

DESARROLLO DE BIOPELÍCULAS DEGRADABLES A PARTIR DE HARINA DE FRUTA DE PAN (ARTOCARPUS ALTILIS), COMO ALTERNATIVA AL USO DE PLÁSTICOS SINTÉTICOS CONVENCIONALES

DEVELOPMENT OF DEGRADABLE BIOFILMS FROM BREADFRUIT
(ARTOCARPUS ALTILIS) FLOUR AS AN ALTERNATIVE TO THE USE OF
CONVENTIONAL SYNTHETIC PLASTICS

Recibido: 27/10/2024 – Aceptado: 11/11/2024

Gabriel Alejandro Moreno Toasa

Docente-Investigador FCIAB en la Universidad Técnica de Ambato
Ambato - Ecuador

Master en Química Aplicada con especialización en Química Molecular y Química de Materiales
Universidad Autónoma de Madrid

ga.morenot@uta.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1976-8699>

Inés Abigail Galarza Sanabria

Investigador Independiente
Ambato - Ecuador

Ingeniera en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato

igalarza4372@uta.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0000-9465-0212>

Magdalena Lizbeth Sailema Ortiz

Investigador en la Universidad de Buenos Aires
Buenos Aires – Argentina

Ingeniera Bioquímica
Universidad Técnica de Ambato

magdaliz_so@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6092-194X>

Cómo citar este artículo:

Moreno, G., Galarza, I., & Sailema, M. (Enero – Diciembre 2024). Desarrollo de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), como alternativa al uso de plásticos sintéticos convencionales. *Tierra Infinita* (10), 153-173. <https://doi.org/10.32645/26028131.1312>

Cómo citar este artículo:

Moreno, G., Galarza, I., & Sailema, M. (Enero – Diciembre 2024). Desarrollo de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), como alternativa al uso de plásticos sintéticos convencionales. *Tierra Infinita* (10), 153-173. <https://doi.org/10.32645/26028131.1312>

Resumen

El presente trabajo analiza la problemática ambiental derivada del uso de plásticos sintéticos convencionales, los cuales, debido a su resistencia y prolongada vida útil, generan acumulación de residuos y problemas de salud asociados a la ingesta de microplásticos y la liberación de sustancias tóxicas. Como alternativa sostenible, se propone el desarrollo de biopelículas biodegradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*). El objetivo de la investigación es evaluar la viabilidad de estas biopelículas como sustituto ecológico de los plásticos derivados del petróleo, mediante la caracterización de sus propiedades físicas, mecánicas y ópticas, así como su capacidad de degradación en condiciones controladas de suelo. La metodología incluyó la obtención de biopelículas a partir del almidón presente en la harina de fruta de pan, seguido de pruebas para determinar sus propiedades y tasa de biodegradabilidad. Las biopelículas elaboradas en laboratorio, fueron sometidas a condiciones controladas de degradación en suelo. Los resultados indicaron que estas biopelículas presentaron buenas propiedades físicas, mecánicas y ópticas adecuadas para su uso como material alternativo a los plásticos sintéticos, con una capacidad de degradación completa en un tiempo aproximado de 30 días. En conclusión, se demostró que las biopelículas a base de harina de fruta de pan son una solución viable y ecológica para reducir la contaminación ambiental causada por plásticos convencionales, contribuyendo a la sostenibilidad del entorno.

Palabras Clave: Biopelículas, Degradación, Fruta de pan, Almidón, Bioplástico.

Abstract

This work analyzes the environmental problems derived from the use of conventional synthetic plastics, which, due to their resistance and long useful life, generate waste accumulation and health problems associated with the ingestion of microplastics and the release of toxic substances. As a sustainable alternative, the development of biodegradable biofilms from breadfruit flour (*Artocarpus altilis*) is proposed. The objective of the research is to evaluate the viability of these biofilms as an ecological substitute for petroleum-derived plastics, by characterizing their physical, mechanical and optical properties, as well as their degradation capacity under controlled soil conditions. The methodology included obtaining biofilms from starch present in breadfruit flour, followed by tests to determine their properties and biodegradability rate. The biofilms prepared in the laboratory were subjected to controlled degradation conditions in soil. The results indicated that these biofilms presented good physical, mechanical and optical properties suitable for use as an alternative material to synthetic plastics, with a capacity for complete degradation in approximately 30 days. In conclusion, it was demonstrated that biofilms based on breadfruit flour are a viable and ecological solution to reduce environmental pollution caused by conventional plastics, contributing to the sustainability of the environment.

Kew Words: Biofilms, Degradation, Breadfruit, Starch, Bioplastic.

Cómo citar este artículo:

Moreno, G., Galarza, I., & Sailema, M. (Enero – Diciembre 2024). Desarrollo de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), como alternativa al uso de plásticos sintéticos convencionales. *Tierra Infinita* (10), 153-173. <https://doi.org/10.32645/26028131.1312>

Introducción

Los residuos plásticos son de limitada degradación y su producción excesiva, genera alto impacto ambiental (Jaén et al. 2019) como: contaminación del agua, suelo, aire, flora y fauna, deteriorando el entorno natural ya que al no reutilizar ni reciclar, son transportados mediante lluvias o animales, hacia los océanos y al estar en el entorno marino se enfrentan a condiciones variables como: temperatura, salinidad, radiación UV y fuerzas mecánicas de la marea, dando lugar a la formación de los macro (>5mm) o micro (<5mm) plásticos (García and Rentería 2019); Acumulándose en organismos acuáticos migrando a la cadena alimenticia (Elías 2015). 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); el 9% se recicla, 12% se incinera y el 79% contamina los ecosistemas acumulándose en basureros, desagües, ríos y océano (García and Rentería 2019).

En el Ecuador el consumo de plástico es de 20 kg per cápita, en comparación con Perú y Colombia; cada habitante ecuatoriano produce un promedio de 0,58 kg/día de residuos sólidos. Además, se estima que el 79% de plástico que ha sido producido desde los años 50, se encuentran en vertederos o en medio de la naturaleza (Riera and Palma 2018); demostrando que es necesario alternativas sostenibles que limiten y reduzcan la cantidad de plástico; es por ello, que el desarrollo de bioplásticos a partir de fuentes naturales son alternativas amigables para el medio ambiente.

1.1 Películas Biodegradables

Las películas biodegradables se definen como láminas finas que se elaboran a partir de 3 componentes: polímero natural, disolvente y plastificante (Solano-Doblado et al. 2018). 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 (Velasco et al. 2012). La acción de los microorganismos en la biopelícula es importante ya que la degradación es más simple (Acosta Medina et al. 2023); 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 películas biodegradables de una mejor calidad y eficiencia (López et al. 2017).

1.2 Fruta de pan (*Artocarpus altilis*)

La fruta de pan (*Artocarpus altilis*) es un alimento nutritivo originario del sudeste asiático que se ha extendido y cultivado en regiones tropicales del mundo, en el Ecuador se producen en la Costa y Amazonia, regiones cálidas para su cultivo. Los árboles son grandes (15-20 m) de hojas verdes con una nervadura central y venas principales (Kehinde et al. 2022). Sus frutos de forma ovalada (12-20 cm diámetro), corteza espinosa poseen una pulpa fibrosa de color blanco cremoso o amarillo pálido de donde surgen sus semillas marrones, oblongas poco aplanadas que contiene una cáscara tipo leñosa que ofrece protección (Mera 2022). 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 (Cabrera Durán and Castillo Martínez 2018). En la actualidad, se producen harinas de esta fruta permitiendo obtener subproductos como: galletas, cupcakes, muffins, barras energéticas, entre otros (Trejo et al. 2001).

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

En Ecuador, existe un gran número de especies vegetales de la región amazónica que se encuentran desaprovechadas como la fruta de pan, su producción en el país es por temporadas (junio- septiembre) y puede llegar a ser abundante, pero al no ser conocida, no es aprovechada en su totalidad ya que es utilizada como alimento para animales (Cabrera Durán and Castillo Martinez 2018). La harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) es de color blanco, hasta alcanzar un tono amarillento, de sabor dulce con una textura granular fina y consistencia de polvo, después del tamizado, eliminando los gránulos gruesos (Yaguacge 2021). Además, tiene un alto rendimiento porcentual 17,9% a comparación de otras harinas vegetales como: yuca, plátano, arroz, entre otras; Finalmente, es una fuente de nutrientes que contiene calcio, niacina, potasio y hierro. Se conoce que el almidón es uno de los componentes principales de la harina de fruta de pan, generando 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 una ingesta alta de carbohidratos altamente nutritivo (Cabrera Durán and Castillo Martinez 2018).

Por último, las 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 proteger y prolongar la vida útil de algunos alimentos (Chariguamán 2015). Estos bioproductos 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; para que estas películas biodegradables puedan ser creadas de forma industrial y así contrarrestar los efectos ambientales, explotando los recursos naturales renovables y brindando alternativas de uso eco amigable al consumidor.

Material y métodos

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, y la harina se obtuvo mediante el método descrito por Cabrera & Castillo (2018), como se muestra en la Figura 1. Además, como plastificante se utilizó glicerol.

Figura 1.

Proceso de elaboración de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*). A: fruta de pan; B: semillas de fruta de pan; C: harina de fruta de pan; D: almacenamiento



Cómo citar este artículo:

Moreno, G., Galarza, I., & Sailema, M. (Enero – Diciembre 2024). Desarrollo de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), como alternativa al uso de plásticos sintéticos convencionales. *Tierra Infinita* (10), 153-173. <https://doi.org/10.32645/26028131.1312>

Formulación y desarrollo de películas biodegradables

Una vez obtenida la harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), se elaboraron las películas biodegradables siguiendo la metodología establecida por Solano, Alamilla, & Jiménez, (2018), utilizando la técnica de *casting* en monocapa (*drop casting*). Donde se vierte un material líquido en un molde plano plástico permitiendo que se endurezca la matriz filmogénica a través de un secado controlado. Luego, la lámina delgada resultante se desmolda para su posterior análisis y aplicación. Se utilizó un diseño experimental A*B bifactorial (Tabla 1), y una bolsa plástica transparente (PEBD) como control, ya que este tipo de material es utilizado en el transporte, embalaje y almacenamiento de alimentos (Acosta Medina et al. 2023). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Tabla 1.

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

Factores	Niveles	Diseño experimental A*B	Tratamientos
A: Harina fruta de fruta de pan (<i>Artocarpus altilis</i>)	A0: 2,5 % harina de fruta de pan	A0B0	T1 = 2,5 % harina; 2,5% glicerol
	A1: 5 % harina de fruta de pan	A0B1	T2 = 2,5 % harina; 5,0 % glicerol
	A2: 7,5 % harina de fruta de pan	A1B0	T3 = 5 % harina; 2,5 % glicerol
B: Glicerol	B0: 2,5% glicerol	A1B1	T4 = 5 % harina; 2,5% glicerol
	B1: 5,0% glicerol	A2B0	T5= 7.5 % harina; 2.5 % glicerol
		A2B1	T6 = 7.5 % harina; 5 % glicerol
	Control	C	T7 = Bolsa plastica PEBD (Polietileno de baja densidad).

De acuerdo con el diseño experimental (Tabla 1), 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 con agua en relación al porcentaje, la solución se calentó (80-90°C), manteniéndose agitación constante por 15 minutos y se obtuvo la solución filmogénica (Arévalo et al. 2010). A continuación, se disminuyó la temperatura (<60°C), para adicionar el glicerol a diferentes concentraciones en peso en relación a la solución filmogénica total del plastificante; para alcanzar completa solubilización, se filtró la mezcla y se aplicó ultrasonido (15 min) para eliminar burbujas. Las películas se desarrollaron por el método de *casting* en monocapa, donde se pesaron 25 gramos de solución filmogénica, en una caja Petri plástica (56,75 cm²), y posteriormente se secaron a 60°C, durante 12 horas (Moreno 2015). Finalmente, se pre-acondicionaron las películas para generar elasticidad en un desecador con solución salina (NaCl) durante 4 horas.

Propiedades fisicoquímicas

Contenido de humedad (%H)

Se determinó el contenido de agua en las películas mediante el método de secado establecido por la A.O.A.C (Asociación Oficial de Químicos Analistas) donde se pesa 1.5-2.0 g de muestra

se seca a 110°C por 24 horas y se presenta como el porcentaje del peso total de la cantidad de agua (Crespo 2019).

Espesor (mm)

Con un micrómetro (*Whale Brand*, USA) se midió el espesor (mm) de las biopelículas en 15 localizaciones elegidas al azar (Moreno 2015). Esto permite determinar características uniformes en biopelículas.

Propiedades mecánicas

Prueba de punción (N)

En un analizador de textura (*Brookfield CT3*), y con el programa TexturePro CT VL.2 Build 9, se realizó la evaluación en un área aproximada de 10000 mm² en las biopelículas, las cuáles se fijaron en una base cuadrada (*TA-DE*) de 100 cm² con una abertura en el centro de 6 cm de diámetro. Para el punto de rotura, se utilizó un émbolo esfera (*sonda TA23*) de 5 mm fabricado de acero inoxidable, a una velocidad de 1.70 mm/s (Moreno 2015).

Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

Se determinó con el método descrito por Arancibia et al. (2014), donde a temperatura ambiente (25°C) se llenó un desecador con agua destilada, para alcanzar el 100% HR en el sistema. Posteriormente se llenaron frascos plásticos con 50 g de gel de sílice y en la parte superior un orificio de 3 cm diámetro; se colocaron las películas y ajustaron entre el recipiente de cristal y la parte superior con el orificio. Cada sistema se pesó 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 atracción del gel de sílice; de esta manera se calcula la permeabilidad al vapor de agua siguiendo la ecuación: $PVA = w \cdot x \cdot t^{-1} \cdot A^{-1} \cdot \Delta P^{-1}$, 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).

Solubilidad de las películas (%S)

Las películas fueron cortadas con 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; por último, fueron secadas a 105°C por 24 horas (Mera 2022). La solubilidad de la película se calculará con la ecuación: $\%S = [(W_0 - W_f) / W_f] \cdot 100\%$, donde W_0 es el peso inicial de la película expresada como materia seca (g) y W_f es el peso del residuo desecado sin disolver la película (g).

Propiedades ópticas

Color

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

Cómo citar este artículo:

Moreno, G., Galarza, I., & Sailema, M. (Enero – Diciembre 2024). Desarrollo de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), como alternativa al uso de plásticos sintéticos convencionales. *Tierra Infinita* (10), 153-173. <https://doi.org/10.32645/26028131.1312>

Transparencia (%T) UV-VIS de biopelículas

Se utilizó un espectrofotómetro UV-VIS (*Fisher Scientific*), calibrado con una longitud de onda entre 200 a 800 nm, 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. El %T se calculó con los valores de absorbancia aplicando la ecuación: $\%T = [10^{-(\text{absorbancia})}] * 100\%$.

Evaluación de la degradabilidad

Ensayo de biodegradación

Se llevó a cabo utilizando muestras de suelo orgánico natural y las biopelículas previamente acondicionadas (75% Humedad relativa). En pequeñas macetas se colocó tierra fértil, sobre ella una fina malla negra y luego las biopelículas obtenidas, por último, se las enterró. Finalmente, se agregó agua para simular condiciones de lluvia para iniciar el proceso de biodegradación. A los días 0, 5, 15, 25 y 30, se las desenterró, limpió y secaron a 60 °C durante 24 horas, hasta llegar a un peso constante; el grado de degradación se determinó siguiendo con la ecuación: $W_{\text{pérdida}} = [(W_0 - W_f) / W_0] * 100\%$. Donde W_0 y W_f es el peso de la película antes y después de la prueba de degradación (g) (Moreno 2015).

Porcentaje de Materia seca (%MS)

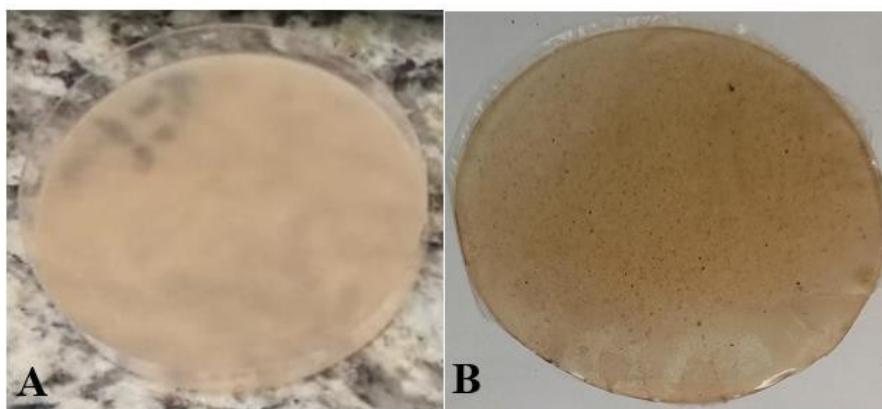
Se determinó por el método de secado establecido por la A.O.A.C. Donde se pesaron 1.5 - 2.0 g de muestra a 110°C por 24 horas. El contenido de materia seca se expresó como porcentaje del peso total y se calculó mediante ecuación: $\%MS = [(W_{\text{muestra + capsula}} - W_{\text{capsula}}) / W_{\text{muestra humedad}}]$, donde W: Peso en gramos.

Resultados y discusión

Las biopelículas presentaron una superficie lisa y homogénea sin presencia de burbujas ni grietas, siendo uniformes de color (Figura 2). Cusme and 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 es más soluble, lo que al adicionar glicerol se degrada completamente la estructura cristalina del almidón, generando una estructura elástica y maleable capaz de ser moldeada en formas distintas (Pelissari et al. 2019).

Figura 2.

Biopelículas 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).



Propiedades fisicoquímicas:

Contenido de materia seca y humedad

Las biopelículas mostraron valores entre 15.23-16.77 %H, la presencia de glicerol provocó un aumento significativo en el contenido de agua, debido a grupos OH que forman enlaces de hidrógeno generando mayor estabilidad y durabilidad. Bátori et al. (2017) demostraron un estudio de biopelículas a partir de residuos de naranja con un 11,7%H, generando mayor resistencia al agrietamiento, sin embargo, su rigidez se redujo significativamente; Con respecto a las biopelículas obtenidas se obtuvieron %H de $16,77 \pm 0,10$ que comparados con los valores del control $4,02 \pm 0,20$ %H (PEBD), existió significancia debido al carácter hidrofóbico del material polimérico resistiendo al agua, siendo más estable y duradero en el tiempo (Tabla 3). En comparación con los valores reportados por Palma-Rodríguez et al. (2017) donde se obtiene 10,33 %H al igual que Cusme and Gómez (2019) con 9,97 %H; se asocian los valores dispersos a las propiedades del almidón que al poseer componentes como: proteínas y fibras, interfieren en la matriz aumentando la retención de agua por acción de capilaridad.

Las biopelículas obtenidas deben manejar una correcta humedad ya que de esto dependerán sus propiedades mecánicas que darán paso a la degradación final por efecto del almidón presente en la harina (Gao et al. 2020); Valores semejantes son reportados por López et al. (2017) para biopelículas de banana verde (11,78-17,5 %H) ya que la presencia del almidón vuelve más flexible y con ello la propiedad hidrofílica 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.

Cómo citar este artículo:

Moreno, G., Galarza, I., & Sailema, M. (Enero – Diciembre 2024). Desarrollo de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), como alternativa al uso de plásticos sintéticos convencionales. *Tierra Infinita* (10), 153-173. <https://doi.org/10.32645/26028131.1312>

Tabla 3.

Propiedades fisicoquímicas, mecánicas y ópticas (transparencia) de películas biodegradables a partir de harina de fruta de pan (Artocarpus Altilis) y control (PEBD).

Tratamientos	Materia seca (%MS)	Humedad (%H)	Fuerza (N)	PVA E ⁻⁰⁶ g.mm.h ⁻¹ . Pa ⁻¹ .cm ⁻²	Solubilidad (%S)	Transparencia (%)
T1	82,03± 0,16 ^a	15,23 ± 0,11 ^a	1,76 ± 0,06 ^a	1,17± 0,52 ^a	7,33±0,28 ^{ab}	4,12 ± 0,01 ^{ab}
T2	81,70 ± 0,57 ^a	15,59 ± 0,41 ^a	1,42 ± 0,03 ^a	1,19± 0,76 ^a	9,29±0,36 ^a	6,16 ± 0,06 ^b
T3	80,51± 0,31 ^a	16,13 ± 0,22 ^a	13,76 ± 1,06 ^{ac}	1,57 ± 0,48 ^{ab}	9,30±0,20 ^{ac}	3,22 ± 0,01 ^{ab}
T4	80,29± 0,47 ^a	16,41 ± 0,33 ^a	3,63 ± 0,19 ^{ab}	1,49 ± 0,74 ^{ab}	11,60±0,64 ^{bc}	3,55 ± 0,02 ^{ab}
T5	80,41± 0,27 ^a	16,57 ± 0,19 ^a	7,72 ± 0,95 ^{ab}	1,26 ± 0,81 ^a	15,97±1,56 ^a	0,51±0,003 ^a
T6	79,97± 0,15 ^a	16,77 ± 0,10 ^a	7,80 ± 0,65 ^{ab}	1,51 ± 0,77 ^{ab}	19,09±0,99 ^b	1,06 ± 0,02 ^{ab}
Control	95,90± 0,22 ^{ab}	4,02 ± 0,20 ^{ab}	23,26 ± 0,39 ^{abc}	0,48 ± 0,00 ^{abc}	0,34±0,00 ^{abc}	80,45± 1,48 ^{abc}

Nota: Los resultados obtenidos son media ± desviación estándar. Las letras a, b y c muestran las diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0,05$).

Los valores de materia seca obtenidos fueron 80-82 %MS (Tabla 3), y tienen relación con la presencia de almidón en la harina, este valor influye en las propiedades físicas y químicas de las películas como: flexibilidad, solubilidad y biodegradabilidad. Se puede considerar que las películas biodegradables varían el %MS dependiendo del contenido de sólidos (almidón, proteínas y fibra) presentes en la matriz polimérica; Finalmente, las biopelículas presentaron diferencias significativas con respecto al control en todos los análisis, ya que el PEBD es un polímero sintético con componentes artificiales obtenido a partir de parámetros estandarizados.

Espesor

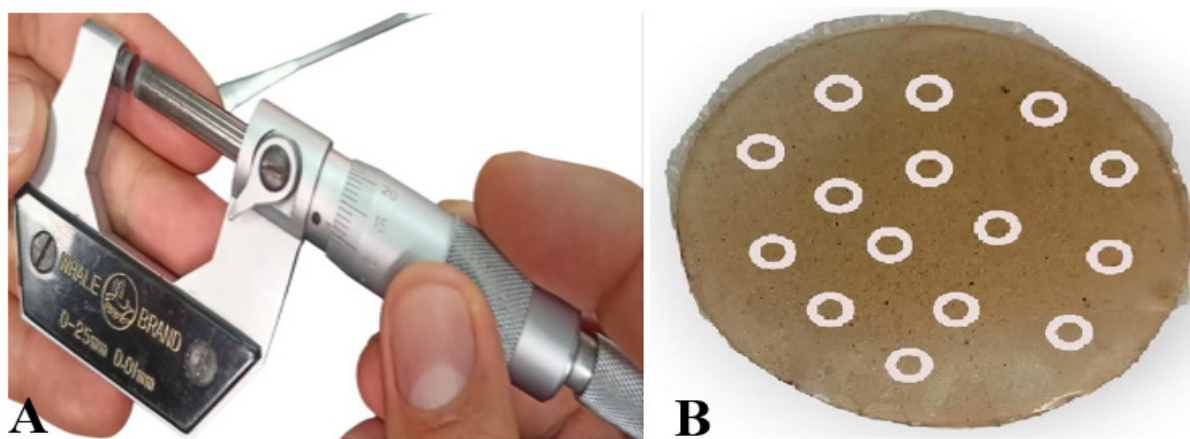
Se obtuvieron valores de 0,46-0,52 mm, estos varían a medida que la cantidad de harina aumenta, por lo tanto, el grosor difiere en cada caso, sin embargo, no es significativo entre muestras, pero sí con el control. Es importante mencionar que T1 (0,46 mm) es fino y débil mientras que T6 (0,52 mm) es el más grueso y poco flexible; por lo tanto, se puede tomar a T3 (0,48 mm) presentando mejor maleabilidad y resistencia. No existe diferencia significativa entre muestras, pero sí con el control (0,02 mm) debido a que es un plástico sintético expuesto a distintos procedimientos para su formación, este se encuentra en el rango permitido según (NTE INEN: 2 542 2010). Estudios realizados por Huacho-Chávez et al. (2021) sobre polímeros biodegradable de yuca (*Manihot Esculenta Crantz*) mostraron valores de espesor de 0,11 y 0,12 mm; valores menores a los obtenidos en la investigación, se debe a la variación de 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.

Cómo citar este artículo:

Moreno, G., Galarza, I., & Sailema, M. (Enero – Diciembre 2024). Desarrollo de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), como alternativa al uso de plásticos sintéticos convencionales. *Tierra Infinita* (10), 153-173. <https://doi.org/10.32645/26028131.1312>

Figura 3.

Espesor de biopelículas a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y glicerol. A: micrómetro manual (0-25 mm); B: 15 mediciones en biopelículas degradables.



Propiedades mecánicas

Punción (N)

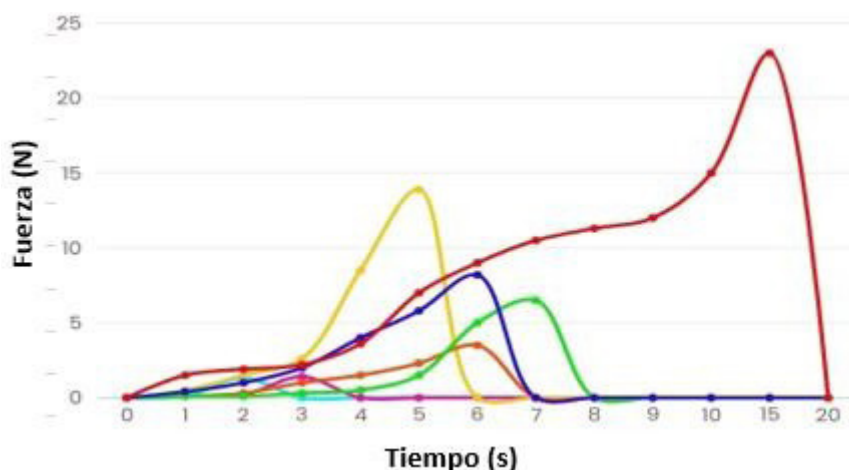
La fuerza de punción (N) previo a su rotura (Tabla 3), mostraron que las películas con mayor resistencia mecánica es T3 (13,76 N) con respecto a los demás tratamientos (Figura 4), ya que las muestras restantes fueron débiles y se rompieron con facilidad; esta propiedad, depende de la proporción entre amilosa y amilopectina del polisacárido; a mayor interacción intramolecular de amilosa aumenta la resistencia y menor interacción de amilopectina genera mayor flexibilidad (Salazar et al. 2022). Existe diferencia significativa entre tratamientos, y se puede considerar a T3 como el más fuerte; pero, en relación con el control también es significativo, ya que, al ser un polietileno de baja densidad expuesto a varios procesos industriales, sus cadenas poliméricas están ordenadas formando una estructura fuerte y resistente con biodegradabilidad nula (Díaz 2021).

Cómo citar este artículo:

Moreno, G., Galarza, I., & Sailema, M. (Enero – Diciembre 2024). Desarrollo de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), como alternativa al uso de plásticos sintéticos convencionales. *Tierra Infinita* (10), 153-173. <https://doi.org/10.32645/26028131.1312>

Figura 4.

Fuerza de punción (N), en biopelículas a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y control (PEBD). T1: 2,5 % harina+ 2,5% glicerol (turqueza); T2: 2,5% harina + 5% glicerol (lila); T3: 5% harina + 2.5% glicerol (amarillo); T4: 5% harina+ 5% glicerol (naranja); T5: 7,5% harina + 2.5% glicerol al 2 (verde); T6: 7,5% harina + 5% glicerol (azul); Control: plástico PEBD (rojo).



Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

Se obtuvieron valores entre $1,17$ y $1,57 \text{ E}^{-06} \text{ g.mm.h}^{-1}.\text{Pa}^{-1}.\text{cm}^{-2}$ (Tabla 3), propiedad que está asociada a la composición de su estructura molecular, es decir cómo actúa el almidón de la harina de fruta de pan con el plastificante, frente al vapor de agua en un ambiente controlado; permitiendo absorción y retención de agua en la matriz polimérica (Guaña-Escobar et al. 2022). Además, T3 ($1,57 \text{ E}^{-06} \text{ g.mm.h}^{-1}.\text{Pa}^{-1}.\text{cm}^{-2}$) en relación con las demás muestras tiene el valor más alto, esto depende de los componentes de la biopelícula, la cual contiene almidón y proteínas propias de la harina, moléculas que pueden atraer/retener agua; y glicerol por sus grupos hidroxilo (OH). El control con respecto a los demás tratamientos su valor es $0,48 \text{ E}^{-06} \text{ g.mm.h}^{-1}.\text{Pa}^{-1}.\text{cm}^{-2}$, al ser un polímero sintético con una estructura lineal ramificada de unidades de etileno, su estructura no permite el paso de humedad por tal motivo presenta un valor muy bajo, siendo un material de almacenamiento/protección, es por ello que su biodegradación es nula. Finalmente, se determinó que, existe diferencia significativa entre tratamientos con respecto al control (Tabla 3), refiriéndose a la transferencia de humedad del medio hacia la biopelícula la cual mediante sus componentes puede controlar este movimiento intermolecular (Solano-Doblado et al. 2018). Investigaciones reportadas por Huacho-Chávez et al. (2021) mencionan la obtención de biopelículas a partir de Oca (*Oxalis tuberosa*) y yuca (*Manihot esculenta*) utilizadas como envoltura de alimentos, obtuvieron PVA de $6,75 \text{ E}^{-06}$ y $1,45 \text{ E}^{-06}$, respectivamente, relacionando los valores de las biopelículas obtenidas; esto puede estar asociado al %H en la red polimérica que presenta mayor cristalización en su estructura.

Solubilidad (%S)

La solubilidad es un factor de interés permitiendo conocer la capacidad que tiene una película para resistir a la presencia de agua o humedad elevada, con el fin de proteger alimentos. En contraste con los resultados obtenidos se demostró que los valores de solubilidad aumentan proporcionalmente de 7,33 al 19,09% (Tabla 3). Debido a que estos compuestos son de carácter hidrofílicos y pueden interactuar con el agua, pudiendo ser el almidón y los grupos OH de las estructuras polimérica. Solano-Doblado et al. (2018) estudiaron la solubilidad de películas comestibles estableciendo 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, 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 et al. (2010) 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. 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 toda la matriz polimérica, por ende, la difusión de las moléculas de agua es mejor, generando buena porosidad y solubilidad (Solano-Doblado et al. 2018).

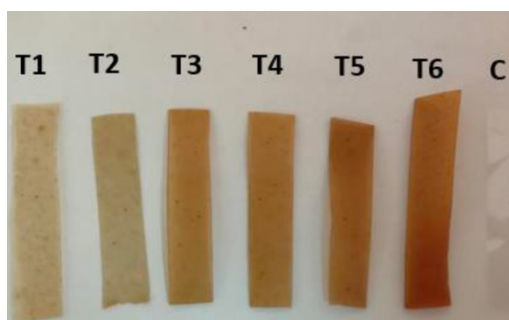
Propiedades ópticas

Color

El color de las biopelículas de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), mostro variación de acuerdo con los parámetros de la escala CIE: *L*, *a*, *b* y *c*. Se determinó que las biopelículas tienen tonalidades amarillas/pálidas atribuidas al color de la harina ($L^* = 55 - 74$) y ($b = 16 - 35$); Para el parámetro *c*, los valores fueron de 16,80-36,97; presentando brillo, de tal manera que a medida que se mezclan sus componentes (*harina/glicerol*) varían su color. Mientras que el control mostró un valor de 8,83 ya que al ser un PEBD presenta una superficie lisa y permite una reflexión uniforme de la luz. También se demuestra que, si existen diferencias significativas entre muestras, ya que al variar la cantidad de harina esta interfiere en su color *blanco-amarillento* (Figura 5), 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 significancia debido a que no tiene coloración alguna.

Figura 5.

Color de películas biodegradables. T1: 2,5% harina+ 2,5% glicerol; T2: 2,5% harina + 5% glicerol; T3: 5% harina + 2.5% glicerol; T4: 5% harina + 2.5% glicerol; T5: 7,5% harina + 2.5% glicerol; T6: 7,5% harina + 5% glicerol; Control: Bolsa plástica transparente PEBD.



Cómo citar este artículo:

Moreno, G., Galarza, I., & Sailema, M. (Enero – Diciembre 2024). Desarrollo de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), como alternativa al uso de plásticos sintéticos convencionales. *Tierra Infinita* (10), 153-173. <https://doi.org/10.32645/26028131.1312>

Por otro lado, la Transparencia (%T) en las biopelículas, está comprendida entre 0,51-6,16% (Tabla 3) y pueden atribuirse a la uniformidad de su estructura de acuerdo con la composición de la harina en la matriz polimérica formada (López et al. 2017). El tratamiento con menor transparencia es T5 (0,51%T) refiriéndose al aspecto de la película efectuado por la opacidad característica que otorgada una mayor protección en la luz; debido a los distintos componentes en su estructura, tomando como referencia al control *PEBD* (80,45 %T) permitiendo el paso directo de luz a través de este tipo de material. Se demostró que existe diferencia significativa entre muestras ya que estas cambian de acuerdo con sus componentes *harina/glicerol*, ya que al utilizarlo como plastificante también mejora la interacción molecular reduciendo la opacidad y de esa manera favorece al paso de luz (Solano-Doblado et al. 2018).

Biodegradación de películas

































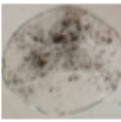


Ensayo de enterrado

En la figura 6 se observa el proceso de biodegradación de las biopelículas (0, 5, 15, 25 y 30 días), determinando 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 la matriz polimérica tengan la mayor cantidad posible de agua, provocando un aumento acelerado en la tasa de biodegradación. Velasco et al. (2012) mencionan que al desarrollar biopelículas con fuente renovables como almidón, proporcionan una opción amigable con el planeta ya que se descomponen bajo condiciones favorables en periodos de tiempo cortos, acción que no sucede con los plásticos comerciales (*PEBD*), ya que estos no se descomponen en el suelo y sus componentes son liberados, contaminando el ambiente. La absorción de agua facilita la biodegradación en las biopelículas, además al contener glicerol en su estructura éste disminuye la fuerza intermolecular del almidón (Sernaqué et al. 2020). Por lo que, las biopelículas se degradaron dado que sus principales características como: color, rigidez y textura cambiaron durante el tiempo que duró el ensayo (30 días), demostrando resultados semejantes en biopelículas de albedo de maracuyá donde el tiempo de degradación fue de 51 días y en la elaboración de empaques activos a partir de cítricos donde el tiempo fue de 57 días (Arévalo et al. 2010).

Una de las razones más importantes por las que se desarrollan bioplásticos con fuentes naturales es por su degradabilidad ya que esto da paso a una desintoxicación del suelo siendo una alternativa sostenible frente al *PEBD*. Se puede observar en el experimento que el tiempo de biodegradación es de 30 días, lo que genera un gran beneficio al planeta tierra, es decir las biopelículas tienen un menor tiempo de biodegradación con respecto a los plásticos sintéticos convencionales que tardan años en descomponerse.

Figura 6.

Proceso de biodegradación de las películas desde el día 0 hasta el día 30. T1: 2,5% harina + 2,5% glicerol; T2: 2,5% harina + 5% glicerol; T3: 5% harina + 2,5% glicerol; T4: 5% harina + 2,5% glicerol; T5: 7,5% harina + 2,5% glicerol; T6: 7,5% harina + 5% glicerol; Control: Bolsa plástica PEBD.

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

Por otro lado, la pérdida de peso de las películas está relacionada con la disminución en la materia seca del almidón presente en la harina. En contraste con el control, muestran que los tratamientos que contienen una mayor concentración de harina; disminuyen su peso de forma gradual y por esta razón su peso al final es menor que las demás muestras (Figura 7). 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 significativamente la tasa de degradación. Además, no existen diferencias significativas entre tratamientos, no obstante,

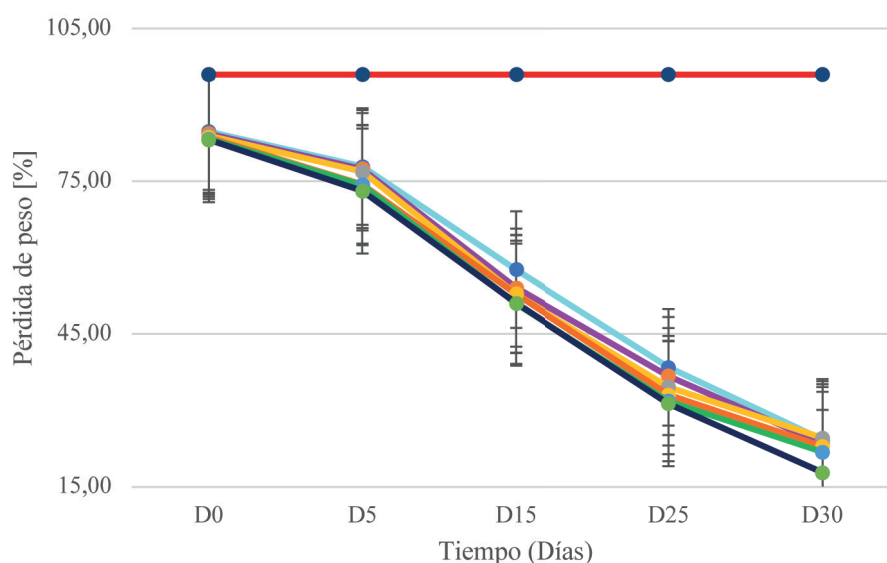
.....
Cómo citar este artículo:

Moreno, G., Galarza, I., & Sailema, M. (Enero – Diciembre 2024). Desarrollo de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), como alternativa al uso de plásticos sintéticos convencionales. *Tierra Infinita* (10), 153-173. <https://doi.org/10.32645/26028131.1312>

con respecto al control si, debido a que al ser un hidrocarburo repele el agua y no retiene sólidos solubles dando como resultado la contaminación del suelo a largo plazo (Zhou et al. 2013).

Figura 7.

Pérdida de peso de biopelículas durante 30 días. 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).



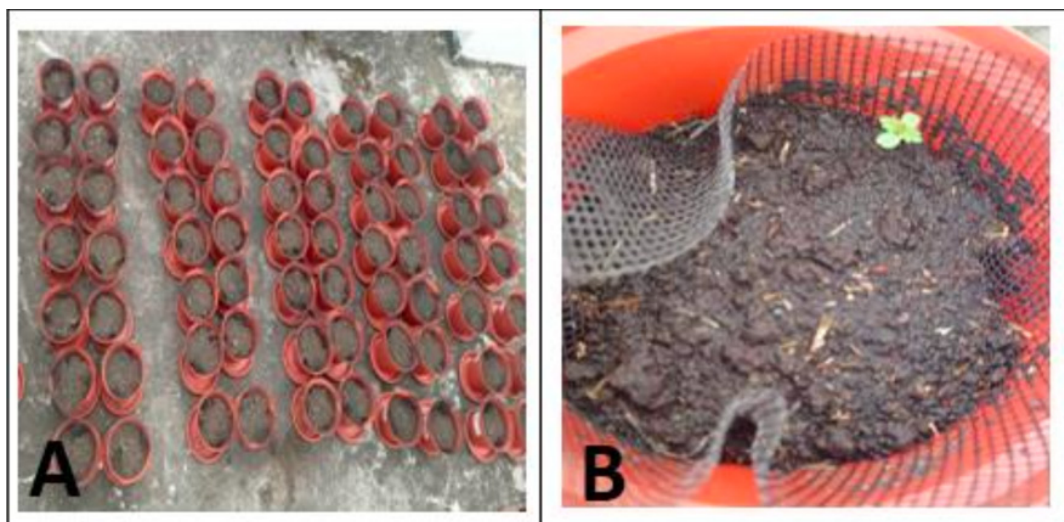
Finalmente, se determinaron valores iniciales y finales de Nitrógeno total (%N), previo a la degradación de las biopelículas en el suelo, siendo en el día 0 (0.34 %N) y día 30 (0.27 %N), se observa la disminución de nitrógeno que puede estar asociado al proceso de biodegradación por acción de microorganismos que generan un correcto equilibrio entre el nitrógeno y el carbono presentes en el suelo (López et al. 2017). Existe una relación directa entre la biodegradación y %N antes y después, esto es ventajoso ya que se puede indicar que el suelo está comenzando a enriquecerse generando condiciones necesarias para el crecimiento de una planta. De esta manera se demuestra que las biopelículas generan una alternativa ecológica de uso de recursos renovables para aportar al cambio climático y generar productos eco-amigables que permitan tener características similares a los plásticos convencionales reduciendo su impacto ambiental y tiempo de biodegradación. Cabe mencionar las biopelículas mejoraron sustancialmente al suelo que *a posteriori* al ensayo de enterrado, comenzaron a crecer plantas (Figura 8), lo que permite verificar que el deterioro de biopelículas, mejora las condiciones de biodegradación en el suelo.

Cómo citar este artículo:

Moreno, G., Galarza, I., & Sailema, M. (Enero – Diciembre 2024). Desarrollo de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), como alternativa al uso de plásticos sintéticos convencionales. *Tierra Infinita* (10), 153-173. <https://doi.org/10.32645/26028131.1312>

Figura 8.

Proceso de biodegradación. **A:** Ensayo de enterrado de biopelículas; **B:** crecimiento de planta



Conclusiones

- Se desarrollaron películas biodegradables de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), presentado flexibilidad, superficie lisa, sin presencia de burbujas ni grietas y uniformes; de color *blanco-amarillento*, proveniente de la harina utilizada, permitiendo generar un producto eco-amigable, debido a sus buenas características fisicoquímicas y rápida biodegradación en el suelo.
- Las biopelículas desarrolladas con 5% de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*) y 2.5% de glicerol, presentaron mejoradas propiedades fisicoquímicas, mecánicas, ópticas y biodegradables con respecto a las demás muestras. Siendo el tratamiento T3 con valores: 16,13 %H; 80,51%MS; 0,48 mm de espesor; Fuerzas de punción (13,76 N); $1,57 \text{ E}^{-06} \text{ g.mm.h}^{-1}.\text{Pa}^{-1}.\text{cm}^{-2}$ de PVA; 9,30%S y 3,22 %T, el más resistente a la rotura.
- Se evaluaron las condiciones de biodegradabilidad demostrando que las propiedades mecánicas y fisicoquímicas, influyen directamente en el tiempo de descomposición biológica; al tener una buena formulación la cantidad de harina es inversamente proporcional al porcentaje de glicerol, permitiendo la degradación total en un máximo de 30 días, generando disminución del contenido de nitrógeno total en el suelo, indicando que este comienza a proporcionar buenas condiciones para el crecimiento de una planta, lo que no sucede con la muestra control (PEBD).

Recomendaciones

- Para obtener harina de buena calidad es importante adquirir la fruta de pan en buenas condiciones sin ningún tipo de daño, para contar con cada uno de sus componentes principalmente del almidón que es el más importante en la formulación de biopelículas degradables.

Cómo citar este artículo:

Moreno, G., Galarza, I., & Sailema, M. (Enero – Diciembre 2024). Desarrollo de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), como alternativa al uso de plásticos sintéticos convencionales. *Tierra Infinita* (10), 153-173. <https://doi.org/10.32645/26028131.1312>

- 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.

Referencias

- Acosta Medina, J.K., Contreras Pacheco, O.E. and Pedraza Avella, A.C. 2023. Empaques vs Bioempaques para alimentos: Una comparación a nivel técnica, comercial y normativa. *Ingeniería y Competitividad* 25(3). doi: 10.25100/iyv.v25i3.13066.
- Arancibia, M.Y., López-Caballero, M.E., Gómez-Guillén, M.C. and Montero, P. 2014. Release of volatile compounds and biodegradability of active soy protein lignin blend films with added citronella essential oil. *Food Control* 44, pp. 7–15. doi: 10.1016/j.foodcont.2014.03.025.
- Arévalo, K., Alemán, M., Rojas, M. and Morales, L. 2010. Películas biodegradables a partir de residuos de cítricos : propuesta de empaques activos. *Universidad Autónoma de Nuevo León* 1, pp. 124–134. Available at: http://www3.inecol.edu.mx/solabiaa/ARCHIVOS/documentos/relbaa/arevalo_et_al_revlatinoambiotecnolambalgal_v1n2.pdf [Accessed: 30 September 2024].
- Bátori, V., Jabbari, M., Åkesson, D., Lennartsson, P.R., Taherzadeh, M.J. and Zamani, A. 2017. Production of Pectin-Cellulose Biofilms: A New Approach for Citrus Waste Recycling. *International Journal of Polymer Science* 2017, pp. 1–9. doi: 10.1155/2017/9732329.
- Buteler, M. 2019. EL PROBLEMA DEL PLÁSTICO ¿Qué es la contaminación por plástico y por Qué nos afecta a todos? *Desde La Patagonia Difundiendo Saberes* 28(16), pp. 56–60.
- Cabrera Durán, E. and Castillo Martinez, J.M. 2018. Aprovechamiento de la fruta del árbol de pan (*Artocarpus Altilis*) para la obtención de un derivado alimenticio (harina). *Investigacion e Innovación en Ingenierias* 6(2), pp. 30–46. doi: 10.17081/invinno.6.2.3110.
- Chariguamán, J. 2015. Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (*Passiflora edulis* spp.). *Revista Colombiana de Biotecnología*, pp. 18–20. Available at: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4560/1/AGI-2015-014.pdf> [Accessed: 30 September 2024].
- Crespo, R. 2019. *Uso del horno microondas para la obtención del valor de materia seca en especies forrajeras*. La Plata: Universidad Nacional de Mar Del Plata. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/267327330> [Accessed: 30 September 2024].
- Cusme, K. and Gómez, A. 2019. *Porcentajes de almidones con adición de plastificantes naturales en la elaboración de un recubrimiento*. Manta: Escuela superior politécnica agropecuaria de manabí manuel félix lópez.
- Díaz, A. 2021. *Elaboracion y caracterizacion fisicomecanica de una pelicula biodegradable utilizando harina de cascara de platano (Musa paradisiaca L.)*. Universidad Zamorano. Available at: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6962/1/AGI-2021-T001.pdf> [Accessed: 30 September 2024].
- Elías, R. 2015. *Mar de plástico: una revisión de plástico en el mar*. Universidad Nacional de Mar Del Plata. Available at: https://aquadocs.org/bitstream/handle/1834/10964/RevINIDEP27_83.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Accessed: 1 October 2024].

Cómo citar este artículo:

Moreno, G., Galarza, I. & Sailema, M. (Enero – Diciembre 2024). Desarrollo de biopelículas degradables a partir de harina de fruta de pan (*Artocarpus altilis*), como alternativa al uso de plásticos sintéticos convencionales. *Tierra Infinita* (10), 153-173. <https://doi.org/10.32645/26028131.1312>

- Gao, W., Wu, W., Liu, P., Hou, H., Li, X. and Cui, B. 2020. Preparation and evaluation of hydrophobic biodegradable films made from corn/octenylsuccinated starch incorporated with different concentrations of soybean oil. *International Journal of Biological Macromolecules* 142, pp. 376–383. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.09.108.
- García, L. and Rentería, M. 2019. Oficina de información científica y tecnológica para el congreso de la unión, INCyTU. *Plásticos En Los Océanos. Oficina de Información Ciencia y Tecnológica Para El Congreso de La Unión (INCYTU)*, 52(55), pp. 1–6. Available at: https://foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU_19-034.pdf [Accessed: 30 September 2024].
- Guaña-Escobar, F., Vaca-Ternorio, M. and Aguilar-Morales, J. 2022. *Biopelículas y envases activos , nuevas tecnologías en la industria alimentaria Biofilms and active packaging , new technologies in the alimentary industry*. UNEMI,. Available at: <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/facsalud-unemi/article/view/1575> [Accessed: 1 October 2024].
- Huacho-Chávez, I., Rodríguez-Basantes, A. and Brito-Moína, B. 2021. Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (Manihot Esculenta Crantz). *Dominio de las ciencias* 7(1), pp. 216–232.
- Jaén, M., Esteve, P. and Banos-González, I. 2019. Los futuros maestros ante el problema de la contaminación de los mares por plásticos y el consumo. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 16(1), pp. 1–17. doi: 10.25267/RevEurekaensendivulgcienc.2019.v16.i1.1501.
- Kehinde, A.Z., Erland, L.A.E., Liu, Y., Ragone, D., Jones, A.M.P. and Murch, S.J. 2022. South Pacific cultivars of breadfruit (*Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg and *A. mariannensis* Trécul) and their hybrids (*A. altilis* × *A. mariannensis*) have unique dietary starch, protein and fiber. *Journal of Food Composition and Analysis* 105, p. 104228. doi: 10.1016/j.jfca.2021.104228.
- López, D., Cerón, A., Osorio, O., Checa, O. and 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*. Universidad de Nariño Sede Torobajo,.
- Mera, A. 2022. *Obtención de una biopelícula a partir de semillas de frutipán (artocarpus altilis) para el embalaje de alimentos*. .
- Moreno, G. 2015. *Utilización de harina de plátano (musa balbisiana), en el desarrollo de películas biodegradables activas*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- NTE INEN: 2 542. 2010. *Método de ensayo para las propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas*.
- Palma-Rodríguez, H., Salgado-Delgado, R., Páramo-Calderón, D., Vargas-Torres, A. and Meza-Nieto, M. 2017. Caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche. *Acta Universitaria* 27(1), pp. 26–33. doi: 10.15174/au.2017.1215.

- Pelissari, F.M., Ferreira, D.C., Louzada, L.B., dos Santos, F., Corrêa, A.C., Moreira, F.K.V. and Mattoso, L.H. 2019. Starch-Based Edible Films and Coatings. In: *Starches for Food Application*. Elsevier, pp. 359–420. doi: 10.1016/B978-0-12-809440-2.00010-1.
- Riera, M. and Palma, R. 2018. Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de de las potencialidades en Ecuador. *Avances En Química* 3(13), pp. 69–78.
- Salazar, D., Arancibia, M., Lalaleo, D., Rodríguez-Maecker, R., López-Caballero, M.E. and Montero, M.P. 2022. Physico-chemical properties and filmogenic aptitude for edible packaging of Ecuadorian discard green banana flours (*Musa acuminata* AAA). *Food Hydrocolloids* 122, p. 107048. doi: 10.1016/j.foodhyd.2021.107048.
- Sernaqué, F., Huamán, L., Pecho, H. and Chacón, M. 2020. Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de *Mangifera indica* y *Musa paradisiaca*. *Centro Agrícola* 4(47), pp. 22–31.
- Solano-Doblado, L.G., Alamilla-Beltrán, L. and Jiménez-Martínez, C. 2018. Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 21, p. 30. doi: 10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153.
- Trejo, V., Aragon, N. and Miranda, P. 2001. Estimación de la permeabilidad al vapor de agua en películas a base de quitosán. *Revista de La Sociedad Química de México* 1(45), pp. 1–5.
- Velasco, R., Enríquez, M., Torres, A., Palacios, L. and Ruales, J. 2012. Caracterización morfológica de películas biodegradables a partir de almidón modificado de yuca. . *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial* 2(10), pp. 152–159.
- Yaguacge, M. 2021. *Caracterización físico químico y organoléptica de la harina de fruto de pan (Artocarpus altilis) para su uso en panadería y galletería*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,.
- Zhou, X., Mohanty, A. and Misra, M. 2013. A New Biodegradable Injection Moulded Bioplastic from Modified Soy Meal and Poly (butylene adipate-co-terephthalate): Effect of Plasticizer and Denaturant. *Journal of Polymers and the Environment* 21(3), pp. 615–622. doi: 10.1007/s10924-013-0578-y.