

Área del Conocimiento de Agricultura

Obtención de biopelícula plástica a base de cáscara de plátano.

Protocolo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Químico

Elaborado por:

Tutor:

Br. Andy Marcelo
Falcon Rodriguez

Carnet: 2019-1033U

Br. Mayte Medrano
Brenes

Carnet: 2019-1044U

MSc. Johana Lisseth
O'Connor Mendoza

16 de octubre de 2025
Managua, Nicaragua

Opinión del tutor

El presente trabajo de diploma titulado “**Obtención de biopelícula plástica a base de cáscara de plátano**”, realizado en la Universidad Nacional de Ingeniería, ha sido desarrollado por los bachilleres: Andy Marcelo Falcon Rodríguez con número de carnet: 2019-1033U y Mayte Medrano Brenes, con carnet: 2019-1044U. Este estudio se enfoca en la valorización de la cáscara de plátano, generadas por la Finca Agrícola Experimental – DACA/UNI, un residuo agrícola comúnmente desechado, y su transformación en biopelículas biodegradables, contribuyendo así a la reducción del desperdicio y a la mitigación de los efectos ambientales negativos del uso excesivo de plásticos.

La investigación llevada a cabo por los Br. Falcon y Br. Medrano, destaca no solo la viabilidad técnica de producir biopelículas a partir de cáscara de plátano, sino también su potencial para generar envases y recubrimientos funcionales. Este enfoque no solo promueve la economía circular en comunidades rurales, sino que también agrega valor a un subproducto local, fomentando el desarrollo sostenible.

Además, esta propuesta se alinea con el Plan Nacional de Lucha contra la Pobreza y para el Desarrollo Humano 2022–2026, que enfatiza el uso eficiente de los recursos agrícolas y el desarrollo de tecnologías sostenibles en Nicaragua. A través de este trabajo, demuestran una comprensión profunda de los principios de la Ingeniería Química, aplicando conocimientos adquiridos en diversas asignaturas relevantes.

Por lo anteriormente expuesto, considero que el presente trabajo de diploma cumple con los requisitos necesarios para ser evaluado por el Tribunal Examinador correspondiente. Solicito se valore positivamente la contribución de los estudiantes en la búsqueda de soluciones prácticas y sostenibles para nuestra industria y sociedad.

Atentamente,

MSc. Johana Lisseth O’Connor Mendoza

Tutor del Trabajo de Diploma

Managua, 16 octubre 2025

Agradecimiento

Gracias Dios porque eres todo lo que necesito en mi vida, mi confianza está puesta en Ti. Te doy gracias porque te he sentido presente en mis altos y bajos. Me has sorprendido con oportunidades y experiencias que han sido por Tu gracia y no con mis fuerzas y/o inteligencia. Por ser la fuerza que me ha permitido seguir y por colocar a las personas indicadas para alcanzar este reto.

A mi mamá Mayerling Brenes, por siempre apoyarme y ser mi soporte desde mis primeros pasos hasta la mujer que soy hoy en día. Por darme mi fe en Dios, enseñarme la importancia de la inteligencia emocional y darme herramientas para enfrentarme a la vida. Eres un ejemplo de excelencia, fortaleza, resiliencia y mi vendedora #1. Gracias por siempre escucharme, por sacarme de mi zona de confort, por enseñarme a ver las oportunidades y soñar.

MSc. Johanna O'Connor, gracias por aceptar ser nuestra tutora. Por ser nuestra guía durante cada paso del proceso. Desde la primera reunión le estoy completamente agradecida por siempre estar accesible a cualquiera de nuestras consultas, demostrar una calidez humana hacia nosotros y por acudir a mis llamadas cuando los laboratorios no salían como lo planeado, pero siempre daba una risa en conjunto a palabras tranquilizadoras. Me llevó durante este trayecto la calidad de persona y profesional.

También Andy, gracias. Por permitirme integrarme y formar parte del equipo. Gracias por alivianar con tu buena actitud los momentos de tensión.

A todos mis maestros, unos recuerdo más que otros, pero que indudablemente dejan una huella. Aquellos maestros que me enseñaron la importancia de leer más allá de las líneas y a los maestros brillantes que se tomaron el tiempo de compartir su conocimiento. Ha aquel maestro que con el tiempo lo sentí parte de nuestra familia y gracias por su pasión a la enseñanza de la Palabra, Pastor Adolfo Manzanares.

Br. Mayte Medrano Brenes

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios, por la vida, la salud y la fortaleza que me permitió seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

A mis padres, gracias por brindarme la oportunidad de estudiar fuera de nuestro departamento de origen. Su apoyo, confianza y amor incondicional fueron el impulso que me sostuvo desde el inicio de este camino. Este logro también les pertenece.

A los docentes que nos acompañaron a lo largo de estos años, gracias por compartir sus conocimientos y enseñanzas. Cada clase, cada palabra y cada consejo dejaron huellas que hoy forman parte de lo que soy como persona y profesional.

Mi más profunda gratitud a nuestra tutora, MSc. Johanna O'Connor. Haber contado con su acompañamiento fue un verdadero privilegio. No me llevo más que admiración y respeto por su conocimiento, su paciencia y la pasión que transmite en todo lo que hace. Aunque suene cliché, estoy convencido de que no hubiéramos logrado esto sin ella. Gracias por estar siempre presente durante todo el proceso.

A mis compañeros de clases que se convirtieron en amigos sinceros: aunque no fueron muchos, su valor en mi vida es enorme. Gracias por escucharme, aconsejarme y estar cuando más lo necesité. Su compañía hizo más llevadero el camino.

Y a Mayte, gracias por permanecer a mi lado en este recorrido. Por ser una compañera excepcional, por tu entrega, tu constancia y tu apoyo en los momentos clave. Te admiro y respeto profundamente, y me llevo conmigo una parte importante de todo lo que compartimos.

A todos los que de alguna manera fueron parte de este proceso, gracias. Este logro es el resultado de muchas manos, palabras y gestos que me acompañaron hasta aquí.

Br. Andy Marcelo Falcon Rodriguez

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo primeramente a Dios por brindarme salud y llenarme de valentía en cada etapa de mi vida. A mi madre, sin ti no estaría en el lugar donde estoy. Por tu amor, tu esfuerzo y apoyo incondicional en todo momento.

Br. Mayte Medrano Brenes

Dedicatoria

Con profunda gratitud y humildad, dedico este trabajo a Dios, fuente de vida y sabiduría, por guiarme en cada paso de este camino y darme fortaleza en los momentos más desafiantes.

A mis padres, por su amor, esfuerzo y confianza. Gracias por permitirme estudiar lejos de casa, por sostenerme en los primeros años, y por estar siempre, incluso en silencio, dándome ánimo cuando más lo necesitaba. Este logro es también suyo.

Dedico estas páginas a los docentes que compartieron sus conocimientos con dedicación. Cada enseñanza recibida fue una semilla que hoy florece en esta meta alcanzada.

De manera especial, dedico este logro a nuestra tutora, MSc. Johanna O'Connor. Haber trabajado con ella ha sido un verdadero privilegio. Le agradezco su guía constante, su paciencia, y el compromiso que puso en cada etapa del proceso. No tengo más que respeto y admiración por su labor. Sin su acompañamiento, esto no habría sido posible.

También dedico este trabajo a Mayte, por ser una compañera de camino excepcional. Gracias por tu presencia, tu apoyo y tu constancia. Me llevo con cariño todo lo compartido a lo largo de esta experiencia.

Y me lo dedico a mí mismo. Por cada vez que pensé en rendirme, por cada noche en la que creí que no podía estudiar y trabajar al mismo tiempo, por cada obstáculo que enfrenté en silencio. Me agradezco por no haberme rendido, por haberme levantado una y otra vez, y por haber buscado siempre la manera de seguir. Hoy, todo ha valido la pena.

Finalmente, a los amigos y personas cercanas que me ofrecieron su compañía, sus consejos y su apoyo emocional, les dedico este esfuerzo convertido en resultado. Ustedes también fueron parte de este logro.

Br. Andy Marcelo Falcon Rodriguez

Resumen

El uso de biopelículas elaboradas a partir de residuos agroindustriales representa una alternativa prometedora frente al uso de plásticos convencionales. En este contexto, la presente investigación tuvo como propósito desarrollar una biopelícula a base de cáscara de plátano y evaluar su comportamiento en medios naturales, considerándola además como una opción viable para el aprovechamiento de los desechos generados en la finca experimental de la UNI, contribuyendo así a la gestión sostenible de residuos agrícolas.

Se extrajo almidón por vía húmeda, alcanzando un rendimiento del 1.97%. El análisis proteico de la muestra mostró un 5.83%, lo cual refuerza la relación inversa entre proteína y almidón descrita en la literatura. Estos resultados evidencian que, aunque el rendimiento es moderado, la cáscara de plátano puede ser utilizada como insumo útil en la elaboración de biopolímeros.

Para la formulación de biopelículas se realizaron pruebas con distintas proporciones de almidón y glicerina. Las formulaciones iniciales no lograron secarse adecuadamente. No obstante, al incorporar almidón de maíz (35%) en combinación con almidón de cáscara (65%), se obtuvo una biopelícula estable, flexible y con buena apariencia superficial.

En cuanto a la biodegradación, la biopelícula mostró una descomposición total en agua antes de los 21 días, una degradación del 39.22% en tierra y apenas un 8% en aire. Estos resultados indican que la humedad del entorno es un factor determinante para su descomposición.

En conclusión, se lograron cumplir los objetivos propuestos. Los resultados respaldan el potencial de la cáscara de plátano como materia prima para la producción de biopelículas biodegradables, especialmente viables en medios húmedos, y refuerzan su aplicabilidad como alternativa ecológica para la reducción de plásticos y el aprovechamiento de residuos agrícolas generados en la finca experimental de nuestra alma mater.

Abstract

The use of biopolymer films made from agro-industrial residues represents a promising alternative to conventional plastics. In this context, the present research aimed to develop a bioplastic film from banana peel starch and evaluate its behavior in natural environments, while also considering it as a viable option for managing the agricultural waste generated at the UNI experimental farm, thus contributing to sustainable waste management practices.

Starch was extracted using a wet method, yielding 1.97%. The protein content of the sample was 5.83%, which reinforces the inverse relationship between protein and starch described in the literature. These results show that, although the yield was moderate, banana peel starch can serve as a useful input for biopolymer production.

Several formulations of bioplastic films were prepared with different starch and glycerin ratios. The initial formulations did not dry properly; however, when incorporating corn starch (35%) combined with banana peel starch (65%), a stable, flexible film with good surface appearance was obtained.

Regarding biodegradation, the film showed complete decomposition in water before day 21, a 39.22% degradation in soil, and only 8% in air. These results indicate that environmental humidity is a key factor determining its decomposition rate.

In conclusion, the proposed objectives were achieved. The results support the potential of banana peel starch as a raw material for biodegradable bioplastic films, particularly effective in humid environments, and highlight its applicability both as an ecological alternative to plastics and as a sustainable solution for utilizing agricultural waste generated at the UNI experimental farm. of biopolymer films derived from agro-industrial waste has emerged as a promising alternative to conventional plastics. This study aimed to develop a biodegradable film based on banana peel starch and evaluate its degradation behavior in natural environments.

INDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II.OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo General	2
2.2 Objetivos Específicos	2
III. MARCO TEÓRICO	3
3.1. Biopelículas	3
3.1.1 Características generales	4
3.1.2 Clasificación de biopelículas	4
3.1.3 Componentes de las biopelículas basadas en almidón	5
3.1.4 Ventajas frente a los plásticos convencionales	6
3.1.5 Aplicaciones actuales	6
3.1.6 Biodegradabilidad de las biopelículas	7
3.2. Aprovechamiento de residuos agrícolas en biopelículas	8
3.2.1 Importancia del Uso de Residuos Agrícolas	8
3.2.2 Ejemplos de residuos agrícolas utilizados en biopelículas.....	9
3.3 Producción de plátano (<i>Musa paradisiaca</i>).....	10
3.3.1 Variedades cultivadas	11
3.3.2 Composición química y propiedades funcionales	12
3.3.3 Manejo de residuos en Nicaragua.....	13
3.4 Importancia local y contribución	14
3.5 Glicerina como plastificante principal	14
3.5.1 Comparación con Otros Plastificantes	15
IV. HIPOTESIS	17
V. METODOLOGIA	18
5.1 Ubicación	18
5.2 Extracción del almidón de plátano verde (<i>musa paradisiaca</i>).....	19
5.2.1 Caracterización del almidón de la cáscara de plátano verde	21
5.2.2 Rendimiento de extracción de almidón.....	23
5.3 Obtención de biopelícula biodegradable.....	23
5.4 Evaluación de la biodegradabilidad de las biopelículas	25
5.4.1 Condición de agua	27

5.4.2 Condición de tierra	27
5.4.3 Condición de Aire	27
VI. Resultados y discusión	28
6.1 Extracción almidón	28
6.1.1 Caracterización del almidón.....	28
6.2 Formulación de biopelículas de almidón de cáscara plátano verde	29
6.3 Evaluación de la biodegradabilidad de las biopelículas en medios naturales.....	32
VII. CONCLUSIONES.....	37
VIII. RECOMENDACIONES	38
IX. BIBLIOGRAFÍA	39
X. ANEXOS	44

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bioplástico a partir de almidón.....	3
Figura 2. Macro localización de Laboratorio de Alimentos, UNI-RUSB.....	18
Figura 3. Preparación de solución anti-pardeamiento. A) Pesaje de metabisulfito de sodio. B) solución con agua destilada y metabisulfito de sodio al 1%.....	19
Figura 4. Inmersión de rodajas de cáscara de plátano verde a la solución anti-pardeamiento.....	20
Figura 5. Proceso de extracción del almidón. A) Pesado de las cáscaras de plátano. B) Trituración de la materia prima para separar los granulos de almidón. C) Colado de la mezcla triturada.....	20
Figura 6. Sedimentación del almidón al transcurrir 12 horas..	21
Figura 7. Equipo Kjeldahl: A. Destilador; B: Scrubber; C. Digestor..	22
Figura 8. Elaboración de biopelícula. A) Mezcla uniforme según formulación. B) Distribución uniforme de la mezcla.	24
Figura 9. Elaboración de biodegradabilidad de la biopelícula en medios naturales: Tierra, agua y aire.	26
Figura 10. Colocación de la muestra en medio terrestre.	32
Figura 11. Evaluación de la biodegradabilidad en medio terrestre a los 30 días de observación.....	33
Figura 12. Evaluación de la biodegradabilidad en medio acuoso en el periodo de 30 días.....	34
Figura 13. Evaluación de la biodegradabilidad en medio aéreo durante el periodo de 30 días de observación.....	35
Figura 14. Gráfico de degradación de las biopelículas en diferentes medios ambientales.....	36

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las biopelículas.....	5
Tabla 2. Porcentaje del amilosa y amilopectina según la fuente	6
Tabla 3. Ventajas frente a plásticos convencionales.....	6
Tabla 4. Ventajas frente a plásticos convencionales.....	9
Tabla 5. Producción de plátano en Nicaragua	11
Tabla 6. Propiedades de la cascara de plátano CEMSA 3/4	12
Tabla 7. Comparación con otros plastificantes	16
Tabla 8. Extracción húmeda del almidón sin secado y pesos obtenidos	21
Tabla 9. Formulaciones para la elaboración de biopelícula.....	25
Tabla 10. Resultados de las formulaciones para elaboración de biopelícula	29
Tabla 11. Porcentaje de biodegradación de la biopelícula según el medio ambiental al día 30	35

I. INTRODUCCIÓN

El aumento acelerado de los residuos plásticos y su persistente impacto ambiental constituyen un desafío global, pues más del 80% de los plásticos producidos no se reciclan y su lenta degradación amenaza la biodiversidad (Borrelle et al., 2020). Frente a esta problemática, los biopolímeros, especialmente las biopelículas, surgen como alternativas sostenibles por su biodegradabilidad y buenas propiedades mecánicas (Nguyen y Diep, 2022).

En Nicaragua, el plátano representa un cultivo de gran importancia económica. Según MAG, En 2024 se procesaron 11.9 millones de kilogramos, de los cuales el 88% fue destinado a exportación sin cáscara y generando alrededor de 3.1 millones de kilogramos de cáscara, un residuo agrícola abundante con alto contenido de almidón y fibras, ideal para producir biopelículas biodegradables. Considerando que la cáscara representa alrededor del 30% del fruto (Montano et al., 2019).

Diversos estudios respaldan su aprovechamiento. López et al., (2021), en la UNI, demostraron el uso del almidón de cáscara de plátano en recubrimientos que prolongan la vida útil de frutas. Pavón (2023) confirmó la influencia del entorno en su biodegradación. Y Argueta y Trujillo (2019) mejoraron sus propiedades antimicrobianas mediante aceites esenciales. Estos antecedentes consolidan el potencial de este material como recurso sostenible.

El uso de la cáscara de plátano no solo reduce el desperdicio agrícola, sino que contribuye a mitigar los efectos ambientales del plástico y promueve la economía circular al generar productos útiles y biodegradables (Huilcarema et al., 2024). Además, la propuesta se alinea con el Plan Nacional de Lucha contra la Pobreza y para el Desarrollo Humano 2022–2026, que fomenta el uso eficiente de los recursos agrícolas y el desarrollo de tecnologías sostenibles (Gobierno de Nicaragua, 2021).

II.OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Desarrollar una biopelícula biodegradable a partir de cáscara de plátano, evaluando su desempeño frente a condiciones ambientales de agua, tierra y aire.

2.2 Objetivos Específicos

- Extraer almidón de cáscara de plátano mediante un proceso experimental a escala laboratorio, como materia prima en la producción de biopelículas.
- Obtener una biopelícula utilizando almidón de cáscara de plátano mediante un proceso experimental en laboratorio.
- Evaluar la biodegradabilidad de la biopelícula en diferentes medios naturales (agua, tierra y aire), a través del análisis de la pérdida de masa durante un periodo de 30 días.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Biopelículas

El impacto ambiental generado por el uso masivo de plásticos convencionales ha provocado una crisis global que requiere soluciones inmediatas y sostenibles. Según datos de la ONU (2020), cada año se producen más de 300 millones de toneladas de plástico, de las cuales menos del 10% son recicladas efectivamente. Esta acumulación de residuos plásticos ha generado problemas de contaminación en ecosistemas terrestres y marinos, además de contribuir al cambio climático por la emisión de gases de efecto invernadero durante su producción y descomposición. En este contexto, las biopelículas surgen como una solución innovadora, al ser materiales biodegradables, flexibles y funcionales que no solo reducen el uso de plásticos convencionales, sino que también fomentan la economía circular al aprovechar residuos agrícolas como materia prima.

Las biopelículas, elaboradas a partir de polímeros naturales como almidones, proteínas y lípidos como se muestra en la **Figura 1**, representan una alternativa viable a los plásticos derivados del petróleo. Estos materiales biodegradables ofrecen la ventaja de ser personalizables para aplicaciones específicas, como la conservación de alimentos frescos y el desarrollo de empaques sostenibles. Su capacidad para degradarse naturalmente contribuye a la reducción de la contaminación asociada a los plásticos convencionales, lo que las posiciona como una herramienta clave en la transición hacia materiales más sostenibles, especialmente en la industria alimentaria (Jiang et al., 2020).



Figura 1. Bioplástico a partir de almidón. Fuente: (Polisantafe, 2024).

3.1.1 Características generales

Las biopelículas son materiales delgados y biodegradables diseñados para servir como barreras protectoras frente a factores externos como la humedad, los gases y los microorganismos. Según Krochta y Mulder-Johnston (1997), estas películas se definen como recubrimientos naturales que limitan la transferencia de humedad y gases, preservando las propiedades sensoriales de los alimentos y extendiendo su vida útil.

Características clave de las biopelículas:

- Biodegradabilidad: Se descomponen en el ambiente en semanas o meses, dependiendo de las condiciones ambientales, evitando la acumulación de residuos plásticos (Sharma et al., 2014).
- Compatibilidad alimentaria: Son no tóxicas y aptas para el contacto directo con alimentos, lo que garantiza su seguridad para consumidores.
- Adaptabilidad: Pueden incorporar plastificantes, antioxidantes y agentes antimicrobianos para optimizar su funcionalidad (Espinoza, 2015).
- Sostenibilidad: Su producción utiliza recursos renovables, como residuos agrícolas, promoviendo la economía circular (Finkenstadt, 2005).

3.1.2 Clasificación de biopelículas

Las biopelículas, como materiales biodegradables, pueden clasificarse según los polímeros naturales que las componen como se presentan detalladamente en la **Tabla 1**. Estos polímeros incluyen polisacáridos, proteínas y lípidos, que otorgan propiedades específicas como resistencia mecánica, elasticidad o barrera frente al agua y gases. Esta clasificación es fundamental para comprender cómo se pueden adaptar las biopelículas a diversas aplicaciones industriales, particularmente en la conservación de alimentos y la sustitución de plásticos convencionales.

Tabla 1. *Clasificación de las biopelículas*

Tipo	Ejemplos	Propiedades Claves
Polisacáridos	Almidón, celulosa, pectinas	Rigidez, resistencia mecánica, barrera frente a gases.
Proteínas	Caseína, gluten, zeína	Elasticidad, cohesión, barrera frente al oxígeno.
Lípidos	Aceites esenciales, ceras	Hidrofobicidad, reducción de permeabilidad al agua.
Multicomponentes	Combinaciones de los anteriores	Propiedades mejoradas según la aplicación.

Fuente: Sharma et al. (2014)

3.1.3 Componentes de las biopelículas basadas en almidón

El almidón es un polisacárido compuesto por dos fracciones principales (Herrera y Hernández, 2019):

- Amilosa: Es una cadena lineal de glucosa unida por enlaces α (1 $\rightarrow$ 4). La cual proporciona rigidez y resistencia mecánica a la biopelícula.
- Amilopectina: Es una molécula ramificada que aporta flexibilidad y elasticidad al material. Una mayor proporción de amilopectina mejora la capacidad de manejo de la película, pero puede reducir su resistencia.

La composición del almidón extraído de las cáscaras de plátano presenta características que lo convierten en un material atractivo para la elaboración de biopelículas y otros productos biodegradables. En la **Tabla 2** se presenta la composición de almidón de diversas fuentes, incluida el plátano.

Tabla 2. *Porcentaje del amilosa y amilopectina según la fuente*

Fuente	Amilosa (%)	Amilopectina (%)	Usos Típicos
Yuca	17%-20%	80%-83%	Recubrimientos flexibles.
Maíz	25%-28%	72%-75%	Biopelículas rígidas.
Plátano	20%-22%	78%-80%	Recubrimientos equilibrados.

Fuente: Espinoza (2015)

3.1.4 Ventajas frente a los plásticos convencionales

Las biopelículas presentan varias ventajas frente a los plásticos tradicionales, a continuación, se presenta en la **Tabla 3** en donde se describen las ventajas frente a los plásticos convencionales.

Tabla 3. *Ventajas frente a plásticos convencionales*

Característica	Plásticos Convencionales	Biopelículas
Materia Prima	Derivados del petróleo	Recursos renovables
Biodegradabilidad	No	Sí
Tiempo de Degradación	100-500 años	Semanas o meses
Compatibilidad Alimentaria	Baja	Alta

Fuente: Adaptado de (PNUMA, 2020)

3.1.5 Aplicaciones actuales

Las biopelículas tienen aplicaciones en:

- Conservación de alimentos: Recubrimientos para frutas y/o verduras, prolongando su vida útil al reducir la pérdida de agua y la actividad microbiana.

Los plastificantes son aditivos esenciales en la formulación de biopelículas basadas en almidón, ya que permiten superar la fragilidad inherente de estos materiales. Estos compuestos influyen directamente en las propiedades mecánicas, funcionales

y de almacenamiento de las biopelículas, siendo un elemento clave para su viabilidad en aplicaciones industriales y domésticas (Arrieta y Palencia, 2016).

- **Empaques biodegradables:** Sustitución de plásticos de un solo uso en alimentos frescos.

Un estudio tuvo como objetivo determinar los efectos del almacenamiento de alimento en bioplásticos. Los resultados indicaron que el bioplástico de almidón de cáscara de yuca puede ser una alternativa viable para el envasado de alimentos, siempre que se controlen cuidadosamente las condiciones de temperatura y humedad durante el almacenamiento (Ardiani y Karmini, 2023).

- **Recubrimientos antimicrobianos:** Uso de aceites esenciales para prevenir el crecimiento microbiano.

Un caso de éxito reciente es el uso de biopelículas de almidón de yuca combinadas con aceite esencial de orégano, que lograron reducir la pérdida de peso en fresas en un 25% durante el almacenamiento refrigerado (Sharma et al., 2014).

Un plastificante actúa al interrumpir las interacciones fuertes entre cadenas poliméricas, como enlaces de hidrógeno y fuerzas de Van der Waals. Esto aumenta la movilidad de las cadenas, otorgando mayor flexibilidad y elasticidad al material final. En biopelículas basadas en almidón, los plastificantes se intercalan entre las cadenas de amilosa y amilopectina, reduciendo la cristalinidad del material y promoviendo una estructura más amorfa (Parra et al., 2004).

3.1.6 Biodegradabilidad de las biopelículas

Una de las ventajas más importantes de las biopelículas frente a los plásticos convencionales es su capacidad de degradarse en el ambiente. Este proceso depende de factores como el tipo de polímero, el medio en el que se expone (suelo, agua o aire), la temperatura, la humedad y la presencia de microorganismos.

A diferencia de los plásticos sintéticos, que pueden tardar cientos de años en desaparecer, las biopelículas de origen vegetal pueden descomponerse en semanas o meses (Sharma et al., 2014). Este aspecto es clave para evaluar su

impacto ambiental y su viabilidad como material alternativo. Por eso, cada vez es más común incluir pruebas de degradación en medios naturales como parte de los estudios de caracterización.

Un ejemplo de esto es el estudio realizado por Pavón (2023), quien evaluó la biodegradabilidad de biopelículas hechas a partir de almidón de yuca y papa en tres medios diferentes: aire, agua y tierra. Los resultados mostraron que el agua favoreció una desintegración total antes de los 30 días, mientras que en tierra la degradación fue más lenta pero constante, y en aire apenas se observó pérdida de masa. Este tipo de investigaciones ayudan a entender cómo se comportan estos materiales en condiciones reales, más allá del laboratorio.

3.2. Aprovechamiento de residuos agrícolas en biopelículas

La agricultura y el procesamiento agrícola generan millones de toneladas anuales de residuos que contienen componentes poliméricos de diferente cantidad y calidad, como almidón, azúcar, lignina, celulosa y hemicelulosa. Estos residuos podrían utilizarse posteriormente como materias primas nativas para la producción de nuevos materiales o productos para aplicaciones industriales respetuosas con el medio ambiente tras su modificación química (Carmona y Morales-Matos, 2017).

Con los avances en tecnologías sostenibles han permitido transformar estos residuos en materiales funcionales, como las biopelículas, que no solo reducen los impactos ambientales, sino que también contribuyen a la economía circular mediante la generación de productos de alto valor agregado.

3.2.1 Importancia del Uso de Residuos Agrícolas

El uso de residuos agrícolas como materia prima para biopelículas no solo ayuda a reducir la dependencia de plásticos convencionales, sino que también aborda múltiples problemas ambientales y económicos. La acumulación de estos residuos genera contaminación de suelos y cuerpos de agua, además de contribuir a la emisión de gases como el metano durante su descomposición. Según Sharma et al. (2014), la reutilización de estos residuos en aplicaciones funcionales representa

una estrategia efectiva para mitigar estos impactos y maximizar los beneficios derivados de la actividad agrícola, los cuales se describen a continuación.

- Reducción de contaminación: menor generación de lixiviados y gases de efecto invernadero.
- Conservación de recursos: Utilización eficiente de materiales que de otro modo se desecharían.
- Impulso a la economía circular: Transformación de desechos en insumos para nuevos productos.
- Valor agregado: Generación de productos sostenibles con aplicaciones prácticas en la industria alimentaria.

En el contexto de Nicaragua, donde el sector agrícola representa una parte significativa de la economía, la reutilización de residuos agrícolas no solo tiene implicaciones ambientales positivas, sino que también puede contribuir a fortalecer las economías locales, especialmente entre los pequeños productores.

3.2.2 Ejemplos de residuos agrícolas utilizados en biopelículas

El uso de residuos agrícolas en biopelículas ha sido ampliamente investigado, con resultados prometedores en términos de funcionalidad y sostenibilidad (**Tabla 4**).

Tabla 4. *Ventajas frente a plásticos convencionales*

Residuo Agrícola	Componente Clave	Aplicación en Biopelículas
Cáscaras de yuca	Almidón	Recubrimientos flexibles para frutas frescas.
Hojas de maíz	Celulosa	Empaques biodegradables.
Cáscaras de papa	Almidón, fibra	Barreras mecánicas en productos cárnicos.
Cáscaras de plátano	Almidón, antioxidantes	Conservación de alimentos frescos.

Fuente: Espinoza (2015)

Las cáscaras de plátano, en particular, presentan una ventaja competitiva debido a su alto contenido de almidón, fibras naturales y antioxidantes, que no solo facilitan la formación de biopelículas, sino que también mejoran sus propiedades mecánicas y funcionales.

3.3 Producción de plátano (*Musa paradisiaca*)

El plátano (*Musa paradisiaca*) es uno de los cultivos más importantes en Nicaragua y forma parte esencial de su economía, alimentación y cultura. De acuerdo con el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA, 2021), más del 65% de los pequeños productores agrícolas lo cultivan para consumo interno y exportación, convirtiéndolo en un pilar para muchas familias campesinas. Además de ser un alimento básico en la dieta nicaragüense, el plátano representa una fuente de ingresos clave, especialmente en las comunidades rurales, donde sustenta tanto el mercado local como las actividades comerciales del país, en los departamentos como Rivas y Chinandega es una fuente clave de ingresos donde representa hasta el 30% de los ingresos familiares.

Según el Ministerio Agropecuario (MAG), en 2023 el plátano ocupó el tercer lugar en importancia agrícola en términos de volumen de producción, solo superado por cultivos básicos como el maíz y el frijol. Esto refleja su importancia en la seguridad alimentaria nacional y su papel como fuente de ingresos para miles de familia.

Nicaragua cuenta con aproximadamente 28,011 manzanas dedicadas al cultivo de plátano, lo que equivale a unas 19,600 hectáreas. En 2023, la producción alcanzó las 866.7 millones de unidades, lo que representa un crecimiento del 2% en comparación con el año anterior (MAG, 2023).

El rendimiento promedio por manzana varía según la región y la variedad cultivada. Tal como se observa en la **Tabla 5**, se subdivide los porcentajes en las regiones del Pacífico y Central destacan por su alta productividad, mientras que la Región Caribe contribuye con variedades adaptadas a climas extremos.

Tabla 5. *Producción de plátano en Nicaragua*

Región	Producción (%)	Departamentos Clave	Características Agrícolas
Pacífico	60%	Rivas, León, Chinandega, Granada	Suelos fértiles, acceso a mercados y tecnología avanzada.
Región Central	25%	Matagalpa, Jinotega, Boaco	Clima húmedo, cultivos diversificados.
Región Caribe	15%	RAAN, RAAS	Adaptación a climas extremos y suelos pobres.

Fuente: (MIFIC, 2007)

En la actualidad, la producción agrícola está marcada por tendencias hacia la sostenibilidad y tendencias en la producción. La incorporación de prácticas de economía circular, como la reducción de desechos y el reciclaje de materiales, busca minimizar el impacto ambiental.

El aumento en la productividad en el uso de variedades mejoradas, como CEMSA ³/₄, ha incrementado la resistencia a plagas y enfermedades, mejorando los rendimientos en un 15% en los últimos cinco años (INTA, 2023). El 70% de la producción se destina al mercado interno, mientras que el 30% restante se exporta principalmente a países centroamericanos como Honduras, El Salvador y Costa Rica (Hernández, 2025).

3.3.1 Variedades cultivadas

El éxito del cultivo del plátano en Nicaragua radica en la selección de variedades adaptadas a las condiciones agroecológicas del país y a las demandas del mercado según MEFCCA en la guía técnica del manejo del cultivo del plátano. Las principales variedades son:

A. CEMSA ³/₄

- Producción Nacional: Constituye el 50% de la producción total.
- Características: Resistencia a plagas, alto rendimiento y buena calidad de pulpa.

- Usos: Frituras (tajadas y tostones), exportación y procesamiento industrial (biopelículas).

B. Cuerno Gigante

- Producción Nacional: Representa el 30% de la producción.
- Características: Adaptada a climas extremos y suelos pobres; alta productividad.
- Usos: Elaboración de harinas, productos deshidratados y frituras.

C. Cuerno Enano

- Producción Nacional: Aporta el 20% restante.
- Características: Variedad de bajo mantenimiento y alta calidad de pulpa.
- Usos: Consumo doméstico y chips.

3.3.2 Composición química y propiedades funcionales

Como se muestra en la **Tabla 6**, las cáscaras de plátano de la variedad CEMSA ¾, contienen una rica mezcla de nutrientes y compuestos bioactivos, lo que las hace ideales para aplicaciones industriales como la producción de biopelículas biodegradables.

Tabla 6. *Propiedades de la cascara de plátano CEMSA ¾*

Componente	Cáscara Verde (%)	Cáscara Madura (%)	Relevancia Funcional
Humedad	91.8	85.2	Facilita la plasticidad en biopelículas.
Almidón	42	18	Base estructural para matrices biodegradables.
Fibra Cruda	13	9.2	Incrementa resistencia y flexibilidad.
Proteínas	5.8	4.6	Mejora la cohesión de la matriz.
Cenizas	10.2	8.5	Minerales esenciales como potasio y calcio.
Compuestos Fenólicos	0.8	0.6	Propiedades antioxidantes y antimicrobianas.

Fuente: Espinoza (2015)

A continuación, se enumeran las propiedades funcionales destacadas.

1. Almidón: Principal componente estructural, ideal para la formación de geles y biopelículas.
2. Fibra Cruda: Mejora la resistencia mecánica y la elasticidad del material final.
3. Compuestos Fenólicos: Aportan propiedades antioxidantes y antimicrobianas que prolongan la vida útil de los alimentos recubiertos.

3.3.3 Manejo de residuos en Nicaragua

El consumo y procesamiento del plátano generan toneladas de cáscaras que, en su mayoría, terminan desechadas sin un manejo adecuado. Según datos de la FAO (2021), en Nicaragua se producen más de 120,000 toneladas de cáscaras de plátano cada año, lo que plantea un desafío ambiental significativo. Este desperdicio no solo contamina, sino que también representa una oportunidad valiosa para crear algo útil y sostenible. Encontrar maneras de aprovechar estas cáscaras, como transformarlas en bioplásticos o materiales biodegradables, podría marcar una gran diferencia, ayudando al medio ambiente y generando nuevas oportunidades económicas en el proceso.

Nicaragua es uno de los principales productores de plátano en Centroamérica, con una producción anual que supera el millón de toneladas (Nota de Prensa, 2024). Sin embargo, la gestión de los residuos generados por este cultivo es limitada, y gran parte de las cáscaras termina desechada en vertederos o como desecho orgánico sin tratamiento adecuado. Esto no solo representa un problema ambiental, sino también una oportunidad perdida para la creación de productos sostenibles.

Problemas ambientales asociados al manejo de residuos:

- Generación de lixiviados que contaminan el suelo y las aguas subterráneas.
- Emisión de metano y dióxido de carbono, ambos gases de efecto invernadero.
- Acumulación de desechos en vertederos, lo que agrava la contaminación visual y ambiental.

La transformación de las cáscaras de plátano en biopelículas permite abordar estos problemas desde una perspectiva sostenible, al tiempo que genera un producto funcional y de alto valor agregado. Según Espinoza (2015), esta estrategia no solo reduce los impactos negativos de los residuos, sino que también contribuye al desarrollo de tecnologías limpias y a la generación de empleo en comunidades locales.

3.4 Importancia local y contribución

Nicaragua, con una economía agrícola predominante, encuentra en cultivos como el tomate (*Solanum lycopersicum*) y el mango (*Mangifera indica*) productos de gran relevancia tanto para el consumo interno como para la generación de ingresos por exportación. Según el Banco Central de Nicaragua (2022), estos cultivos aportan significativamente al sustento de las familias rurales, representando una parte considerable del ingreso de pequeños y medianos productores. Sin embargo, la alta perecibilidad de estas frutas contribuye a pérdidas postcosecha significativas, que pueden superar el 30% de la producción, limitando su potencial comercial y afectando la seguridad alimentaria.

La implementación de soluciones innovadoras como las biopelículas biodegradables puede ofrecer una alternativa práctica para abordar este desafío. Estas películas, elaboradas a partir de cáscaras de plátano, permiten reutilizar residuos agrícolas generados localmente, alineándose con los principios de economía circular. Al proporcionar una barrera que reduce la pérdida de humedad y protege contra la proliferación microbiana, estas biopelículas tienen el potencial de prolongar la vida útil de frutas clave para el mercado local y regional. Este enfoque no solo fomenta el uso eficiente de recursos, sino que también contribuye a la sostenibilidad del sector agrícola (FAO, 2020).

3.5 Glicerina como plastificante principal

La glicerina es uno de los plastificantes más utilizados en la formulación de biopelículas debido a sus propiedades que mejoran la funcionalidad y la flexibilidad del material. Su alta compatibilidad con el almidón, derivada de su naturaleza polar,

permite una dispersión uniforme dentro de la matriz polimérica, favoreciendo la cohesión de los componentes (Bilck y Olivera, 2015).

Además, actúa como humectante, atrayendo agua del ambiente, lo que ayuda a mantener la flexibilidad de las biopelículas, especialmente en condiciones de baja humedad. En términos de propiedades mecánicas, la glicerina incrementa la elongación máxima del material, lo que significa una mejora significativa en su elasticidad. Según Huang y Netravali (2009), este incremento puede alcanzar hasta un 200%, dependiendo de la concentración utilizada, lo que convierte a la glicerina en un componente crucial para aplicaciones que requieren mayor maleabilidad.

No obstante, su uso puede generar una reducción en la resistencia a la tracción del material, una limitante que debe ser considerada en aplicaciones donde la integridad estructural sea crítica. Por lo tanto, es fundamental ajustar cuidadosamente la concentración de glicerina en las formulaciones para lograr un equilibrio óptimo entre flexibilidad y resistencia permitiendo que la biopelícula se adapte a superficies irregulares. Sin embargo, su uso excesivo puede comprometer la resistencia estructural.

Según estudios la diferencia de color y opacidad disminuye con el aumento de la glicerina (Chanatasig, 2015). Lo cual afirma la mejora en la transparencia de la biopelícula, haciendo que sea visualmente más atractiva para aplicaciones alimentarias. La adición de glicerina mejora la retención de humedad y una mayor permeabilidad puede limitar la capacidad de proteger alimentos de la deshidratación.

3.5.1 Comparación con Otros Plastificantes

Si bien la glicerina es el plastificante más comúnmente utilizado en biopelículas basadas en almidón, existen otras alternativas, cada una con ventajas y desventajas específicas como se detalla en la **Tabla 7**.

Tabla 7. *Comparación con otros plastificantes*

Plastificante	Ventajas	Desventajas
Sorbitol	Mejora la resistencia mecánica	Menor flexibilidad que la glicerina
Polietilenglicol (PEG)	Alta transparencia y flexibilidad	No es completamente biodegradable
Ácido Cítrico	Potencial antimicrobiano adicional	Puede acidificar la biopelícula

Fuente: Sharma et al. (2014)

IV. HIPOTESIS

H₁: La biopelícula desarrollada a partir de cáscara de plátano presentará un comportamiento de degradación diferenciado según el medio ambiental (aire, agua o tierra).

H₀: La biopelícula desarrollada a partir de cáscara de plátano no presentará un comportamiento de degradación diferenciado según el medio ambiental (aire, agua o tierra).

V. METODOLOGIA

El proyecto consistió en una investigación experimental descriptiva que combina la manipulación de variables para controlar el efecto en los resultados (almidón-glicerina). La investigación se desarrolló en tres etapas: la extracción del almidón, la elaboración de la biopelícula y la evaluación de biodegradabilidad en diferentes medios.

En relación con la cáscara de plátano, parte se obtienen de la Finca Agrícola Experimental UNI que parte se emplean en el Laboratorio de Operaciones Unitarias para el procesamiento de chips y las pérdidas de cáscaras se utilizaron para desarrollar la primera etapa de la investigación.

5.1 Ubicación

Los ensayos para la extracción de almidón y obtención del polímero se realizaron en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos (**Figura 2**) cuando estaba ubicado en el Recinto Universitario Simón Bolívar (RUSB). Las pruebas de biodegradabilidad se llevaron a cabo en casa para tener el acceso, según los días que se requirieron, de las muestras.



Figura 2. Macro localización de Laboratorio de Alimentos, UNI-RUSB. (Fuente: Google Maps, 2025).

5.2 Extracción del almidón de plátano verde (*musa paradisiaca*)

Existen diferentes métodos de extracción de almidón aplicables a diferentes materiales vegetales. Sin embargo, por las diferencias en la composición, no todos son aplicables a partir de residuos como la cáscara del plátano. Para la extracción del almidón de cáscara de plátano se tomó como referencia el proceso de extracción empleando por Mazzeo (2008) y Meza et al. (2019). A continuación, se detalla el método de extracción vía húmeda.

Inicialmente se lavaron los plátanos para eliminar cualquier suciedad adherida en la parte externa de la fruta. Luego, se preparó la solución con metabisulfito de sodio al 1% en agua destilada previo al rebanado para introducir inmediatamente las cáscaras de plátano una vez cortadas y reducir la oxidación (**Figura 3**). Con la ayuda de un cuchillo se separaron manualmente la cáscara de la pulpa e inmediatamente se cortaron en rodajas pequeñas y se pesaron 100 gr balanza analítica Mettler Toledo ML (± 0.001 g).



Figura 3. Preparación de solución anti-pardeamiento. A) Pesaje de metabisulfito de sodio. B) solución con agua destilada y metabisulfito de sodio al 1%. (Fuente: Elaboración propia).

Las rodajas de la cáscara se colocaron en un tratamiento químico al sumergirlas en la solución que se preparó previamente (metabisulfito de sodio al 1% en agua destilada) durante 30 minutos, como se muestra en la **Figura 4**. Una vez transcurrido el tiempo, se enjuagaron las rodajas con agua para eliminar la solución de metabisulfito de sodio.



Figura 4. Inmersión de rodajas de cáscara de plátano verde a la solución anti-pardeamiento. (Fuente: Elaboración propia).

Para el procesamiento de cada corrida se utilizaron entre 15 a 30 plátanos, dependiendo de la materia prima adquirida en el momento de extracción. Los trozos de cáscara de plátano se trituraron en una licuadora Oster junto con agua en relación 1:1 a velocidad máxima durante 2 minutos hasta obtener una pasta o lechada y se tamizo con la ayuda de un colador (**Figura 5**).



Figura 5. Proceso de extracción del almidón. A) Pesado de las cáscaras de plátano. B) Trituración de la materia prima para separar lo gránulos de almidón. C) Colado de la mezcla triturada. (Fuente: Elaboración propia).

Luego, se dejó decantar en un Beaker de 1L por un tiempo de 1 hora. Pasado ese tiempo se eliminó el sobrenadante y se lavó el contenido de almidón adicionando más agua para eliminar todo sedimento no deseado. Se trasladó la muestra en un

Beaker de 400 mL y se decantó, como se observa en la **Figura 6**, por 12 horas. Se obtuvo una separación de 2 fases, inferior conteniendo el almidón y superior con el agua de lavados.



Figura 6. Sedimentación del almidón al transcurrir 12 horas. (Fuente: Elaboración propia).

Se realizaron varias corridas de muestras sin secarse, con el fin de garantizar una manipulación adecuada y obtener biopelícula con integridad estructural para su caracterización (**Tabla 8**).

Tabla 8. *Extracción húmeda del almidón sin secado y pesos obtenidos*

Corrida	Peso de cáscara de plátano (gr)	Peso de almidón obtenido (gr)
1	461.33	47.68
2	637.38	92.96
3	408.14	64.69
4	1421.06	117.29
5	1315.85	118.93

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.2.1 Caracterización del almidón de la cáscara de plátano verde

Extraído el almidón se prosiguió a su caracterización mediante el método Kjeldahl para cuantificar la proteína del almidón. El método Kjeldahl (Helrich, 1990) implica tres pasos para la cuantificación de la proteína: digestión, destilación y titulación.

Se pesó 2 gr en papel filtro, se envuelve e introduce en el tubo Kjeldahl. Se añadió cuidadosamente 15 mL de ácido sulfúrico concentrado y una tableta de Kjeldahl de

5 gr que contiene selenio. Se colocó el tubo en el calentador del equipo Kjeldahl (**Figura 7**) y se conectó la salida del frasco al sistema de extracción de humos. Se abrió la llave de agua, se encendió el sistema al vacío y la corriente. Se activó el equipo para la digestión de la muestra.



Figura 7. Equipo Kjeldahl: A. Destilador; B. Scrubber; C. Digestor. (Fuente: Elaboración propia).

Ya terminada la digestión se dejó enfriar los tubos de la muestra hasta temperatura ambiente. Se añadió 30 mL de solución de ácido bórico al 4% en un matraz Erlenmeyer de 250 mL. Se colocó el Erlenmeyer en la parte final del condensador del equipo de destilación Kjeldahl para coleccionar el destilado. Se abrió la llave de alimentación de agua que va al equipo destilador y se destiló hasta recolectar 200 mL de destilado.

La cuantificación del nitrógeno amoniacal se realizó por medio de una volumetría ácida. Se empleó ácido clorhídrico y como indicador una disolución alcohólica de una mezcla de rojo de metilo y azul de metileno. Se tituló hasta que se observó de color violeta. Se calculó (**Ecuación 1 y 2**) el nitrógeno total determinado por titulación de la siguiente manera:

$$\%N_{Tot} = \frac{(V_{tm} - V_{tb}) \times N \times 14.01}{W_m \times 10} \quad (Ec. 1)$$

$$\%P = \%N_{Tot} \times F \quad (Ec. 2)$$

Donde:

- N_{Tot} : contenido de nitrógeno total en la muestra en %.
- V_{tm} : ml de NaOH utilizados en la titulación de la muestra.
- V_{tb} : ml de NaOH utilizados en la titulación de blanco.
- N : molaridad del NCl estándar.
- 14.01: peso atómico del nitrógeno.
- %P: porcentaje de proteína cruda.
- F : es un factor que es igual a 6.25 para materiales alimenticios

5.2.2 Rendimiento de extracción de almidón

El rendimiento del contenido de almidón en las cáscaras de plátano verde se determinó mediante la **Ecuación 3**.

$$\%R = \frac{W_a}{W_{cp}} \times 100 \quad (Ec. 3)$$

Donde:

- W_a : el peso en gramos del almidón obtenido.
- W_{cp} : el peso de las cáscaras de plátano.
- %R: porcentaje de rendimiento.

Para este análisis, se empleó una balanza analítica Mettler Toledo ML, obteniéndose la lectura del peso de cada de las muestras.

5.3 Obtención de biopelícula biodegradable

Para elaboración de bioplástico se realizaron los siguientes pasos para obtener el bioplástico según la metodología de Meza, et al. (2019). Las cantidades se consideraron, del polímero del 1 a 6, en las referencias de Betancourt, et al. (2024) y García (2017). Se seleccionó un diseño experimental L_6 ($2^1 \times 3^1$) dado que se trabajo con dos factores; uno posee tres niveles y dos niveles.

En un Beaker de 250 mL se colocó el almidón, se agregó el agua destilada y se mezcló bien. Esta mezcla se agitó durante 15 minutos en un agitador magnético con calentamiento Cimarec de Thermo Scientific, llevando gradualmente hasta 70°C. Cuando la mezcla se tornaba viscosa, se adicionó la glicerina y se mantenía en continua agitación hasta que la mezcla estuviera viscosa y homogénea. Basado en la técnica casting como lo muestra Fitch, et.al (2016), se vertió la mezcla en una placa de vidrio o en papel antiadherente (**Figura 8**) procurando formar una capa uniformemente delgada en la superficie. Luego, las láminas se secaron a una temperatura ambiente durante un período de 24. Al finalizar el secado, el bioplástico se desmoldeó.

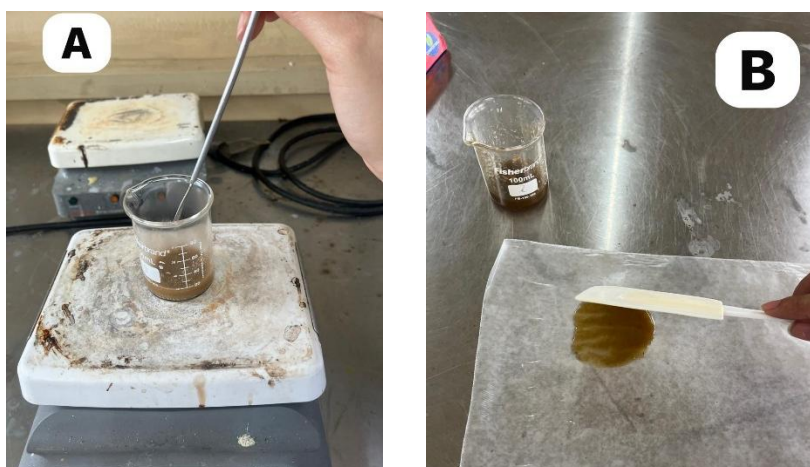


Figura 8. Elaboración de biopelícula. A) Mezcla uniforme según formulación. B) Distribución uniforme de la mezcla. (Fuente: Elaboración propia).

Este procedimiento se repitió hasta obtener películas con características adecuadas, empleando las cantidades de materia prima reportadas en la **Tabla 9**.

Tabla 9. *Formulaciones para la elaboración de biopelícula*

Polímero	Almidón de cáscara de plátano (gr)	Almidón auxiliar (gr)	Glicerina (mL)	Agua (mL)
1	5	0	5	10
2	5	0	10	10
3	5	0	15	10
4	10	0	5	10
5	10	0	10	10
6	10	0	15	10
7	5	3	10	5
8	8	2	12	5
9	10	2	4	80
10	10	6	4	80

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.4 Evaluación de la biodegradabilidad de las biopelículas

Se llevó a cabo una evaluación de la biodegradabilidad de las biopelículas en tres medios ambientales: agua, tierra y aire (**Figura 9**), utilizando una muestra por cada medio, con un tamaño aproximado de 4 cm de diámetro, conforme a la metodología adaptada de Pavón (2023).

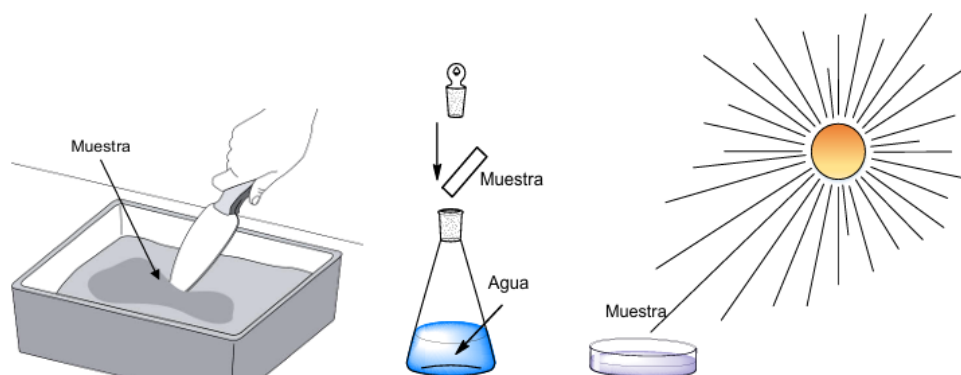


Figura 9. Elaboración de biodegradabilidad de la biopelícula en medios naturales: Tierra, agua y aire. (Fuente: Pavón 2023).

La metodología fue ejecutada utilizando recipientes plásticos con distintas capacidades, asignados según el tipo de medio (agua, suelo o aire) para las pruebas de biodegradación. Estas condiciones permitieron mantener la viabilidad experimental y garantizar la obtención de resultados representativos del comportamiento del material en ambientes naturales.

Se realizaron observaciones visuales de las muestras cada tres días (días 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 y 30), registrando cambios de color, aparición de grietas, fragmentación o deformación, complementadas con fotografías. Al inicio y al final del periodo experimental (día 30), se pesaron las muestras de biopelícula en una balanza digital modelo WD61477 marca Mainstays (± 0.001 g). Para la pesada final, las muestras se dejaron secar a temperatura ambiente (25-28 °C) en un área ventilada, sobre papel absorbente o malla plástica, hasta alcanzar un peso constante (variación menor a 0.01 g entre dos mediciones consecutivas). La pérdida de peso (%) se calculó utilizando la **Ecuación 4**.

$$\%Pp = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100 \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

- %Pp: porcentaje de pérdida de peso.
- P_i : el peso inicial de la muestra de biopelícula.
- P_f : peso final seco de la biopelícula.

5.4.1 Condición de agua

La muestra correspondiente al medio acuoso se colocó en un recipiente plástico transparente con 200 mL de agua potable previamente hervida y enfriada. Esta se mantuvo a temperatura ambiente (25–28 °C) y fue agitada manualmente una vez al día para simular el movimiento natural del agua.

Cabe señalar que el agua no fue renovada a lo largo del experimento, ya que a partir del día 15 la biopelícula comenzó a fragmentarse, dificultando su manipulación. Esta adaptación fue necesaria para evitar la pérdida de la muestra asegurar la continuidad del ensayo.

5.4.2 Condición de tierra

Se utilizó un recipiente plástico con una capa de aproximadamente 7 cm de tierra de jardín limpia, de la cual se retiraron piedras y materia orgánica gruesa para homogeneizar la textura. La humedad se ajustó con agua potable hervida y enfriada hasta obtener una humedad adecuada al tacto, evitando encharcamientos.

La muestra se enterró a una profundidad de 5 cm. A diferencia de otros protocolos que recomiendan cubrir los recipientes, en este caso permanecieron descubiertos, ubicados en un área ventilada, protegida del sol directo y la lluvia. Esta decisión buscó evitar condiciones anaerobias, manteniendo la actividad microbiana del suelo que favorece la degradación

5.4.3 Condición de Aire

La muestra destinada a la condición de aire se colocó en un recipiente plástico limpio de base plana, sin cobertura ni adición de humedad. Este permaneció abierto y ubicado en un área ventilada, protegida del sol directo y el polvo, a temperatura ambiente (25–28 °C).

Durante el periodo experimental, se documentaron los cambios físicos visibles cada tres días y, al día 30, se realizó la pesada final después del secado natural, conforme a los lineamientos aplicados en los otros medios.

VI. Resultados y discusión

6.1 Extracción almidón

Siguiendo los procedimientos detallados en la metodología, se obtuvo almidón a partir de cáscara de plátano por vía húmeda, con un rendimiento del 1.97%. El dato obtenido es aproximado al reportado por Lambis et al., 2015 pero los valores de rendimiento obtenidos de Cárdenas (2018) son superiores.

Cabe destacar que los rendimientos no variaron de manera significativa a pesar de emplear diferentes antioxidantes, ácido ascórbico en el estudio de Lambis et al., 2015 y metabisulfito de sodio en el presente, en proporciones equivalentes pero en diferentes tiempos de inmersión. Lo que afirma lo establecido por Hernández-Carmona (2017), se obtienen mayores rendimientos de almidón con mayores concentraciones de antioxidantes, mientras que el tiempo de inmersión no tiene un efecto significativo en el rendimiento final.

6.1.1 Caracterización del almidón

El análisis de proteína realizado por el método Kjeldahl reportó un valor de 5.83% para la muestra de almidón de cáscara de plátano. El valor de contenido de almidón en la muestra puede justificarse considerando la relación inversa entre la proteína y almidón descrita en estudios sobre cereales, donde un mayor contenido proteico se asocia con una menor concentración de almidón (Zinn et al., 2002 y Yu et al., 2017).

Según lo reportado de proteína en el presente estudio, valor que guarda relación con lo la investigación *“Usos potenciales de la cáscara de banano”* por López et al., 2014, donde se evidenció una composición proximal de 8.6% de proteína y 12.78% de almidón en la cáscara de banano. Esta comparación refuerza la relación inversa entre el contenido de proteína y almidón descrita, ya que un mayor porcentaje de proteína suele estar acompañado de una menor concentración de almidón. También se puede relacionar, según el resultado proteico, en este trabajo que el porcentaje de almidón es proximal o menor a 10%.

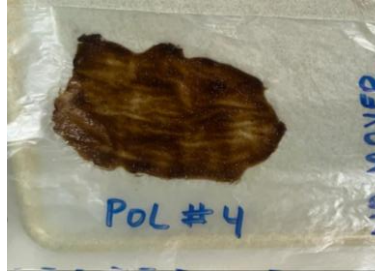
6.2 Formulación de biopelículas de almidón de cáscara plátano verde

Se elaboraron 10 muestras de biopolímeros, a partir de diferentes concentraciones de los componentes (**Tabla 9**). En la siguiente **Tabla 10** se describe y se reporta una fotografía de cada muestra:

Tabla 10. Resultados de las formulaciones para elaboración de biopelícula

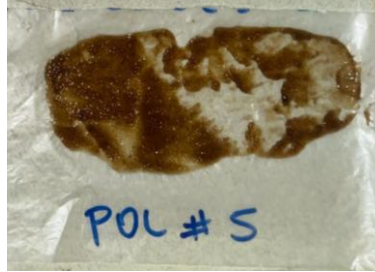
Polímero	Evidencia	Observaciones
1		• No logró secar • Alta humedad • Flexibilidad nula • Color muy oscuro
2		• No logró secar • Alta humedad • Nula flexibilidad • Color muy oscuro
3		• No logró secar • Alta humedad • Nula flexibilidad • Color más claro

4



- Secado lento
- Frágil y pegajosa
- Nula flexibilidad
- Presencia de grumos

5



- No logró secar
- Frágil y pegajosa
- Nula flexibilidad
- Frágil

6



- Uniforme y compacta
- No logró secar
- Brillante

7



- Color más claro y translucido
- No logró secar
- Alta humedad
- Nula flexibilidad

8



- Color más claro y translucido
- No logró secar
- Alta humedad
- Nula flexibilidad

9



- Secó completamente <48 hr
- Quebradiza
- Lisa
- Flexible

10



- Sin humedad visible
- Secó completamente <48 hr
- Lisa y brillante
- Uniforme
- Flexible

Nota. Fuente: Elaboración propia

Entre las diez formulaciones evaluadas, únicamente la 10 permitió obtener el biopolímero. La selección se realizó de manera visual, ya que dicho biopolímero presentó una superficie homogénea, sin grumos, ni fisuras y uniforme. Asimismo, el biopolímero no mostró un exceso de humedad en los primeros días de elaboración, lo que facilitó un proceso de secado eficiente y uniforme.

Cabe recalcar que el polímero 9 se realizó con el almidón extraído vía húmedo y secado pero la biopelícula al momento de secarse no se obtenían una lámina uniforme. La utilización de almidón sin someterlo al proceso de secado evitó a la formación de que la biopelícula fuera quebradiza, lo que justificó su aplicación en la formulación seleccionada. Por estas razones, esta formulación fue la única en la que se evaluó la biodegradabilidad establecidos en el presente estudio.

Los biopolímeros que no fueron considerados en el análisis presentaron limitaciones asociadas a la calidad del almidón extraído relacionado al porcentaje de proteína. Ya que no lograron secarse adecuadamente incluso después de 48 horas.

Estas condiciones generaron que no se desarrollarán estructuras (Polímero 1 al 8) necesarias para considerarse una biopelícula. En el polímero 8 y 7 se utilizó el almidón de la pulpa del plátano, pero no se logró la obtención de biopelícula. Por tal razón, limitó la formación de la red polimérica responsable de darle cohesión y

estructura al material y se requirió utilizar como auxiliar el almidón de fécula de maíz en el polímero 9 y 10.

6.3 Evaluación de la biodegradabilidad de las biopelículas en medios naturales

A) Medio terrestre

La muestra colocada en tierra húmeda se expuso parcialmente al contacto directo con el sustrato durante 30 días (**Figura 10**). A lo largo del experimento se observó una degradación progresiva del material. Desde los primeros días se registró una pérdida de brillo, opacidad, coloración superficial y aparición de manchas oscuras. Lo cual dichas características coinciden con lo descrito por Pavón (2023), quien observó que la colonización inicial por microorganismos se manifiesta mediante cambios visuales como opacidad y coloración.



Figura 10. Colocación de la muestra en medio terrestre. (Fuente: Elaboración propia).

Entre los días 6 y 15 se evidenció una pérdida paulatina de flexibilidad, aparición de micro fisuras y desprendimiento de pequeños fragmentos en los bordes de la biopelícula (**Figura 11**).

Al día 30, la masa inicial pasó de 5.1 gr a 3.1 gr. Lo que representa una pérdida del 39.22% utilizando la **Ecuación 4**. Esta reducción, aunque moderada, demuestra que el entorno terrestre facilita procesos de biodegradación microbiana activa, atribuibles a la acción de hongos y bacterias del suelo, especialmente en presencia de humedad constante.



Figura 11. Evaluación de la biodegradabilidad en medio terrestre a los 30 días de observación. (Fuente: Elaboración propia).

B) Medio Acuoso

La muestra sumergida en agua mostró la respuesta más rápida y evidente frente a la degradación. Ya en el segundo muestreo (día 6), se detectaron signos de hinchamiento y formación de una capa superficial gelatinosa (**Figura 12**). Pavón (2023) también documenta este fenómeno en biopelículas con alto contenido de almidón, destacando que la interacción del agua con la matriz polimérica provoca la ruptura de enlaces de hidrógeno y la desestructuración del material.

Para el día 15, la biopelícula comenzó a fragmentarse, dificultando su manipulación. Alrededor del día 21 la muestra se desintegró completamente a como se puede observar en la **Figura 12**, lo cual impidió su posterior pesaje. Esta degradación del 100% (estimada) se considera favorable en términos de sostenibilidad ambiental, ya que indica que el material no permanece como residuo persistente en cuerpos de agua.

Este resultado corrobora las observaciones de Pavón (2023), quien también reportó una pérdida de integridad total en medios acuáticos en periodos menores a un mes.

Se observó una desintegración total de la biopelícula antes de completar el período de evaluación, lo que imposibilitó realizar pesajes posteriores. Este comportamiento es coherente con lo reportado por Pavón (2023), quien evidenció una degradación acelerada de matrices biopoliméricas de almidón en ambientes hídricos debido a la

facilidad de difusión del agua en la estructura del material, lo que promueve la hidrólisis y posterior descomposición del biopolímero.



Figura 12. Evaluación de la biodegradabilidad en medio acuoso en el periodo de 30 días. (Fuente: Elaboración propia).

C) Medio aéreo

La muestra expuesta al aire mostró una degradación mínima. Durante los 30 días, se mantuvo en un recipiente plástico protegido de la luz directa. Los primeros signos de envejecimiento aparecieron hacia el día 9, con leve rigidez y pérdida de transparencia. No obstante, no se observaron fisuras ni rupturas significativas (**Figura 13**).

El peso disminuyó de 15.0 gr a 13.8 gr, lo que equivale a una pérdida del 8%. Este comportamiento se explica por la falta de humedad y la escasa presencia de agentes degradantes en el entorno. Pavón (2023) advirtió que el aire seco solo

permite procesos de oxidación lenta y deshidratación superficial, sin promover una verdadera biodegradación activa.



Figura 13. Evaluación de la biodegradabilidad en medio aéreo durante el periodo de 30 días de observación. (Fuente: Elaboración propia).

Durante el análisis de biodegradación, se observó un comportamiento claramente diferenciado según el medio de exposición (**véase Tabla 11**). En el medio acuático, la muestra presentó una desintegración total antes del segundo muestreo, lo cual impidió registrar valores posteriores al peso inicial (3.9 g). Esta situación fue representada en la **Figura 14** mediante una línea continua, ilustrando una pérdida total de masa en un corto periodo de tiempo.

Tabla 11. Porcentaje de biodegradación de la biopelícula según el medio ambiental al día 30

Medio Ambiental	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Porcentaje de biodegradación (%)
Tierra	5.1	3.1	39.20%
Aire	15	13.8	8.00%
Agua	3.9	0.0	100.00%

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En contraste, en el medio terrestre, se evidenció una pérdida de masa progresiva, alcanzando una reducción del 39.2% al finalizar el periodo de 30 días, lo cual sugiere un proceso de degradación sostenido. Por su parte, en el medio aéreo, la biopelícula mantuvo su integridad estructural con apenas un 8% de pérdida, comportamiento que refleja una degradación mínima en ausencia de humedad.

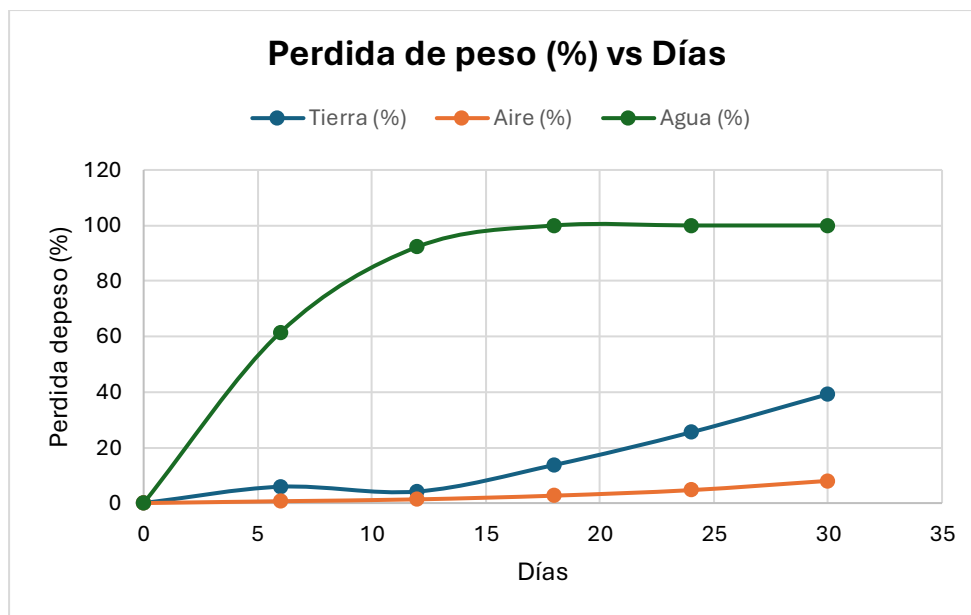


Figura 14. Gráfico de degradación de las biopelículas en diferentes medios ambientales. (Fuente: Elaboración propia).

La gráfica (**Figura 14**) permite visualizar de forma comparativa la cinética de degradación en cada medio, evidenciando que la humedad juega un rol determinante en la tasa de descomposición. La pendiente abrupta en el caso del agua y la pendiente constante en tierra contrastan con la estabilidad relativa de la curva correspondiente al aire, consolidando la interpretación de los datos registrados en la tabla. La muestra sufrió desintegración total antes del segundo muestreo, por lo que solo se registró el peso inicial. Esto se representó con una línea discontinua que desciende hacia 0 g, evidenciando una degradación rápida y completa.

VII. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demostraron la viabilidad técnica del uso de cáscara de plátano verde (*Musa paradisiaca*) como materia prima para la elaboración de biopelículas biodegradables. La extracción por vía húmeda fue exitosa alcanzando un rendimiento del 1.97%, validando así la viabilidad técnica del aprovechamiento de este subproducto agroindustrial. A pesar de que el rendimiento por vía húmeda es bajo, brinda una biopelícula menos quebradiza y uniforme. El contenido proteico del 5.83% respaldó además su idoneidad para formular materiales con propiedades adecuadas.

En cuanto a la formulación del biopolímero, se comprobó que las mezclas elaboradas únicamente con almidón de cáscara y glicerina no presentaron estabilidad estructural. Sin embargo, la combinación de almidón de maíz (35%) y almidón de cáscara de plátano (65%) permitió obtener biopelículas con buena compactación, superficie lisa, sin fisuras y con adecuado desmoldeo. Estos resultados demuestran que la proporción de almidones y la concentración de plastificante son factores determinantes para la formación de biopelículas funcionales y que la cáscara de plátano verde puede aprovecharse exitosamente al integrarse con otros componentes naturales.

Finalmente, la evaluación de biodegradabilidad evidenció una descomposición completa en medio acuático antes de los 30 días, una degradación del 39.2% en tierra y del 8% en medio aéreo, confirmando que la humedad y las condiciones ambientales influyen significativamente en el proceso. En conjunto, los resultados validan el potencial del almidón de cáscara de plátano como recurso sostenible para la elaboración de materiales biodegradables, aportando una alternativa viable para la reducción de residuos plásticos y promoviendo el aprovechamiento de desechos agrícolas desde un enfoque de economía circular y sostenibilidad ambiental.

VIII. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta investigación, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a enriquecer futuras líneas de estudio y perfeccionar la elaboración de biopelículas a partir de cáscara de plátano.

Se recomienda emplear cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*) con un grado de maduración menor (verde). Dado que presentan un mayor contenido de almidón, durante el proceso de maduración ese almidón se transforma en azúcares, lo que reduce la disponibilidad de la fracción polimérica necesaria para la formulación de biopelículas y afecta sus propiedades funcionales.

Es necesario desarrollar un análisis comparativo de costos y beneficios entre los distintos tratamientos aplicados, que considere rendimiento, facilidad de elaboración y viabilidad de escalamiento industrial a nivel nacional. Dicho análisis evaluará no solo la factibilidad económica de producir el nuevo producto para el mercado, sino también su potencial impacto en cadenas de valor locales.

Para robustecer y validar los resultados experimentales se sugiere incorporar análisis físico-mecánicos (resistencia, permeabilidad y elasticidad) junto con evaluaciones microbiológicas que permitan evaluar el comportamiento integral de las biopelículas bajo diferentes condiciones de aplicación.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Arana, L. (2018). Efecto de la aplicación de recubrimiento comestible a base de quitosano y aceite de oregano (*Origanum vulgare*) sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas en filtes de cerdo (*Sus scrofa domestica*) fresco almacenados en refrigeración. Trujillo.
- Ardiani, Y., & Karmini, M. (2023). Effect of using cassava and glycerol as food storage on the quality of bioplastic packaged food.
- Argueta, M., & Trujillo, A. (2019). Elaboración y caracterización de una biopelícula a partir de almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca*) incorporando aceite esencial de orégano como inhibidor microbiano.
- Arif, S., Burgess, G., Narayan, R., & Harte, B. (2007). Evaluation of a biodegradable foam for protective packaging applications. *Packaging Technology and Science / Volume 20*, 23-30.
- Arrieta, Á., & Palencia, M. (2016). Estudio electroquímico de un biopolímero compuesto PPy/almidón de cassava.
- Barrino, F., Samper, M., & Schiraldi, C. (2023). Preparation and Characterization of New Bioplastics Based on Polybutylene Succinate (PBS). *Polymers*.
- Betancourt, K., Malte, A., & Melo, M. (2024). Creación de bioplástico a partir del almidón de la cáscara de plátano a escala laboratorio.
- Bilck, A., & Olivera, A. (2015). Using glycerol produced from biodiesel as a plasticiser in extruded biodegradable films. *Leondrina*.
- Borrelle, S., Ringma, J., & Lavender, K. (Septiembre de 2020). Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution.
- Cárdenas, M. (2018). Extracción de almidón a partir de residuos de banano (*Musa paradisiaca*) para la elaboración de un biopolímero. Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16241/1/UPS-CT007893.pdf>
- Casco, M. A., & Bonilla, L. E. (2020). Comportamiento agronómico del plátano (*Musa paradisiaca* L.) variedad CEMSA ¾ bajo dos métodos de selección de cormos, Potosí, Rivas, 2017. Managua.

- Chanatasig, J. A. (2015). Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (*Passiflora edulis* spp.). Honduras.
- Espinoza, J. (2015). Propiedades y aplicaciones de películas comestibles. *Revista de Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 45-56.
- FAO. (2019). Obtenido de <https://www.fao.org/interactive/state-of-food-agriculture/2019/es/>
- Finkenstadt, V. (2005). Biodegradable films derived from starch. *Journal of Polymers and the Environment*, 13 (1), 17-24.
- Fitch Vargas, P. R., & et.al. (2016). Physicochemical and Microstructural Characterization of Corn Starch Edible Films Obtained by a Combination of Extrusion Technology and Casting Technique. *Journal of Food Science*.
- García, E., & Fernandez, I. (2012). Determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con un ácido fuerte. Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/7bd9f01d-404e-4840-82ab-7a15357b6732/content>
- García, I. (2017). Determinación de concentración óptima de ácido acético-glicerol en la elaboración de plástico biodegradable a partir de almidón de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en pucallpa.
- González, V., & Reyes, V. (2022). Biopolímero a partir de almidón de cáscara de plátano *Musa Sapientum* mediante tratamiento químico, Departamento de Química, UNAN-Managua, Julio 2021- Marzo del 2022.
- Guamán, E. (2021). Obtención de una biopelícula a partir de la papa superchola (*solanum tuberosum* L.) y pericarpio de maracuyá (*passiflora edulis*) para el embalaje de alimentos.
- Helrich, K. (1990). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (Vol. 1). Virginia. Obtenido de <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>
- Hernández- Carmona, F., & Morales-Matos, Y. (2017). Starch extraction potential from plantain peel wastes.
- Hernández, C. M. (21 de enero de 2025). Plátano nacional se vende en El Salvador, Honduras y Costa Rica. Obtenido de La Gente, Radio La Primerísima: https://radiolaprimerisima.com/platano-nacional-se-comercializa-en-el-salvador-honduras-y-costa-rica/#google_vignette

- Herrera, A. P., & Hernández, K. D. (2019). Desarrollo de una biopelícula partiendo de cáscara de banano y fibra natural como agente de refuerzo a nivel laboratorio. Bogotá.
- Herrera, Z. (2021). Formulación y caracterización de una biopelícula a partir de almidón de papa "santa isabel" (*solanum tuberosum*) para el uso de alimentos. Riobamba.
- Huang, X., & Netravali, A. (2009). Biodegradable Green Composites Made Using Bamboo Micro/Nano-Fibrils and Chemically Modified Soy Protein Resin. *Composites Science and Technology*, 338-347.
- Huilcarema, K., Amaguay, R., & Sevilla, J. (2024). Bioplásticos a Partir de Residuos Agrícolas: Una Revisión Sistemática, Tendencias Y Oportunidades Actuales. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar* 8 (5).
- INTA. (2021). Revista digital inta invesitga.
- Jiang, T., Duan, Q., Zhu, J., Lui, H., & Yu, L. (2020). Starch-based biodegradable materials: Challenges and opportunities. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 3 (1), 8-18.
- Krochta, J., & Mulder-Johnston, D. (1997). Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food Technol Vol.* 51, 61-74.
- Lambis, H., Hernández, F., Morales, Y., Marín, L., & Pasqualino, J. (2015). Extracción de almidón a partir de residuos de piel de plátano. Bogotá. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/303541238_Extraccion_de_almidon_a_partir_de_residuos_de_piel_de_platano
- Lecca, L. A. (2018). Efecto de la aplicación de recubrimiento comestible a base de quitosano y aceite de oregano (*Origanum vulgare*) sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas en filtes de cerdo (*Sus scrofa domestica*) fresco almacenados en refrigeración. Trujillo.
- López, D., Valdivia, H., & Olivas, D. (2021). Formulación y validación de biopelícula a partir de almidón extraído de cáscara de plátano *musa sp*, para prolongar la vida útil de banano, manzana y yuca.
- López, J., Cuarán, J., Arenas, L., & Flores, L. (Diciembre de 2014). Usos potenciales de la cáscara de banano: elaboración de un bioplástico. Colombia. doi:10.23850/24220582.109
- MAG. (2023). Crece producción nacional de plátano en Nicaragua.

- Mazzeo, M. (2008). Obtención de almidón a partir de residuos poscosecha del plátano dominico hartón (mussa aab simmonds). Vector, 3, 57-59.
- Meza, P., Quipuzco, L., & Meza, V. (2019). Elaboración de bioplásticos y determinación de su biodegradabilidad- Proyecto laboratorio . Lima.
- MIFIC. (2007). Ficha del Plátano. 9-10.
- Montano, F. J., García, V. E., & López, G. B. (2019). Análisis bromatológico de cáscaras de diferentes variedades de plátano (Musa spp.) para su posterior utilización en la formulación de harinas enriquecidas.
- Nguyen, V., & Diep, T. (2022). Efficacy of Enriched Medium-chain Fatty Acids in Virgin Coconut Oil in Their Antibacterial Activity against Food Pathogens . Philippine Journal of Science , 813-821.
- Nicaragua, G. d. (2021). Sección 1. Plan Nacional de Lucha Contra la Pobreza y para el Desarrollo Humano 2022-2026. Obtenido de <http://www.hacienda.gob.ni/hacienda/presupuesto2023/mpmp/204.PlanNacLuchaContraPobrezaDesaHum.pdf>
- Nota de Prensa. (20 de abril de 2024). Nicaragua presenta un crecimiento sostenido en la producción de plátano. El 19.
- ONU. (5 de Junio de 2023). Noticias ONU. Obtenido de [https://news.un.org/es/story/2023/06/1521702#:~:text=La%20agencia%20de%20la%20ONU,el%20Medio%20Ambiente%20\(PNUMA\)](https://news.un.org/es/story/2023/06/1521702#:~:text=La%20agencia%20de%20la%20ONU,el%20Medio%20Ambiente%20(PNUMA)).
- Osorio, A., & Rubiano, K. (2019). Desarrollo de una biopelícula partiendo de cáscara de banana y fibra natural como agente de refuerzo a nivel laboratorio .
- Parra, D., Tadini, C., Ponce, P., & Lugao, A. (2004). Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films. Carbohydrate Polymers Volume 58, 475-481.
- Pavón, J. (2023). Desarrollo de polímeros biodegradables a partir de almidón de papa y yuca como material de protección para la conservación de queso seco.
- PNUMA. (05 de diciembre de 2020). ONU programa para el medio ambiente. Obtenido de <https://www.unep.org/es/resources/informe/guia-nacional-para-identificar-puntos-criticos-de-contaminacion-por-plasticos>
- Polisantafe. (2024). Polisantafe. Obtenido de <https://polisantafe.com.ar/plastico-a-partir-de-almidon/?shared=false>

- Rusli, A. (2016). Physical and mechanical properties of agar based edible film with glycerol plasticizer. *International Food Research Journal* 23.
- Sharma, R., Gupta, R., & Walia, S. (2014). Biopelículas: Innovación y sostenibilidad en la conservación de alimentos. *Journal of Food Science and Technology*, 51 (8), 1541-1550.
- Versino, F., Lopez, O., Garcia, M., & Zaritzky, N. (2016). Starch-based films and food coatings: An overview. *Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos*, 1026-1037.
- Yu, W., Tan, X., Zou, W., Hu, Z., Fox, G. P., Gidley, M. J., & Gilbert, R. G. (2017). Relationships between protein content, starch molecular structure and grain size in barley. doi:10.1016/j.carbpol.2016.08.078
- Zinn, R., Owens, F., & Ware, R. (2002). Flaking corn: Processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. California. doi:10.2527/2002.8051145x

X. ANEXOS

Managua, 29 de septiembre de 2025

MSc. José Mamerto Méndez Úbeda
Director del Área de Conocimiento de Agricultura-UNI

Su despacho,

Estimado MSc. Méndez:

Por este medio, nosotros, Br. Andy Marcelo Falcón Rodríguez (2019-1033U) y Br. Mayte Medrano Brenes (2019-1044U), ambos egresados del Programa Académico de Ingeniería Química, nos dirigimos respetuosamente a usted para solicitar el ajuste del tema y de los objetivos de nuestro trabajo monográfico, originalmente titulado: **Obtención de biopelícula plástica con propiedades antibacterianas a base de cáscara de plátano y aceite de coco.**

El nuevo título propuesto es: **“Obtención de biopelícula a base de cáscara de plátano.”** El cambio se realiza debido a la imposibilidad de realizar una emulsificación adecuada entre el aceite de coco y la matriz polimérica, ya que no se cuenta con los equipos necesarios para dichos procedimientos. Como alternativa metodológica, se decidió mantener la elaboración de la biopelícula, enfocando su evaluación en la biodegradabilidad en medios naturales (agua, tierra y aire). A continuación, se presentan los objetivos actualizados:

Objetivo General: Desarrollar una biopelícula biodegradable a partir de cáscara de plátano, evaluando su desempeño frente a condiciones ambientales de agua, tierra y aire.

Objetivos Específicos:

- Extraer almidón de cáscara de plátano mediante un proceso experimental a escala laboratorio, como materia prima en la producción de biopelículas.
- Obtener una biopelícula utilizando almidón de cáscara de plátano mediante un proceso experimental en laboratorio.
- Evaluar la biodegradabilidad de la biopelícula en diferentes medios naturales (agua, tierra y aire), a través del análisis de la pérdida de masa durante un periodo de 30 días.

Agradeciendo de antemano su atención y quedamos atentos a su pronta aprobación.

Br. Andy Marcelo Falcon Rodriguez

Br. Mayte Medrano Brenes

MSc. Johana O'Connor Mendoza



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE REGISTRO ACADÉMICO

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2025

No. Recibo

No. Inscripción **7194**

NOMBRES Y APELLIDOS: Mayte Medrano Brenes

CARRERA: INGENIERÍA QUÍMICA

CARNET: 2019-1044U

TURNO: Diurno

PLAN DE ESTUDIO: 2015

SEMESTRE: SEGUNDO SEMESTRE
2025

FECHA: 25/07/2025

No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1	ULTIMA LINEA					

F:Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura.

USER_ONLINE

GRABADOR

FIRMA Y SELLO DEL
FUNCIONARIO

FIRMA DEL
ESTUDIANTE

cc:ORIGINAL:ESTUDIANTE - COPIA:EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 29-sep.-2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE REGISTRO ACADÉMICO

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2025

No. Recibo

No. Inscripción **7115**

NOMBRES Y APELLIDOS: Andy Marcelo Falcon Rodríguez

CARRERA: INGENIERÍA QUÍMICA

CARNET: 2019-1033U

TURNO: Diurno

PLAN DE ESTUDIO: 2015

SEMESTRE: SEGUNDO SEMESTRE
2025

FECHA: 24/07/2025

No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1	ULTIMA LINEA					

F:Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura.

USER_ONLINE

GRABADOR

FIRMA Y SELLO DEL
FUNCIONARIO

FIRMA DEL
ESTUDIANTE

cc:ORIGINAL:ESTUDIANTE - COPIA:EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 29-sep.-2025



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
AREA DE CONOCIMIENTO DE AGRICULTURA**

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **ÁREA DE CONOCIMIENTO DE AGRICULTURA** hace constar que:

MEDRANO BRENES MAYTE

Carné: **2019-1044U** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA QUÍMICA**, en el año 2024 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los seis días del mes de agosto del año dos mil veinte y cinco.

Atentamente,



MSc. Helia Vanessa Taleno Oporta
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
AREA DE CONOCIMIENTO DE AGRICULTURA**

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **ÁREA DE CONOCIMIENTO DE AGRICULTURA** hace constar que:

FALCON RODRÍGUEZ ANDY MARCELO

Carné: **2019-1033U** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA QUÍMICA**, en el año 2024 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los seis días del mes de agosto del año dos mil veinte y cinco.

Atentamente,

Helia Vanessa Talero Oporta



MSc. Helia Vanessa Talero Oporta
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA