradabilidad de las biopelículas a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y se demostró que las propiedades mecánicas y fisicoquímicas influyen directamente en el tiempo de descomposición biológica; al tener una formulación idónea donde la cantidad de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) sea mayor e inversamente proporcional al porcentaje de glicerol permitirá la degradación total en un máximo de 20 días en adelante sin afectar el suelo por la presencia de compuestos tóxicos como los encontrados en el control (PEBD).

Recomendaciones

- Para obtener harina de buena calidad es importante adquirir la fruta en buenas condiciones sin ningún tipo de daño, para poder contar con cada uno de sus componentes principalmente el almidón que es el más importante en la formulación de biopelículas degradables.
- Controlar la temperatura y el tiempo de secado para las biopelículas ya que interferencias en estos parámetros ocasionaría que los resultados se vean afectados directamente obteniendo partiduras y rompimiento total de las películas.
- Se recomienda trabajar con las biopelículas obtenidas en la aplicación de un sub producto que sea de interés comercial para la industria alimentaria.

MATERIALES DE REFERENCIA

- Acevedo, C. (2011). Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional.
- Adepeju, A., Gbadamosi, S., Adeniran, A., & Omobuwalo, T. (2011). Functional and pasting characteristics of breadfruit (*Artocarpus altilis*) flours. Obtenido de African Journal of Food Science.
- Alcides, J., Chanatasis Escuela, C., Panamericana, A., & Honduras, Z. (2015). Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (*Passiflora edulis* spp.).
- Antonio, F., Aucahuasi, S., Del Carmen, L., Mogollón, H., Chipa, H. P., Elizabeth, M., & Chacón, C. (2020). AUTOR PARA CORRESPONDENCIA. 47(4), 22–31 <http://cagricola.uclv.edu.cu>
- Arcos, J., & Marín, B. (2021). La actualidad de los tipos de envases plásticos para alimentos. *Journal of Engineering Sciences*, 5-15.
- Arévalo, K., Alemán, M., Rojas, G., & Morales, L. (2010). Películas biodegradables a partir de residuos de cítricos: propuesta de empaques activos | revista latinoamericana de biotecnología ambiental y algal. <http://www.solabiaa.org/ojs3/index.php/RELBAA/article/view/19>
- Avellán, A., Díaz, D., Mendoza, A., Zambrano, M., Zamora, Y., & Riera, M. A. (2020). *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios. Tecnología y Negocios*, 7(1), 1–11.
- Bátori, V., Jabbari, M., Åkesson, D., Lennartsson, P. R., Taherzadeh, M. J., & Zamani, A. (2017). Production of Pectin-Cellulose Biofilms: A New Approach for Citrus Waste Recycling. *International Journal of Polymer Science*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/9732329>
- Bonifaz, E. (2020). Elaboración de biopelículas de harina de musa acuminata activadas con aceites esenciales *Rosmarinus Officinalis* Y *Eucalyptus Globulus* mediante técnica casting.
- Buteler, M. (2019). El problema del plástico ¿Qué es la contaminación por plástico y por qué nos afecta a todos? *Difundiendo saberes*, 56-60.
- Cabrera Durán, E., & Castillo Martínez, J. M. (2018). Aprovechamiento de la fruta del árbol de pan (*Artocarpus altilis*) para la obtención de un derivado alimenticio (harina). *Investigación e Innovación En Ingenierías*, 6(2), 30–

46. <https://doi.org/10.17081/invinno.6.2.3110>

- Cedeño, L., Yáñez, M., Nuñez, T., Montalván, N., & Rogel, M. (2023). Efecto de gelatina y aceite esencial de mandarina en películas de almidón de maíz. *Ciencia UNEMI*, 35-44.
- Crespo, R. J. (2002). Uso del horno microondas para la obtención del valor de materia seca en especies forrajeras. <https://www.researchgate.net/publication/267327330>
- Cusme, K., & Gómez, A. (2019). Porcentajes de almidones con adición de plastificantes naturales en la elaboración de un recubrimiento. <https://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/1062/1/TTMAI8.pdf>
- Díaz, A. (2021). Elaboración y caracterización fisicomecánica de una película biodegradable utilizando harina de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.). Obtenido de Tesis.
- Elías, R. (2018). Mar del plástico: Una revisión del plástico en el mar. *Rev. Invest. Desarr. Pesq*, 27, 63–73. https://aquadocs.org/bitstream/handle/1834/10964/RevINIDEP27_83.pdf?sequence=1& sAllowed=yi
- García, L. (2019). Plásticos en los océanos. INCYTU, 2-6.
- Guaña, F., Vaca, M., & Aguilar, J. (2022). Biopelículas y envases activos, nuevas tecnologías en la industria alimentaria. *FACSALUD UNEMI*, 18-32.
- Hernández, M., Guillén, J., Bautista, S., & Guillen S, D. (2018). Evaluación de películas biodegradables en el control de hongos postcosecha de la papaya. *inca*, 52-60.
- Ishizawa, C., & Nakamatsy, J. (2020). Matrices Poliméricas para Liberación Controlada de Sustancias Activas. *Revista de Química*, 13-23.
- López, D., Cerón, A., Osorio, O., Checa, E., & Villada, H. (2017). Evaluación de propiedades mecánicas de películas biodegradables a base de almidón de papa, almidón de yuca y proteína de suero de leche. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 582-587.
- Mederos, Y., Bernabé, P., & Ramírez, M. (2020). Películas basadas en polisacáridos como recubrimientos biodegradables y su empleo en la postcosecha de los frutos. *inca*, 58-63.

- Mera, A. (2022). Obtención de una biopelícula a partir de semillas de frutipan (*Artocarpus altilis*) para el embalaje de alimentos. Obtenido de Tesis
- Moreno, G. (2015). Utilización de harina de plátano (*Musa balbisiana*), en el desarrollo de películas biodegradables activas” [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/11979>
- Montes, L. (2022). Obtención de una biopelícula probiótica comestible a partir de un subproducto a base de almidón. Obtenido de Tesis UNAD.
- Muñoz, P., Salaris, V., López, D., & Peponi, L. (2022). Funcionalización de Polímeros (FUPOL)group. RPM, 5-10.
- Niño, L., García, A., Medina, O., & Rojas, C. (2018). Biopelículas fotoactivas: material de empaque en alimentos sensibles a la oxidación. Scielo.
- NTE INEN 1108. (2014). Agua Potable. Requisitos. Nte Inen 1108. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1108(5), 1–10. <https://bibliotecapromocion.msp.gob.ec/greenstone/collect/promocin/index/as/soc/HASH01a4.dir/doc.pdf%0Ahttp://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1108-5.pdf>
- Palma-Rodríguez, H., Salgado-Delgado, R., Páramo-Calderón, D., Vargas-Torres, A., & Meza-Nieto, M. (2017). Caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche. Acta Universitaria, 27(1), 26–33. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1215>
- Pereda, M., Del, M., Moreira, R., Roura, S. I., Marcovich, N., & Aranguren, M. I. (2014). Biopelículas para el envasado de alimentos: Proteínas y Carbohidratos.
- Portilla, J. (2022). Análisis del Marco Normativo de Economía Circular en Ecuador Orientado al Sector de los Plásticos. FIGEMPA, 38-47.
- Riera, M., & Palma, R. (2018). Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión. Avances en Química, 69-78.
- Royo, E., & Montoto, T. (2018). Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global. España: Ecologistas en Acción.

- Ruth, A., Ruilova, A., & Barros, M. (2017). Efectos del consumo de dietas a base de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) sobre la digestibilidad de los nutrientes en ovinos.
- Suárez, R., & Jetzy, X. (2019). Obtención de una película biodegradable a partir de almidones de semilla de aguacate (persea americana Mill) y banano (*Musa acuminata* AAA) para el recubrimiento de papaya. Universidad de Guayaquil.
- Solano, L., Alamilla, L., & Jiménez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Ciencias Químico Biológicas*, 30-42.
- Trejo, V., Aragón, N., & Miranda, P. (2001). Estimación de la permeabilidad al vapor de agua en películas a base de quitosán. In *Revista de la Sociedad Química de México* (Vol. 45, Issue 1).
- Velasco, R., Enríquez, M., Torres, A., Palacios, L., & Ruales, J. (2022). Caracterización morfológica de películas biodegradables a partir de almidón modificado de yuca, agente antimicrobiano y plastificante. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(2).
- Viteri, J. (2020). Utilización de cascara de plátano (*Musa spp.*), en el desarrollo de películas biodegradables.
- Yaguache, M. (2021). Caracterización físico químico y organoléptica de la harina de fruto de pan (*Artocarpus altilis*) para su uso en panadería y galletería. Obtenido de Tesis.
- Zambrano, C., Latorre, G., & Carrillo, B. (2022). Materiales Poliméricos y el impacto ambiental: Una revisión. *Polo del Conocimiento*, 596-614.

Anexos

Anexo 1. Análisis de LACONAL de caracterización del suelo inicial para biodegradación.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS

01202

CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

Certificado No: 23-231		01/28/23				
Solicitud N°: 23-231		Pág: 1 de 1				
Fecha recepción:	20 de noviembre de 2023	Fecha de ejecución de ensayos: 21 al 23 de noviembre de 2023				
Información del cliente:						
Empresa:		C.I./RUC: 1724420953				
Representante:	Maria Belén Vargas	Tlf: 0996612077				
Dirección:	Ambato	Email: mvargas09053@uta.edu.ec				
Ciudad:	Ambato					
Descripción de las muestras:						
Producto:	Muestra de Suelo	Peso: 30g				
Marca comercial:	n/a	Tipo de envase: funda plástica				
Lote:	n/a	No de muestras: una				
F. Elb.:	n/a	F. Exp.: n/a				
Conservación:	Ambiente X Refrigeración: Congelación	Almac. en Lab: 30 días				
Cierre seguridad:	Ninguno: X Intactos: Rotos:	Muestreo por el cliente: 17 de noviembre de 2023				
RESULTADOS OBTENIDOS						
Muestras	Código del laboratorio	Código cliente	Ensayos solicitados/Técnica	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Muestra de Suelo	23123441	Ninguno	Proteína, Kjeldhal	AOAC Ed. 22, 2023 2001.11	%	0,338
			Humedad, Gravimetría	AOAC Ed. 22, 2023 925.10	%	23,4
			Aerobios Mesófilos, Petrifilm	PE03-7.2-MB AOAC 990.12 Ed. 22, 2023	UFC/g	6,1x10 ⁶
Conds. Ambientales: 22,4°C; 45,1%HR						
			 Ing. Gladys Risueño Directora de Calidad			
Autorización para transferencia electrónica de resultados: Si						
Fecha de emisión del certificado: 28 de noviembre de 2023						
Nota: La muestra fue suministrada por el cliente y los resultados se aplican a la muestra en las condiciones recibidas. El Laboratorio se responsabiliza exclusivamente de los resultados obtenidos en base a la muestra entregada por el cliente. El Laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de este certificado. No es un documento negociable. Solo se permite su reproducción en caso de hacer y análisis referencial a la fuente. "La información que se está enviando es confidencial, es distribuida para su conocimiento y no puede ser recobrada. Si usted es el director de este laboratorio recomendamos eliminarlo inmediatamente. La distribución o copia del mismo está prohibida y será sancionada según el proceso legal pertinente".						



Dr.: Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Av. Los Obispos y Río Provenzano
 Edificio Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, Ambato - Ecuador
 ☎ (593) 3340097 ext. 5917, 5918 🌐 <http://laconal.uta.edu.ec> ✉ laconal@uta.edu.ec

Anexo 2. Análisis de LACONAL de contenido de nitrógeno en el suelo al final de biodegradación (30 días) de biopelículas a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*).



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS

01253

CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

Certificado No: 23-252-B		001-78 00				
Solicitud N°: 23-252		Pág. 1 de 1				
Fecha recepción:	19 de diciembre de 2023	Fecha de ejecución de ensayos: 19 al 20 de diciembre de 2023				
Información del cliente:						
Empresa:	Inés Abigail Galarza Sanabria	C.I./RUC: 1805234372				
Representante:	Inés Abigail Galarza Sanabria	Tel: 998565131				
Dirección:	Ambato	Email: igalarza4372@uta.edu.ec				
Ciudad:	Ambato					
Descripción de las muestras:						
Producto:	Harina de fruta de pan	Peso: 1H 500g				
Marca comercial:	n/a	Tipo de envase: funda plástica				
Lote:	n/a	No de muestras: una				
F. Elab.:	n/a	F. Exp.: n/a				
Conservación:	Ambiente: X Refrigeración: Congelación:	Almac. en Lab.: 30 días				
Cierres seguridad:	Ninguno: X Intactos: Rotos:	Muestreo por el cliente: 19 de diciembre de 2023				
RESULTADOS OBTENIDOS						
Muestras	Código del laboratorio	Código cliente	Ensayos solicitados/Técnica	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Harina de fruta de pan	25223488	Ninguno	Nitrógeno, Kjeldhal	AOAC Ed. 22, 2023 2001.11	%	0.267
Conds. Ambientales: 22.0°C; 54.0%HR						
 Ing. Gladys Risueño Directora de Calidad						
Autorización para transferencia electrónica de resultados: Si						
Fecha de emisión del certificado: 20 de diciembre de 2023						
<p style="font-size: x-small;">Nota: La muestra fue suministrada por el cliente y los resultados se aplican a la muestra en sus certificaciones recibidas. El Laboratorio se responsabiliza exclusivamente de los resultados emitidos en base a la muestra entregada por el cliente.</p> <p style="font-size: x-small;">El Laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de este certificado. No es un documento regulable. Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.</p> <p style="font-size: x-small;">"La información que se está enviando es confidencial, en todo momento, para su desarrollo y no puede ser utilizada. Si usted no es el destinatario de esta información recomendamos eliminar inmediatamente la distribución o copia del mismo así como también según el proceso legal pertinente."</p>						



Dir.: Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Av. Los charquis y Río Payamino
 Rofelito Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología / Ambato - Ecuador

(593) 32400987 ext. 5517, 5518 <http://laconal.uta.edu.ec> laconal@uta.edu.ec

Anexo 3. Obtención de materia prima (harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*)). **A:** fruta de pan (*Artocarpus altilis*); **B:** semillas de fruta de pan; **C:** harina de fruta de pan; **D:** almacenamiento. **Elaborado por:** Galarza S. Inés



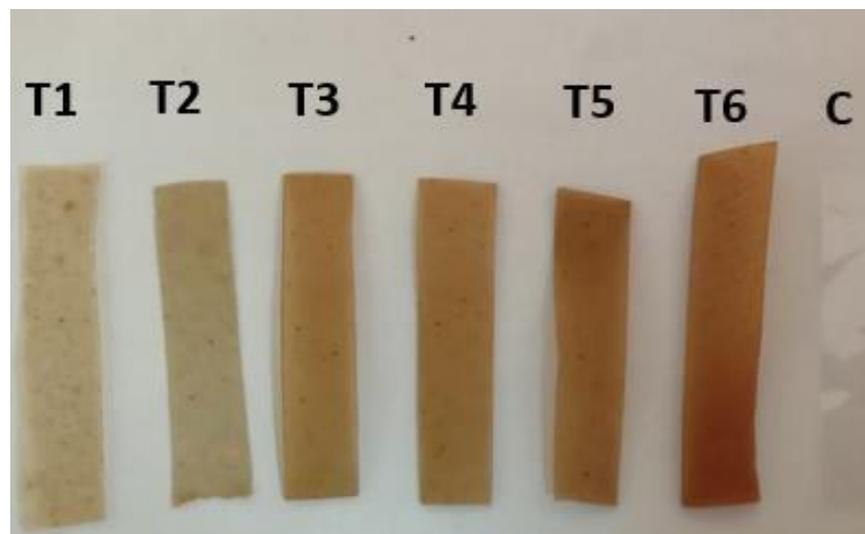
Anexo 4. Desarrollo de biopelículas degradables. **A:** pesaje de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*); **B:** calentamiento, gelatinización almidón; **C:** secado; **D:** biopelículas para desmolde. **Elaborado por:** Galarza S. Inés



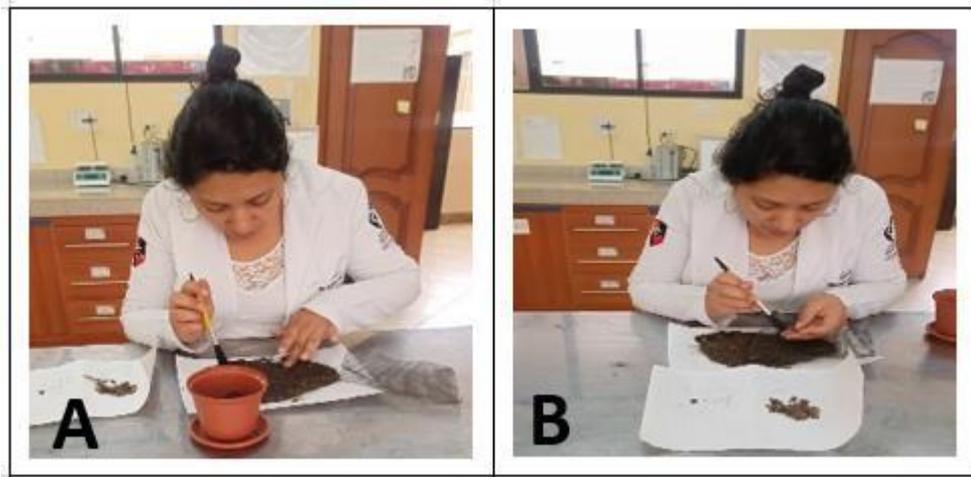
Anexo 5. Realización de análisis. **A:** análisis de color; **B:** prueba de punción, texturómetro (*Brookfield CT3*); **C:** resistencia al agua (agregando agua). **Elaborado por:** Galarza S. Inés



Anexo 6. Muestras para prueba de transparencia, variación de tono de color. **Elaborado por:** Galarza S. Inés



Anexo 7. Proceso de biodegradación. **A:** Desenterrado de biopelículas.; **B:** eliminación de exceso de tierra sobre biopelículas. **Elaborado por:** Galarza S. Inés



Anexo 8. Ensayo de enterrado. **A:** muestras de biopelículas de acuerdo al día 0,5,15,25,30; **B:** crecimiento de planta. **Elaborado por:** Galarza S. Inés

