

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“Obtención de una biopelícula plástica a base de harina de
malanga para el empaque de alimentos”**

TRABAJO DE DIPLOMA PRESENTADO POR:

Br. Diego Hakim Coen Narcisso.

Br. Joseph Abdul Pantoja Ruiz.

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

TUTOR

MSc. Johana Lisseth O’Connor Mendoza

ASESOR

Ing. Marvin Alfonso Chavarría Molina.

Managua, Nicaragua Octubre del 2023

Dedicatoria

A DIOS, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más a mi padres por ser las personas que me han acompañado todo mi trayecto estudiantil y de vida, quienes han velado por mí durante este arduo camino para convertirme en un profesional a mi padre que desde el cielo me ilumina para seguir adelante con mis proyectos también a mis dos hijos que han sido mi mayor motivación para salir adelante y ser un ejemplo para ellos.

Br. Joseph Abdul Pantoja Ruiz

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, por el sacrificio que han realizado durante todos estos años de carrera universitaria, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en un profesional y poder continuar mejorando tanto en mi vida personal como profesional.

También le dedico a todas esas personas que me han apoyado de alguna manera a lo largo de mis años en la universidad, logrando realizar este trabajo con éxito.

Br. Diego Hakim Coen Narcisso

Agradecimiento

Principal agradecimiento a DIOS quien me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir a delante a mi familia por su comprensión y estímulo constante además su apoyo condicional a lo largo de mis estudios y a todas las personas que de una y otra forma me apoyaron a realizar este trabajo.

Br. Joseph Abdul Pantoja Ruiz

Agradecimiento

Agradezco demasiado a mi familia, por el estímulo que me han brindado para seguir adelante en la vida, el apoyo condicional que me han brindado para lograr cumplir mis estudios, de los sabios consejos para ser un mejor profesional y persona y, sobre todo, les agradezco por la confianza y la fe que han tenido en mí.

Agradezco también a los profesores que he tenido por el compromiso, la sabiduría que me han brindado y todo el apoyo que me dieron durante todo el trayecto de mi carrera universitaria, los admiro mucho.

Agradezco mucho a mi tutora Msc. Johanna O'Connor y mi asesor Ing. Marvin Alfonso, por el compromiso, sacrificio, entrega y dedicación durante toda la etapa de este trabajo. Muchísimas gracias.

Br. Diego Hakim Coen Narcisso

Opinión del tutor

El presente trabajo de diploma titulado “**Obtención de una biopelícula plástica a base de harina de malanga para el empaque de alimentos**” realizado en la Universidad Nacional de Ingeniería, ha sido desarrollado por los bachilleres: Diego Hakim Coen Narcisso y Joseph Abdul Pantoja Ruiz, quienes identificaron una oportunidad de utilización de la malanga, un tubérculo producido a nivel nacional que hasta la fecha no ha tenido ningún tipo de industrialización en el país y que tiene un gran potencial para formar una biopelícula la cual servirá para empaques alimenticios.

El desarrollo de nuevos empaques biodegradables contribuye y consolida la introducción del reciclaje a la sociedad Nicaragüense, implementando soluciones técnicas y medioambientales factibles. A partir de estos estudios, se obtienen alternativas sostenibles, que buscan reducir el impacto ambiental que amenaza a muchos organismos y contribuyen, al máximo, con el reciclaje; disminuyendo la generación de gases tóxicos y acumulación de plásticos.

Con los resultados obtenidos en este estudio, los graduados aportan a la política de investigación, innovación y tecnologías productivas de Nicaragua 2022-2023, que orienta a la generación de tecnologías y prácticas agropecuarias en manejo sostenible de cultivos, insumos biológicos y postcosecha; que aporten al incremento de la productividad, la agregación de valor y la transformación de la producción agropecuaria y la adaptación de la agricultura a la variabilidad climática. En cada etapa de esta propuesta, los graduados, pudieron demostrar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de Ingeniería Química, aplicaron lo aprendido en materias como: química general, química orgánica, análisis instrumental, fundamento de los procesos biológicos, balance de materiales, Balance de materia y energía, procesos industriales, química de los alimentos, entre otras, demostrando su capacidad de poner este conocimiento al servicio del desarrollo sostenible del país.

Por lo antes expuesto, el presente Trabajo de Diploma, reúne los requisitos para ser sometido ante el correspondiente Tribunal Examinador, a quienes se les solicita valorar de manera positiva la contribución de los autores de manera pertinente, técnico-práctico y resolutivo a problemas reales que enfrentan la industria y sociedad nicaragüense.

MSc. Johana Lisseth O'Connor Mendoza

Tutor del Trabajo de Diploma

Managua, septiembre 2023

Resumen

Las biopelículas conformadas por materiales naturales o compuestos de origen biológicos, en la actualidad, ocupan un lugar destacado en la investigación científica y la industria debido a su creciente importancia en diversos campos, ganando relevancia por su potencial para abordar preocupaciones ambientales relacionadas con la contaminación plástica.

La tendencia hacia el uso de biopelículas ha ido en constante aumento, impulsada por la necesidad de encontrar alternativas más respetuosas con el medio ambiente. En este contexto, el presente proyecto tiene por objetivo la formulación de una biopelícula elaborada a partir de harina de malanga para utilizarse como el empaque de productos alimenticios.

Para realizar este estudio, se hicieron corridas de laboratorios, en dónde se compró malangas enteras que pasaron por un proceso de lavado, cortado, secado, triturado y tamizado hasta obtener 1.20 kg de harina de malanga fina con un rendimiento del 26.78%, siendo óptimo para su aplicación como subproducto.

Para realizar el análisis proximal de la harina de malanga, primero fue necesario estandarizar el tamaño de partícula para lo cual se utilizó un tamizador T.S. Tyler, que luego pasaron por análisis gravimétricos según la AOAC para su caracterización nutricional dando como resultado: 8.17% de humedad, 2.70% de cenizas, 1.5% extracto etéreo, 3.31% de proteína y 84.17% de carbohidratos totales.

Se evaluaron ocho formulaciones de biopelículas con diferentes composiciones de harina de malanga, agua destilada, ácido acético 2M y glicerina. Se seleccionó la formulación que presentó una gelatinización adecuada para la formación de la biopelícula, teniendo una composición de 50 g de harina, 50 g de agua destilada, 10 g de ácido acético 2M y 20 g de glicerina.

Se destaca que la formulación de la biopelícula seleccionada dio mejores resultados en cuanto a la prolongación de la vida útil para el mango, distinto para la papaya y banano, en dónde se aceleró el deterioro del producto. Siendo esta biopelícula eficiente ante el crecimiento de microorganismos en las frutas.

Índice de Contenido

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS.....	3
2.1.1	Objetivo General.....	3
2.1.2	Objetivos Específicos	3
III.	MARCO TEÓRICO	4
3.1	Características de Malanga	4
3.1.1	Malanga.....	4
3.1.2	Malanga en Nicaragua.....	4
3.1.3	Caracterización botánica, biológica, y fisiológica de la Malanga	5
3.2	Harina de malanga	9
3.2.1	Obtención de la harina.....	9
3.2.2	Caracterización de la harina de malanga.....	10
3.3	Biopelículas de almidón	10
3.3.1	Propiedades mecánicas.....	11
3.3.2	Propiedades de barrera	11
3.3.3	Aplicaciones	12
IV.	HIPÓTESIS.....	15
4.1	Hipótesis general	15
4.1.1	Hipótesis nula.....	15
4.1.2	Hipótesis alternativa	15
V.	METODOLOGÍA	16
5.1	Ubicación del estudio	16
5.2	Material	16
5.3	Validación del proceso de obtención de la harina de malanga a nivel de laboratorio.....	18
5.4	Validación de las propiedades de la harina de malanga	24
5.4.1	<i>Determinación de Humedad</i>	24
5.4.2	<i>Determinación de Proteínas</i>	25
5.4.3	<i>Determinación de cenizas</i>	27
5.4.4	<i>Determinación de grasas</i>	28
5.4.5	<i>Determinación de Carbohidratos</i>	31
5.4.6	<i>Espectro infrarrojo</i>	32
5.5	Determinación del rendimiento a diferentes concentraciones de harina de malanga y aditivos.	32
5.5.1	<i>Homogenizado</i>	33

5.5.2	<i>Mezclado</i>	34
5.5.3	<i>Calentado</i>	34
5.5.4	<i>Formación de biopelícula</i>	35
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
6.1	Caracterización de harina de malanga	36
6.1.1	Rendimiento de harina de malanga	36
6.1.2	Determinación de propiedades funcionales de la harina de malanga	37
6.1.3	Espectroscopía infrarroja de la harina de malanga	38
6.2	Proceso de obtención de biopelícula	39
6.2.1	Balance de materia en el proceso de obtención de biopelícula	41
6.2.2	Evaluación de la biopelícula en preservación de las cualidades organolépticas de frutas	42
VII.	CONCLUSIONES	44
VIII.	RECOMENDACIONES	45
IX.	BIBLIOGRAFÍA	46
X.	ANEXOS	51

Índice de Figuras

Figura 1. Malanga entera.	4
Figura 2. Estructura del almidón. a) Estructura de la amilosa, b) estructura de la amilopectina	8
Figura 3. Transferencias que pueden ser controladas por barreras comestibles.	14
Figura 4. Ubicación de laboratorios de la Universidad Nacional de Ingeniería. A) Laboratorio de Operaciones Unitarias. B) Laboratorio de Procesos. C) Laboratorio de Alimentos.	16
Figura 5. Diagrama de bloque del proceso de obtención de harina de malanga.	19
Figura 6. Malangas seleccionadas según los criterios a seguir.	20
Figura 7. Pesado de malanga entera.	20
Figura 8. Limpieza total de malangas.	21
Figura 9. Rebanado de la malanga a un grosor de 0.5 cm.	21
Figura 10. Distribución y posicionamiento de bandejas con malangas. A) Distribución de malangas en bandeja rejilla. B) Colocación de bandejas rejillas en el horno. C) Malanga tras finalizar el proceso de secado.	22
Figura 11. Proceso de triturado de malanga para la obtención de harina fina. A). Instalación de molino manual de tornillo sin fin y disco giratorio B) Ingreso de malanga en el molino durante proceso de molienda C) Malanga triturada con cierto tamaño de partículas.	22
Figura 12. Proceso de tamizado de harina de malanga. A) Equipo Tamizador Tyler con el juego de tamices ASTM con cierto diámetro de apertura. B) Tamiz con partículas menores a la deseada de harina de malanga. C) Tamiz con partículas mayores a la deseada de harina de malanga.	23
Figura 13. Trituración de partículas mayores a la deseada por medio de molino de cuchillas marca Retsch para el aprovechamiento de mayor cantidad de harina obtenida.	24
Figura 14. Proceso de análisis de humedad en harina de malanga. A) Muestra a analizar. B) Analizador de humedad Sartorius.	24
Figura 15. Recolección de humo de ácidos en un digestor marca Foss.	25
Figura 16. Proceso de destilación de la harina de malanga mediante destilador Foss.	26
Figura 17. Titulación para la determinación de concentración de Nitrógeno en harina de malanga.	26
Figura 18. Determinación de cenizas en harina de malanga. A) Pesaje de muestra a analizar. B) Colocación de muestra en horno marca Thermoscientific. C) Enfriamiento por medio de un desecador. D) Pesado de muestra incinerada.	28
Figura 19. Proceso de determinación de grasas en la harina de malanga mediante extracción sólido-líquido. A) Equipo extractor Soxhlet. B) Montaje de la muestra y el algodón en el dedal de algodón de celulosa. C) Inicio de la determinación del	

contenido graso en la harina de malanga. D) Muestra luego de 6 horas y una filtración de agua en el dedal de extracción.	29
Figura 20. Filtración de disolvente orgánico y el extracto etéreo de la harina de malanga. A) Preparación del medio filtrante con papel filtro y sulfato de sodio anhidro. B) Muestra de hexano y harina de malanga ya filtrada.....	30
Figura 21. Proceso de extracción del hexano del extracto etéreo de la harina de malanga. A) Instalación de equipo rotavapor Büchi R-124, baño Büchi B-480, colector de disolvente orgánico y la bomba de vacío. B) Posicionamiento adecuado del rotavapor Büchi con el balón en el baño Büchi. C) El extracto etéreo resultante del proceso de destilación a presión baja.	31
Figura 22. Proceso de determinación de absorción infrarroja en la harina de malanga mediante el espectrofotómetro de infrarrojo marca Bruker. A) Mezcla de harina de malanga con bromuro de Potasio en un mortero ágata. B) Operación de homogenización de muestra de harina de malanga y bromuro de Potasio. C) Troquel especial bajo presión para obtener una pastilla fina. D) Pastilla fina obtenida luego de la fuerte presión realizada al troquel especial. E) Posicionamiento del troquel especial con la muestra en el espectrofotómetro infrarrojo para su posterior análisis.....	32
Figura 23. Diagrama de bloque del proceso de obtención de biopelícula plástica a partir de almidón de malanga.	33
Figura 24. Proceso de homogenizado de harina de malanga y agua. A) Procesamiento de harina de malanga remojada en un procesador de alimentos marca robot coupe. B) Lavado de la masa de harina de malanga.	34
Figura 25. Proceso de mezcla de harina de malanga y aditivos. A) Medición de ácido acético 2M. B) Adición de glicerina C) Pesaje de muestra total.....	34
Figura 26. Proceso de calentado de muestra de harina de malanga y aditivos.	35
Figura 27. Proceso de determinación de biopelícula a partir de harina de malanga. De izquierda a derecha. Papaya, banano y mango recubiertas con biopelícula..	35
Figura 28. Balance de materia en el proceso de obtención de harina de malanga.	36
Figura 29. Espectro infrarrojo de la absorbancia de las vibraciones moleculares en la harina de malanga mediante el espectrofotómetro infrarrojo marca Bruker. ...	38
Figura 30. Espectros FTIR del residuo industrial de yuca (RIY) antes y después de tratamiento con Mercurio (II).....	39
Figura 31. Balance de materia en el proceso de obtención de biopelícula.....	41
Figura 32. Frutas recubiertas con la biopelícula.	42
Figura 33. Mango testigo y con biopelícula a 10 días de ser aplicado el recubrimiento de biopelícula.....	43

Índice de Tablas

Tabla 1. Composición química por cada 100g de malanga comestible.....	7
Tabla 2. Composición química de diferentes almidones.	9
Tabla 3. Composición nutricional por cada 100g de Harina de Malanga.....	10
Tabla 4. Tabla de materiales y equipos utilizados.	17
Tabla 5. Tabla de reactivos y materia prima utilizadas.....	18
Tabla 6. Resultados de las propiedades funcionales de la harina de malanga. .	37
Tabla 7. Composición de biopelículas.....	40

Índice de Anexos

Anexo 1. Dimensionamiento de mallas de tamices A.S.T.M y tamaño de partículas de harina de malanga.....	51
Anexo 2. Determinación de cantidad de harina obtenida en la primera parte.	51
Anexo 3. Determinación de harina obtenida luego de trituración con molino de cuchilla	52
Anexo 4. Espectro infrarrojo de los valores trans de la harina de malanga por medio de un espectrofotómetro infrarrojo marca Bruker.	52
Anexo 5. Países exportadores de malanga a nivel mundial.	53
Anexo 6. Malanga deshidratada luego de un secado de 24 horas.....	54
Anexo 7. Peso por triplicado de muestra carbonizada.	55
Anexo 8. Masa de almidón de malanga.	55
Anexo 9. Almidón lechoso luego de lavado de la malanga.	56
Anexo 10. Prueba de yodo para el almidón de malanga.	57
Anexo 11. Tratamiento T4 luego del proceso de calentado.	58
Anexo 12. Tratamiento T5 luego del proceso de calentado.	58
Anexo 13. Evaluación de preservación de cualidades organolépticas de banano y papaya con y sin biopelícula.....	59

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación plástica es un problema ecológico que presenta hoy en día el planeta Tierra, esto se debe a la falta de concienciación ciudadana y política que no se tuvo desde un comienzo al comprar plásticos, la falta de reciclaje, el vertido de la basura a la naturaleza y la falta de políticas sostenibles y ecologistas hacen que se genere más residuos plásticos y estos no sean desechados como debe ser, causando deterioros en la capa de ozono, olores desagradables, obstrucción de tuberías, entre otros, reflejando elevados costos de limpieza y mantenimiento; una realidad que anhela nuevas metodologías para contrarrestar dicha situación (Ocaña, 2020).

En la actualidad va en aumento el interés por sustituir los polímeros sintéticos, que hasta hoy son utilizados como material de empaque. Los materiales sintéticos garantizan una protección deseada como inhibición de humedad, oxígeno, dióxido de carbono, aroma, migración de lípidos entre otras; a diversos tipos de productos, pero presentan el inconveniente de no tener un fácil reciclado y rápida degradación, por lo tanto, son responsables por la gran cantidad de residuos que se acumulan en el medio ambiente (Buensuceso, 2010).

La necesidad de reducir el uso de materiales sintéticos no renovables ha impulsado la investigación sobre empaques con un menor impacto ambiental. Aun así, los empaques deben proporcionar las propiedades físicas, mecánicas, de barrera al vapor de agua y barrera a gases, necesarias para la conservación de alimentos (Chocano, 2019). Para lograr el objetivo, con el descubrimiento de nuevas fórmulas y tecnologías; la obtención de biopelículas es una alternativa viable para la disminución de residuos contaminantes; la facilidad de la adquisición de la materia prima, los bajos costos de esta y su fácil preparación, propicia el aprovechamiento de estas (Buensuceso, 2010).

La industria alimentaria, tiene como principal desafío producir empaques o envases para alimentos que además de ser biodegradables sean tan durables como los productos que ofrecen, los bioplásticos hoy se producen a partir de los cultivos o sus desechos (almidón y celulosa) obtenidos por fermentación microbiana (Ocaña, 2020).

En respuesta a la creciente preocupación en la reducción del uso de materiales sintéticos no renovables y los efectos nocivos de éstos en el entorno, se han encontrado diversos estudios como respuestas a esta problemática, tales como: **Rosales A., (2016)** quien realizó ***“Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (Colocasia esculenta), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAN-Managua”*** concluyendo en que las propiedades del biopolímero (densidad, flexibilidad,

dureza y tiempo de degradación) presentan características similares a los plásticos procedentes del petróleo.

Por otro lado, **López D. et al., (2021)** quienes realizaron el trabajo ***“Formulación y validación de biopelícula a partir de almidón extraído de plátano (*musa sp*), para prolongar la vida útil de banano, manzana y yuca”*** concluyendo que bajo condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente, el periodo de vida de anaquel con recubrimiento fue de 8 días, el banano fue de 3 días, logrando la vida de anaquel ser prolongadas por un 50%; en cambio con la yuca con recubrimiento, la vida de anaquel fue reducida de 7 a 3 días por aceleración de su madurez.

Nelida C. (2019) concluía en ***“Propiedades físicas y mecánicas de una biopelícula formulada con almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y mucilago de nopal (*Opuntia ficus*)”*** que a mayor cantidad de pectina cítrica de alto metoxilo y a mayor temperatura se obtuvieron mejores propiedades de la biopelícula como solubilidad en agua, color de opacidad, resistentes en medios apolares, entre otros.

Siguiendo la tendencia de lo antes expuesto, se plantea el presente proyecto de investigación que tiene como objetivo el obtener una biopelícula formada a partir de harina de malanga (*Colocasia esculenta*) para recubrimiento en el empaque de alimentos y así como la caracterización proximal de la harina; utilizando recursos renovables de la zona, basada en investigaciones realizadas sobre biopelícula, siendo este beneficioso como una buena alternativa para la industria nicaragüense, ya que en el país no se produce este tipo de biopelículas y mejorará la calidad de los productos porque se optaría por fuentes renovables de materia prima; dándole un valor agregado a dicha materia prima.

II. OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo General

- Obtener una biopelícula plástica a base de harina de malanga que pueda ser utilizada en el empaque de productos alimenticios.

2.1.2 Objetivos Específicos

- Validar el proceso de obtención de la harina de malanga a nivel de laboratorio, así como su rendimiento másico.
- Realizar la caracterización proximal de la harina de malanga obtenida a nivel de laboratorio con el fin de conocer su composición química y nutricional.
- Obtener una biopelícula plástica a partir de la harina de malanga para indicar su viabilidad como empaque de alimentos.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Características de Malanga

3.1.1 Malanga

La malanga, científicamente conocida como “*Colocasia esculenta*”, es una planta herbácea de la familia de las aráceas. Alcanza una altura de 2 a 3 m sin tallo aéreo en las variedades de cultivo anual y con hojas de pecíolos largos, laminas verdes, oblongo ovada y cordada. Produce un cormo central comestible, grande, esférico, elipsoidal o cónico o un cormo central que se ramifica en cormos laterales de mayor tamaño. Estos cormos están recubiertos por escamas fibrosas o pueden ser lisos. El color de la pulpa generalmente es blanco, pero también se presentan clones coloreados hasta llegar al morado como muestra la figura 1 (Rivas, 2017).



Figura 1. Malanga entera. Fuente: (Rivas, 2017)

3.1.2 Malanga en Nicaragua

Consumo de malanga

La población nicaragüense demanda en su dieta diaria la producción de raíces y tubérculos. El quequisque y la malanga son cultivos cuyos cormos y cormelos son consumidos en diversas maneras por ser ricos en carbohidratos, proteínas, grasas y aminoácidos. Además del valor nutricional, estos cultivos generan recursos económicos a los productores nicaragüenses principalmente al ser exportados a los mercados étnicos de los Estados Unidos, Costa Rica y Puerto Rico (Arróliga & Blandón, 2015). Siendo en Nicaragua, producido primeramente para el auto consumo de las familias campesinas (Martínez & Téllez, 2017).

Producción agrícola y zona de producción

La malanga es una planta esencialmente tropical. Se cultiva bien en altitudes bajas a medianas, no mayores de mil metros sobre del mar. Se dan bien en suelos sueltos, arenosos; deben de tener buen drenaje tomando en cuenta la buena existencia de materia orgánica (Martínez & Téllez, 2017). Genera ingresos a agricultores de pequeña escala de Matagalpa, Jinotega, Boaco y el Caribe. Se produce en las zonas Central-Norte, Central-Sur y Atlántica (departamentos Boaco, Matagalpa, Región Autónoma Caribe Sur y Región Autónoma Caribe Norte). La producción es destinada al comercio local y al mercado internacional, éste con demanda creciente (Góngora, 2016).

En Nicaragua se cultivan 48 mil manzanas de las principales raíces y tubérculos. En el período de enero – julio 2022, se registra un avance de la producción de 5.2 millones de quintales, con crecimiento del 4% con relación al año pasado; teniendo la malanga una cosecha de 670 mil quintales, equivalente al 3% superior al año anterior (MEFCCA, 2022). Según (FAO, 2014) en Nueva Guinea, uno de los municipios altamente productivos en raíces y tubérculos que aporta entre 70 y 80 por ciento de la producción nacional, lo cual significa la accesibilidad de la materia prima para la realización de productos a base de Malanga.

No todos los pequeños productores pueden llevarla a los centros de acopio debido a que no cuentan con los medios necesarios para transportar su producto, por lo tanto, la producción es utilizada una parte para el consumo familiar y otra parte se desaprovecha. Dichos acopios no se dedican a la transformación de malanga en productos de consumo (Martínez & Téllez, 2017).

3.1.3 Caracterización botánica, biológica, y fisiológica de la Malanga

En los próximos acápite, se llevará a cabo una breve exposición que describe las principales características de la Malanga.

Caracterización botánica

La malanga es una planta herbácea suculenta que alcanzan altura de 1 – 3 metros, sin tallo aéreo, el tallo central es elipsoidal, las raíces son múltiples distribuidas uniformemente alrededor del tallo subterráneo, suaves, suculentas con unos 0.80 a 1.20 m de largo y un grosor de 3 a 5mm de diámetro, el tallo es céntrico elipsoidal subterráneo conocido como cormo el cual es el producto de interés comercial, las hojas son por lo general de forma peltada aparecen arrolladas por la base formando un pseudo tallo corto (Martínez & Téllez, 2017).

Caracterización fisiológica

La malanga (*Colocasia esculenta*) presenta bulbos subterráneos ricos en almidón, estolones alargados, con nudos producidos cerca de la superficie, extendiéndose horizontalmente. Hojas verdes del peciolo, a menudo púrpura apical, tejido foliar esponjoso y lleno de espacios de aire, la hoja verde a verde oscuro, verde azul o glauco en la superficie adaxial, usualmente con una mancha roja o púrpura cerca al peciolo, peltadas de 2.5 X 7 cm; venas laterales primarias, venas paralelas secundarias, ápice mucronado (Arróliga & Blandón, 2015).

Flores de color verde guisante, flores pistiladas, intercalados con pistillones blanco; un ovario locular, óvulos 36 a 67; flores estériles blanco o amarillo pálido, las flores estaminadas y naranja pálido punta estéril y estambres connados (Arróliga & Blandón, 2015).

Caracterización biológica

Según el Programa de Investigación y Desarrollo del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA, 2020), en Nicaragua se cultivan 3 variedades de Malanga: malanga coco, malanga china y malanga blanca.

Valor nutritivo

Cuando un cultivo es orientado a la alimentación, el valor nutritivo y la aceptación del consumidor son importantes. El valor nutritivo de un alimento depende de sus estándares nutritivos, de su digestibilidad y de la presencia o ausencia de antinutrientes y factores de toxicidad. Los cormos y cormelos son la parte económica importante del taro. De vez en cuando las hojas y peciolos son también usados como alimento (Ismalej, 2018). Como se muestra la tabla 1, se caracteriza la composición química de la malanga.

Tabla 1. Composición química por cada 100g de malanga comestible.

Composición	Unidad	Crudo
Humedad	g	72
Proteína	g	1
Grasa	g	0.2
Carbohidratos	g	25.7
Fibra	g	0.4
Ceniza	g	0.7
Calcio	g	26
Fósforo	g	32
Hierro	mg-meg	0.6
Vitamina A	mg	-----
Niacina	mg	0.4
Ácido ascórbico	mg	-----
Energía	mg	33992

Fuente: (Ismalej, 2018).

La malanga es un tubérculo con una gran riqueza en nutrientes esenciales, entre los que encontramos diferentes tipos de vitaminas y minerales. Así, la vitamina C, la vitamina B6 y la vitamina E, toman el protagonismo y nos permiten mantener una salud de hierro gracias a ellas, aportándonos propiedades preventivas y curativas. En el lado de los minerales, encontramos una elevada presencia de magnesio, manganeso, fósforo y potasio (Martínez & Téllez, 2017).

Almidón

Es un polisacárido complejo de almacenamiento más abundante, se presenta naturalmente en forma de gránulos en cloroplastos de hojas verdes y amiloplastos (tipo de plasto carece de clorofila) y se caracteriza por el contenido de gránulos de almidón se encuentra en las semillas, legumbres y tubérculos. A nivel molecular, el almidón nativo está formado por dos componentes distintos, amilosa y amilopectina, que se puede aislar por fraccionamiento y ser estudiados de forma independiente (Ocaña, 2020).

El almidón tiene un amplio campo de aplicaciones que van desde la transmisión de textura y consistencia en alimentos hasta la manufactura de papel, adhesivos y empaques biodegradables (Rosales, 2016). En la modificación de textura y consistencia de los alimentos, su funcionalidad depende del peso molecular promedio de la amilosa y la amilopectina, así como de la organización molecular de estos glucanos dentro del gránulo. Los almidones nativos se utilizan porque regulan y estabilizan la textura y por sus propiedades espesantes y gelificantes. El

uso de almidones en los alimentos floreció con el surgimiento de la industria de alimentos procesados y la disponibilidad del almidón puro (Torres et al., 2013).

Estructuralmente, el almidón consiste en dos polisacáridos químicamente distinguibles: Amilosa y la amilopectina como muestra la figura 2. La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces α (1-4), en el cual algunos enlaces α (1-6) pueden estar presentes. Esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno y generar una estructura helicoidal que es capaz de desarrollar un color azul por la formación de un complejo con el yodo. Mientras que la amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas en un 94-96% por enlaces α (1-4) y en un 4-6% con uniones α (1-6). Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15-25 unidades de glucosa. La amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce un color rojizo violeta (Torres et al., 2013).

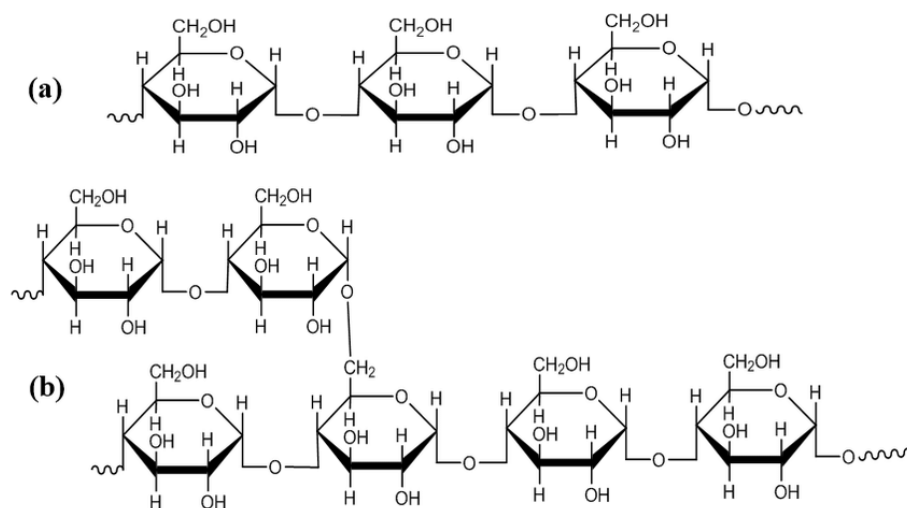


Figura 2. Estructura del almidón. a) Estructura de la amilosa, b) estructura de la amilopectina Fuente: (Amaya-Pinos 2018)

La composición química de los almidones comerciales por lo general dependerá de la fuente botánica de la que el almidón proviene. En la tabla 2 se muestra la composición química de diversos almidones que permite enfocar la relación amilosa- amilopectina (Erazo, 2021)

Tabla 2. Composición química de diferentes almidones.

Tipo de almidón	Humedad	Proteína Cruda	Grasa Cruda	Fibra	Cenizas	Amilosa	Amilopectina
Valor de composición en %							
Arroz	-	0.45	0.80	-	0.50	7	93
Maíz	9.90	0.10	0.35	0.62	0.06	28.3	79
Maíz céreo	13	0.25	0.20	-	0.07	1-3	97-99
Malanga	8.99	0.16	0.19	0.35	0.12	23.6	76.4
Papa	19	0.06	0.05	-	0.40	21	71.7
Sorgo	13	0.30	0.70	-	0.08	25	75
Yuca	9.8	0.06	0.20	1.01	0.29	22.7	83

Fuente: (Erazo, 2021).

Debido a que el almidón es el polisacárido más utilizado como ingrediente funcional se utiliza como espesante, estabilizante y gelificante en la industria alimentaria. Además de eso, se utiliza en la industria del papel para fortalecer el producto final, ya que el almidón apoya a la estructura de la fibra celulosa, dando al papel mayor calidad, en la aplicación en el ámbito de bioplásticos, debido a que mejora la tensión a la fractura y flexibilidad, se tiene películas más claras y disminuye la permeabilidad (Ocaña, 2020).

3.2 Harina de malanga

Término proveniente del latín *farina*, es el polvo fino que se obtiene del cereal molido (trigo, cebada, centeno y maíz) y de otros alimentos ricos en almidón como arroz, tubérculos y legumbres. También se le llama harina al polvo al que quedan reducidas ciertas materias sólidas al ser trituradas, machacadas (Martínez & Téllez, 2017).

3.2.1 Obtención de la harina

Se puede obtener harina de distintos cereales. Aunque la más habitual es harina de trigo (cereal proveniente de Asia, elemento habitual en la elaboración del pan). También se hace harina de centeno, de cebada, de avena, de maíz (cereal proveniente del continente americano), de arroz (cereal proveniente de Asia) o de tubérculos (malanga, papa, yuca). Existen harinas de leguminosas (garbanzos, judías) (Martínez & Téllez, 2017).

La harina se obtiene por la molienda de los granos entre piedras de molino o ruedas de acero que puede ser impulsada por fuerza animal o por el simple aprovechamiento de las fuerzas naturales: ríos, viento, etc. En la actualidad se

muele con maquinaria eléctrica, aunque se venden pequeños molinos manuales y eléctricos (Martínez & Téllez, 2017).

3.2.2 Caracterización de la harina de malanga

Las harinas de raíces y tubérculos representan una alternativa para solventar problemas de hambre y dependencia de importaciones. Debido a sus altas cantidades de almidón, la malanga puede utilizarse para reemplazar materias primas convencionales en la industria alimentaria (Malanga, 2016). En la tabla 3 a continuación, se presentan la composición de la harina de malanga.

Tabla 3. Composición nutricional por cada 100g de Harina de Malanga.

Composición	Unidad	Valor
Humedad	%	6.87
Proteína	mg	5.52
Grasa	mg	1.16
Ceniza	mg	3.23
Fibra	mg	11.25
Zinc	mg	7.34
Hierro	mg	15.64
Calcio	mg	78.4
Potasio	mg	1743.17
Magnesio	mg	90.23

Fuente: (Madrigal et al., 2020)

3.3 Biopelículas de almidón

El almidón produce biopelículas con buenas propiedades mecánicas y los recubrimientos a base de almidón son eficientes barreras contra compuestos de baja polaridad. La aplicación de almidón en la confección de biopelículas se basa en las propiedades químicas, físicas y funcionales de la amilosa para formar geles y en su capacidad para formar biopelículas (Buensuceso, 2010).

Las biopelículas a base de almidón son descritas como inodoras, insípidas, incoloras y muestran muy poca permeabilidad al oxígeno a la humedad relativa baja (HR), adicional a esto exhiben una fuerza de tensión moderada (Erazo, 2021).

Dichas biopelículas reducen el uso de recursos no renovables y el impacto ambiental asociado con el incremento de emisiones de CO₂ y de otros productos. Estas mismas han sido desarrolladas y estudiadas, debido a las amplias ventajas de costo y disponibilidad de la materia prima (Buensuceso, 2010).

Los beneficios del uso de biopelículas de almidón en alimentos (Erazo, 2021) son:

- Reducción de contaminación, con degradación en un corto periodo de tiempo (12 a 18 meses).
- Retraso de la migración de humedad, que mantiene las características de textura, sabor, apariencia de alimentos por más tiempo.
- Retraso de la migración de gases como O₂ y CO₂, gases causantes de daños en los alimentos.
- Mejora de propiedades en la manipulación de los alimentos.

3.3.1 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de las biopelículas son reflejadas en características físicas como: la durabilidad, así también como la capacidad de recubrimiento para mejorar la integridad mecánica de los alimentos. Las biopelículas elaboradas a base de polisacáridos son rígidas, por lo que, es necesario adicionar a la formulación, plastificantes como el glicerol facilitando así su manipulación y de esta manera se logra conseguir las propiedades mecánicas óptimas. Dichas biopelículas son generalmente a base de agua, los plastificantes más eficaces son similares a la estructura del polisacárido; por eso, los plastificantes hidrófilos que contienen grupos hidroxilo son los más adecuados para este uso, los utilizados comúnmente son: glicerol, sorbitol, xilitol, manitol, propilenglicol, polietilenglicol y etilenglicol (Erazo, 2021).

3.3.2 Propiedades de barrera

A continuación, se detallarán las barreras que ejercen control sobre la interacción entre el alimento y el entorno; así como el impacto de la biopelícula en función a dicha barrera.

Propiedades de barrera al vapor de agua

La protección del alimento contra alteraciones provocadas por el medio ambiente desde su obtención hasta llegar al consumidor es una de las preocupaciones más importantes actualmente. La migración de vapor de agua es uno de los principales factores de alteración de la calidad sensorial y de la estabilidad del almacenamiento (Chocano, 2019).

La eficiencia de las propiedades de barrera de las películas emulsionadas depende de la característica del componente lipídico, particularmente la hidrofobicidad, organización del complejo proteína-lípido, interacción entre esos dos componentes y distribución uniforme de las sustancias hidrofóbicas en la matriz (Chocano, 2019).

Los recubrimientos comestibles elaborados a base de sustancias solubles en agua no son tan recomendados, como migradores de la humedad en un alimento, partiendo de una concentración alta a una baja de humedad. No obstante, se ha podido demostrar que los recubrimientos a base de almidón retardan la migración del agua. Las diferentes biopelículas elaboradas a base de polisacáridos, las que presentan mejores propiedades de barrera hacia el agua, son las elaboradas a base de almidón (Erazo, 2021).

Propiedades de barrera a gases

La transferencia de oxígeno del medio ambiente para el alimento tiene gran importancia en la calidad de este y en su vida de anaquel. El oxígeno causa deterioro del alimento, modificando las características sensoriales y nutricionales y puede influenciar de forma significativa en su estabilidad durante el almacenamiento. La deterioración debido a la permeabilidad al oxígeno ocurre en muchos productos alimenticios, envolviendo la oxidación de lípidos, vitaminas, compuestos de sabor y pigmentos (Chocano, 2019).

La descomposición de los alimentos por la oxidación y respiración puede ser contralada a través del uso de películas comestibles, estando directamente relacionada a la permeabilidad al oxígeno y al gas carbónico (Chocano, 2019).

Los recubrimientos elaborados a base de almidón generalmente son comparados, en cuanto a la propiedad de barrera al oxígeno, con otras alternativas de recubrimiento; debido a que, al ser una excelente barrera entre el oxígeno de la atmósfera y el alimento, se logra extender la vida de anaquel de este. A niveles de humedad relativa bajos o intermedios, las biopelículas y recubrimientos elaborados a base de polisacáridos forman barreras contra el oxígeno, debido a su alta estructura con enlaces de hidrógeno (Erazo, 2021).

3.3.3 Aplicaciones

En los siguientes párrafos, examinaremos las variadas características que debe de tener una biopelícula en la industria de alimentos y así mismo el uso de la propia biopelícula en dicha industria.

Industria de Alimentos

Una película comestible PC es un material de envoltura (empaquete) delgado empleado en la industria de alimentos obtenidas por moldeo, que puede ser consumido como parte de este, debido a que proviene de polímeros biodegradables (alginatos, pectinas, derivados de celulosa, lípidos y almidón), no

tóxicos y que ayudan a incrementar la calidad de los alimentos durante su conservación, y sus ventajas y propiedades (Ocaña, 2020) son:

- Ser libres de tóxicos y seguros para la salud.
- Deben requerir una tecnología simple para su elaboración.
- Ser protectores de la acción física, química y mecánica.
- Presentan propiedades sensoriales: deben ser transparentes y no ser detectados durante su consumo.
- Mejoran las propiedades mecánicas y preservan la textura.
- Prolongan la vida útil de alimentos a través del control sobre el desarrollo de microorganismos.
- Pueden regular distintas condiciones de interface o superficiales del alimento, a través del agregado de aditivos como antioxidantes, agentes antimicrobianos y nutrientes.
- Presentan propiedades de barrera como transferencia de distintas sustancias, adecuada permeabilidad al vapor de agua, solutos y una permeabilidad selectiva a gases y volátiles, desde el alimento hacia el exterior y viceversa.

Actualmente el uso de películas comestibles se ha extendido a muchos alimentos: productos cárnicos, pescados y carne aviar tanto frescos como congelados, frutas y hortalizas enteras o en trozos, quesos, platos preparados entre otros. Esto se debe al desarrollo de formulaciones innovadoras respecto a los biopolímeros utilizados para su composición. Según el tipo de biopolímeros (proteínas, polisacáridos, lípidos) que componga la PC o RC, sus características y funciones serán diferentes, ya que están ligadas a la composición química y estructural del mencionado biopolímero. Dichas funciones están asociadas a la preservación de la calidad de los alimentos sobre los cuales se aplica y consisten principalmente en servir como barrera en la transferencia de distintas sustancias, desde el alimento hacia el exterior y viceversa. La figura 3 muestra las posibles transferencias que sufre un producto por las barreras comestibles. (Zamudio, 2014).

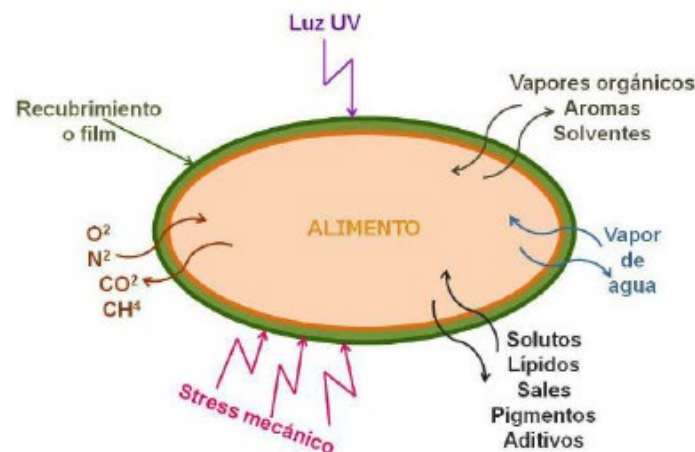


Figura 3. Transferencias que pueden ser controladas por barreras comestibles.
Fuente: (Zamudio, 2014).

IV. HIPÓTESIS

4.1 Hipótesis general

La harina de malanga es una materia prima idónea para la formulación de biopelícula plástica, en sustitución de almidones comunes.

4.1.1 Hipótesis nula

La harina de malanga no es una materia prima idónea para la formulación de biopelícula plástica, en sustitución de los almidones comunes.

4.1.2 Hipótesis alternativa

La harina de malanga es una materia prima más idónea que los almidones comunes para la formación de biopelícula plástica.

V. METODOLOGÍA

5.1 Ubicación del estudio

La investigación se realizó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, Laboratorio de Alimentos y Laboratorio de Procesos, de la Facultad de Ingeniería Química, de la Universidad Nacional de Ingeniería ubicados en Recinto Universitario Simón Bolívar, como muestra la figura 4 y en el Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria en dónde se realizaron la obtención de la harina fina de malanga, sus caracterizaciones proximales y la fase experimental de la obtención del producto final, la biopelícula.



Figura 4. Ubicación de laboratorios de la Universidad Nacional de Ingeniería. A) Laboratorio de Operaciones Unitarias. B) Laboratorio de Procesos. C) Laboratorio de Alimentos. Fuente: Google Maps, UNI RUSB - Managua

5.2 Material

En el proceso de obtención de harina y de la biopelícula a partir de esta materia, involucraron la utilización de una gama específica de materiales, equipos y reactivos; los cuales se detallarán en las tablas 4, 5 y 6 a continuación:

Tabla 4. Tabla de equipos utilizados.

Equipo	Marca	Equipo	Marca
Molino manual de tornillo sin fin y disco rotatorio.	Corona	Balanza digital	Kernos con máxima capacidad de 65 kg
Digestor	Foss modelo 2040 Digestor	Horno	Fischer modelo Scientific Isotemp
Rotavapor	Büchi modelo Rotavapor R-124	Plancha de calentamiento	Corning modelo 620D PC
Tamizador	W.S Tyler modelo RX-29	Baño maría	Büchi modelo Waterbath B-480
Molino de cuchillas	Retsch modelo GM 200 Grindomix	Analizador de humedad	Sartorius modelo MA150
Mufla	Thermoscientific; modelo Thermolyne	Balanza digital	Radwag modelo 6000/C/2 PS
Procesador de alimentos	Robot coupe; modelo R-101	Extractor Soxhlet	

Tabla 5. Tabla de materiales utilizados.

Materiales			
Tubos de ensayo	Erlenmeyer	Crisol	Desecador
Cuchillo de cocina	Embudo	Papel filtro	Balón matraz
Mortero de ágata	Pistillo	Dado	Troquel
Tela filtrante	Beaker	Dedal de extracción de algodón de celulosa	

Tabla 6. Tabla de reactivos y materia prima utilizadas.

Reactivos		Materia prima
Catalizador Kjeldahl	Ácido sulfúrico 95-98% (H_2SO_4)	Harina de malanga
Ácido bórico (H_3BO_3)	Ácido clorhídrico 0.31N (HCl)	Agua de tubería
Hexano (C_6H_{14})	Sodio anhidro (Na_2SO_4)	
Bromuro de Potasio (KBr)	Ácido acético 2M	
Glicerina ($C_3H_8O_3$)	Hidróxido de sodio (NaOH)	
Agua destilada		

5.3 Validación del proceso de obtención de la harina de malanga a nivel de laboratorio.

Con el propósito de verificar la reproducibilidad de harina de malanga en el entorno de laboratorio y asegurar la conformidad del producto con los estándares de calidad necesarias de una harina, se realizó basándose en el trabajo realizado por Rodríguez *et al.*, (2011) descrita en la figura 5; describiendo a continuación cada etapa realizada.

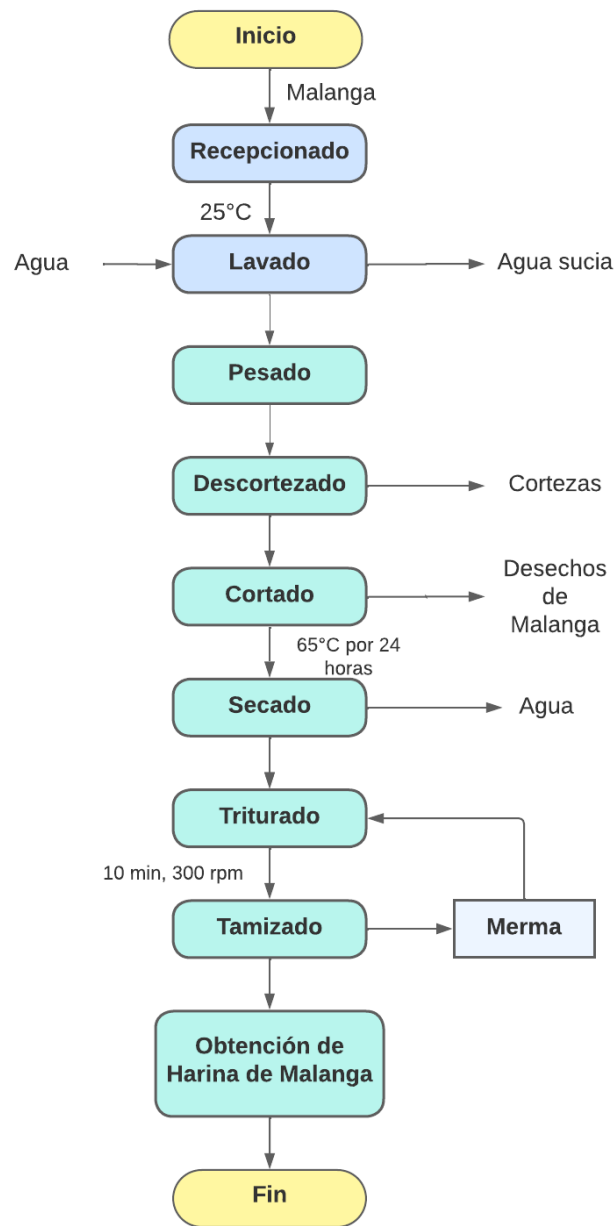


Figura 5. Diagrama de bloque del proceso de obtención de harina de malanga. Fuente: Elaboración propia

- **Recepcionado:** Se realizó la recepción de las mejores malangas, tomando en cuenta que cumpliera con los parámetros de calidad como: buen estado físico, no presenten en estado de descomposición, sin pudrición blanda y seca como se muestran en la figura 6.



Figura 6. Malangas seleccionadas según los criterios a seguir. Fuente: elaboración propia

- **Lavado:** Las malangas seleccionadas se ingresaron en un recipiente de plástico de 28 x 35.5 x 49 cm con 3 litros de agua en dónde se realizó la limpieza de las malangas, quitándole toda la suciedad y cualquier protuberancia que se encontró en la corteza, que podían perjudicar los valores del pesado.
- **Pesado:** Posteriormente se realizó la operación de pesado de cada una de las malangas enteras como muestra la figura 7, uno de los factores para determinar el rendimiento, utilizando la balanza digital marca Kernos con una máxima capacidad de 65 kg. Teniendo como dato preliminar de un peso promedio de 1.12 kg por cada malanga.



Figura 7. Pesado de malanga entera. Fuente: Elaboración propia

- **Descortezado:** Se procedió a descortezar la malanga utilizando un cuchillo de cocina de acero inoxidable de 30.48 cm y una tabla para cortar de cocina circular de 33.02 cm, eliminando toda la corteza, partes en estado de descomposición y tallos que aún se presentaban adheridas como muestra en

la figura 8. El dato promedio obtenido del peso de cáscaras y protuberancias encontradas fue de 0.92 kg.



Figura 8. Limpieza total de malangas. Fuente: Elaboración propia

- **Cortado:** Se redujo el tamaño de la malanga pelada realizando un cortado en rodajas hasta lograr un diámetro de grosor de 0.5 cm con un cuchillo de cocina de acero inoxidable, como se muestra a continuación en la figura 9.



Figura 9. Rebanado de la malanga a un grosor de 0.5 cm. Fuente: Elaboración propia.

- **Secado:** Posteriormente al cortado, las malangas se distribuyeron hasta llenar las bandejas de 44 x 42.5 cm y se ingresó en un horno marca Fischer Scientific modelo Isotemp 737F Oven mostrado en la figura 10, trabajando a una condición de temperatura de 65°C por 24 horas.



Figura 10. Distribución y posicionamiento de bandejas con malangas. A) Distribución de malangas en bandeja rejilla. B) Colocación de bandejas rejillas en el horno. C) Malanga tras finalizar el proceso de secado. Fuente: Elaboración propia.

- **Triturado:** Se dejaron enfriar las muestras de malangas para luego iniciar el proceso de trituración mediante la ayuda de un molino manual de tornillo sin fin y disco giratorio, hasta lograr obtener una granulometría fina, como muestra la figura 11 del proceso de molienda.

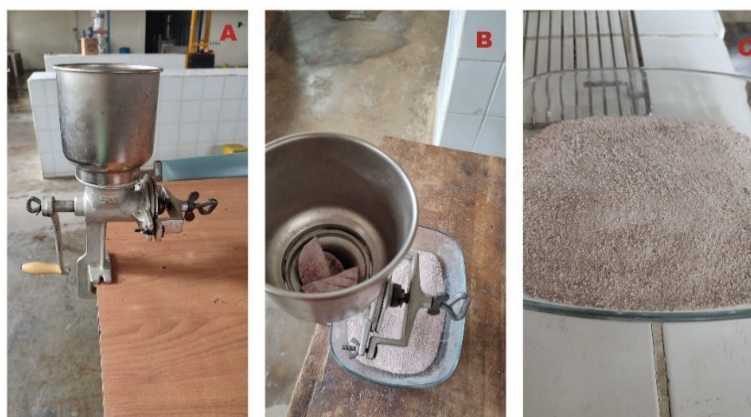


Figura 11. Proceso de triturado de malanga para la obtención de harina fina. A). Instalación de molino manual de tornillo sin fin y disco giratorio B) Ingreso de malanga en el molino durante proceso de molienda C) Malanga triturada con cierto tamaño de partículas. Fuente: Elaboración propia.

- **Tamizado:** En esta operación con el fin de separar mecánicamente las fracciones de tamaño de la malanga triturada por medio de un juego de tamices ASTM de abertura de agujeros conocidos que fueron colocados uno encima de otro de mayor a menor abertura en un Tamizador marca W.S Tyler

modelo RX-29 sometidos a vibraciones y golpes durante un tiempo de 10 minutos, de modo que las partículas se efectúen a través de todos los tamices que tengan una abertura de agujeros mayor que el tamaño de las partículas dadas y queden retenidas sobre el tamiz que tenga una abertura menor que dicho tamaño (véase figura 12). Se pesaron los tamices previo y posterior al procesamiento de tamizado para el análisis de cantidad de harina obtenida y así mismo se obtuvo el diámetro de partícula de la harina a partir de la ecuación 1 (véase Anexo 1).

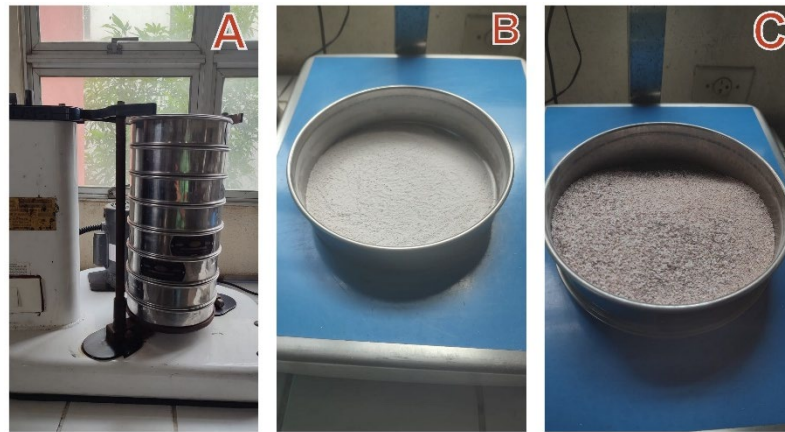


Figura 12. Proceso de tamizado de harina de malanga. A) Equipo Tamizador Tyler con el juego de tamices ASTM con cierto diámetro de apertura. B) Tamiz con partículas menores a la deseada de harina de malanga. C) Tamiz con partículas mayores a la deseada de harina de malanga. Fuente: Elaboración propia.

$$Dp_i = \frac{Dp_{superior} + Dp_{inferior}}{2} \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde:

Dp_i : Diámetro de partículas en cada clase de tamices.

$Dp_{superior}$: Diámetro partículas en el tamiz superior.

$Dp_{inferior}$: Diámetro partículas en el tamiz inferior.

- **Merma:** Para el aprovechamiento total de la harina de malanga, las partículas mayores a la deseadas se le realizó nuevamente el proceso de trituration fina, por medio de un molino de cuchillas marca Retsch modelo GM 200 Grindomix, como muestra en la figura 13; finalmente se volvió a tamizar para la obtención de harina fina deseada, ver Anexo 3 para los datos obtenidos.



Figura 13. Trituración de partículas mayores a la deseada por medio de molino de cuchillas marca Retsch para el aprovechamiento de mayor cantidad de harina obtenida. Fuente: Elaboración propia.

5.4 Validación de las propiedades de la harina de malanga

La determinación de los componentes de la materia prima, se realizaron bajo las bases a las normas oficiales de la Asociación Internacional de Químicos Analíticos (AOAC por sus siglas en inglés) recuperado de Urrutia (2010), con algunas modificaciones según lo que se requirieron; con la finalidad de conocer las propiedades nutricionales de la harina de malanga a desarrollar; fueron los siguientes:

5.4.1 Determinación de Humedad

Se analizó el porcentaje de humedad por medio del método termogravimétrico, utilizando el analizador de humedad marca Sartorius modelo MA150, en donde se tomó una muestra de harina en una bandeja de muestra y se ingresó en el analizador de humedad, como muestra en la figura 14. El proceso se realizó hasta que el analizador se detuviera.



Figura 14. Proceso de análisis de humedad en harina de malanga. A) Muestra a analizar. B) Analizador de humedad Sartorius. Fuente: Elaboración propia.

5.4.2 Determinación de Proteínas

Se determinó las proteínas con el método volumétrico ácido-base de Kjendahl según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE-INEN, 2015), en dónde se realizó en varias etapas. Siendo las etapas generales del método lo siguiente:

Etapas de digestión: En este proceso de digestión se introdujo en un tubo de digestión 0.21 g de muestra de harina de malanga, 1 pastilla de catalizador Kjendahl y 10 ml de ácido sulfúrico 95-98%; posteriormente al mezclado se colocó el tubo en el Bloc-digest marca Foss modelo 2040 Digestor con el colector de humos, como muestra la figura 15, funcionando a una condición de temperatura de 400°C por un tiempo determinado de 30 minutos.

Al haber sido enfriado a temperatura ambiente, se dosificó lentamente 50 ml de agua destilada en cada tubo de muestra y se dejó reposar por 5 minutos.



Figura 15. Recolección de humo de ácidos en un digestor marca Foss. Fuente: Elaboración propia.

Etapas de neutralización y destilación: En el proceso para la neutralización y destilación de los ácidos, se añadió en un matraz Erlenmeyer, 25 ml de ácido bórico y 3 gotas de indicador mixto; posteriormente a dicha mezcla, se colocó el Erlenmeyer en la alargadera del refrigerante del destilador marca Foss modelo Kjelttec 8100 Destillation Unit, mientras que la muestra se ingresó al lado izquierdo del destilador, como muestra la figura 16.

Una vez colocados el tubo con la muestra y el Erlenmeyer con el ácido bórico, se inició la destilación hasta que se destiló 150 ml; la duración fue de aproximadamente 10 minutos



Figura 16. Proceso de destilación de la harina de malanga mediante destilador Foss. Fuente: Elaboración propia.

Etapas de valoración: En el proceso de valoración, la muestra fue sometida a una titulación con ácido clorhídrico 0.31N, como muestra la figura 17, hasta que la solución vire de color verde a color violeta. Anotando la cantidad de ácido consumido, para el posterior cálculo de porcentaje de Nitrógeno presente en la muestra de harina.



Figura 17. Titulación para la determinación de concentración de Nitrógeno en harina de malanga. Fuente: Elaboración propia.

El cálculo de porcentaje de proteínas se realizó mediante las fórmulas:

$$\% \text{ Nitrógeno: } \frac{1,4 * (V_1 - V_0 * N)}{P} \quad \text{Ecuación 2.}$$

$$\% \text{ Proteína: } \% \text{ Nitrógeno} * F \quad \text{Ecuación 3.}$$

En la que:

P: Peso en g de la muestra.

*V*₁: Volumen en ml de HCl consumido en la valoración.

N: Normalidad del HCl.

*V*₀: Volumen en ml de HCl consumido en la valoración de un blanco.

F: factor de conversión para pasar de contenido en nitrógeno a contenido en proteínas. La mayoría de las proteínas contienen un 16% de N₂, de modo que el factor de conversión es de (100/16 = 6,25), pero se han obtenido empíricamente otros factores de conversión en función de la muestra analizada.

5.4.3 Determinación de cenizas

El contenido de ceniza presente en la harina se realizó mediante el método de la AOAC 923.03 expuesto en la AOAC 2005, en dónde se taró un crisol vacío y posteriormente se tomó una muestra de harina de malanga y se incineró en una mufla marca Thermoscientific modelo Thermolyne; trabajando a una condición de temperatura de 550°C, mostrado en la figura 18, para eliminar toda la materia orgánica hasta llegar a peso constante.

Al finalizar la incineración de la muestra, se dejó enfriar el crisol en un desecador, posterior al enfriamiento, se pesó la muestra en el crisol por triplicado (véase anexo 8).

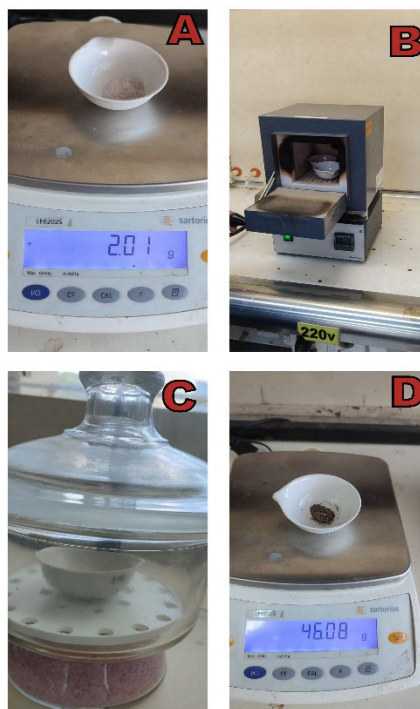


Figura 18. Determinación de cenizas en harina de malanga. A) Pesaje de muestra a analizar. B) Colocación de muestra en horno marca Thermoscientific. C) Enfriamiento por medio de un desecador. D) Pesado de muestra incinerada. Fuente: Elaboración propia

El cálculo de porcentaje de cenizas se realizó mediante la fórmula:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{(P_1 - P_2)}{P} * 100 \quad \text{Ecuación 4.}$$

En la que:

P_1 : Peso en g del crisol con las cenizas.

P_2 : Peso en g del crisol vacía.

P : Peso en g del crisol con la muestra.

5.4.4 Determinación de grasas

El contenido de grasas presente en la harina se procedió a analizar mediante el método de la AOAC 945.16, el cual consistió en lo siguiente:

Destilación: En este proceso se tomó una muestra de harina y se vertió en un dedal de extracción de algodón de celulosa el cuál fue tapado con un pedazo de algodón (para que no exista una mayor pérdida de gases), como muestra en la figura 19 B.

Inmediatamente luego de haber tapado el dedal de extracción con la muestra, se ingresó en un extractor Soxhlet con hexano, como muestra la figura 19 C; el proceso duró aproximadamente 6 horas.

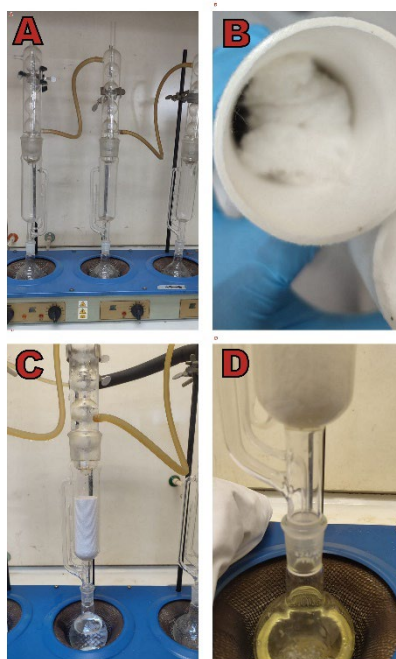


Figura 19. Proceso de determinación de grasas en la harina de malanga mediante extracción sólido-líquido. A) Equipo extractor Soxhlet. B) Montaje de la muestra y el algodón en el dedal de algodón de celulosa. C) Inicio de la determinación del contenido graso en la harina de malanga. D) Muestra luego de 6 horas y una filtración de agua en el dedal de extracción. Fuente: Elaboración propia.

Extracción de disolvente orgánico: Para la recuperación del aceite eliminando el disolvente orgánico volátil después de la extracción sólido-líquido se realizó mediante una destilación a presión reducida por medio de un rotavapor marca Büchi modelo Rotavapor R-124, un baño calentado marca Büchi modelo Waterbath B-480 y una bomba de vacío, como muestra la figura 21 A.

Primeramente, se eliminó el agua de la mezcla para recuperar el hexano con la muestra de harina, por lo cual se instaló un soporte con un embudo que contenía papel filtro y sulfato de sodio anhidro, puesto encima de un balón matraz, como muestra la figura 20 A.

Para la absorción de agua en la muestra, se empezó a verter la mezcla por medio del filtro, hasta obtener la solución de hexano con harina de malanga, como muestra en la figura 20 B.



Figura 20. Filtración de disolvente orgánico y el extracto etéreo de la harina de malanga. A) Preparación del medio filtrante con papel filtro y sulfato de sodio anhidro. B) Muestra de hexano y harina de malanga ya filtrada. Fuente: Elaboración propia.

Luego de la recuperación de la mezcla de hexano y harina de malanga, se procedió a extraer el extracto etéreo; se colocó la muestra cuidadosamente en el rotavapor ajustándose a la perilla y se prensó con la pinza metálica, como muestra en la figura 21 B.

Se encendió el baño maría y se ajustó a una condición de temperatura de 40°C , luego se ajustó la manija con el balón hasta que esté sumergido parcialmente en el baño maría, como muestra la figura 21 B; al ajustar la altura se encendió el rotavapor haciendo que el balón con la muestra rote a una velocidad moderada para que el líquido no ingrese en el interior del tubo del rotavapor.

Inmediatamente se encendió la bomba de vacío y lentamente se empezó a variar la presión poco a poco, regulando que no se formen burbujas en la muestra y se pierda el extracto etéreo. El proceso de destilación duró aproximadamente 8 minutos, hasta que no se observara más condensación de vapor en el colector y el volumen de contenido de la muestra no disminuyera.



Figura 21. Proceso de extracción del hexano del extracto etéreo de la harina de malanga. A) Instalación de equipo rotavapor Büchi R-124, baño Büchi B-480, colector de disolvente orgánico y la bomba de vacío. B) Posicionamiento adecuado del rotavapor Büchi con el balón en el baño Büchi. C) El extracto etéreo resultante del proceso de destilación a presión baja. Fuente: Elaboración propia

Al observar que ya no había más condensación de vapor, se apagó la bomba de vacío y se levantó el balón hasta una altura en el cual se logró desmontar cuidadosamente para su posterior pesaje en la balanza digital marca Radwag modelo PS 6000/C/2.

El cálculo de porcentaje de grasas se realizó mediante la fórmula:

$$\text{Grasas(\%)} = \frac{(P_1 - P_2)}{P} * 100 \quad \text{Ecuación 5.}$$

En la que:

P_1 : Peso en g del matraz con el extracto etéreo.

P_2 : Peso en g del matraz vacío.

P : Peso en g de la muestra empleada.

5.4.5 Determinación de Carbohidratos

La determinación de los Carbohidratos será la diferencia de todos los porcentajes de componentes anteriormente realizados, mediante la siguiente fórmula:

$$C(\%) = 100 - (\text{Proteína} + \text{Grasa} + \text{Ceniza} + \text{Humedad}) \quad \text{Ecuación 6.}$$

5.4.6 Espectro infrarrojo

Para determinar la absorción de radiación infrarroja en la harina de malanga, se realizó mediante la técnica instrumental de espectroscopia infrarroja utilizando un espectrofotómetro de infrarrojo marca Bruker modelo Alpha como muestra la figura 22 E.

Para el análisis, se preparó un compuesto en un mortero de ágata compuesta por 5g de harina de malanga y KBr a un 5% en relación con la muestra, como muestra en la figura 22 A. Se mezcló con un pistillo hasta pulverizar la muestra uniforme y homogéneamente, como muestra la figura 22 B.

Para crear una pastilla fina con un tamaño de partículas fina para disminuir la dispersión del haz del espectrofotómetro, se trasladó la muestra a un dado hasta procurar una mezcla uniforme como muestra la figura 22 C. Posteriormente la mezcla se presionó en un troquel especial a una presión alta hasta obtener un disco transparente como muestra la figura 22. D. A continuación, se colocó el disco en la trayectoria del haz del instrumento infrarrojo como muestra la figura 22. E.

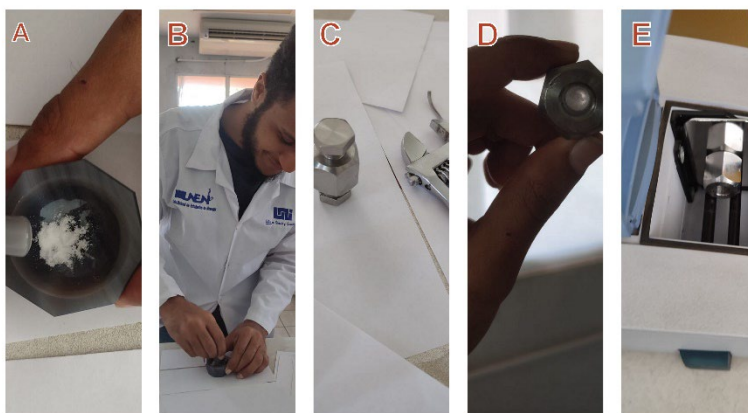


Figura 22. Proceso de determinación de absorción infrarroja en la harina de malanga mediante el espectrofotómetro de infrarrojo marca Bruker. A) Mezcla de harina de malanga con bromuro de Potasio en un mortero ágata. B) Operación de homogenización de muestra de harían de malanga y bromuro de Potasio. C) Troquel especial bajo presión para obtener una pastilla fina. D) Pastilla fina obtenida luego de la fuerte presión realizada al troquel especial. E) Posicionamiento del troquel especial con la muestra en el espectrofotómetro infrarrojo para su posterior análisis. Fuente: Elaboración propia.

5.5 Determinación del rendimiento a diferentes concentraciones de harina de malanga y aditivos.

En esta sección se realizó la obtención del producto final que será una biopelícula plástica a partir de almidón de malanga que posteriormente pasó por una prueba experimental, el cuál brindó un dato de la propiedad físicas y mecánicas de dicho producto y se comprobó con investigaciones bibliográficas, si el producto obtenido tendrá los valores aproximadas deseadas.

Para la elaboración de la biopelícula de acuerdo con (Herrera, 2021), se usó el método denominado “Casting” modificado de acuerdo el requerimiento detallado todo el procedimiento en la figura 23.

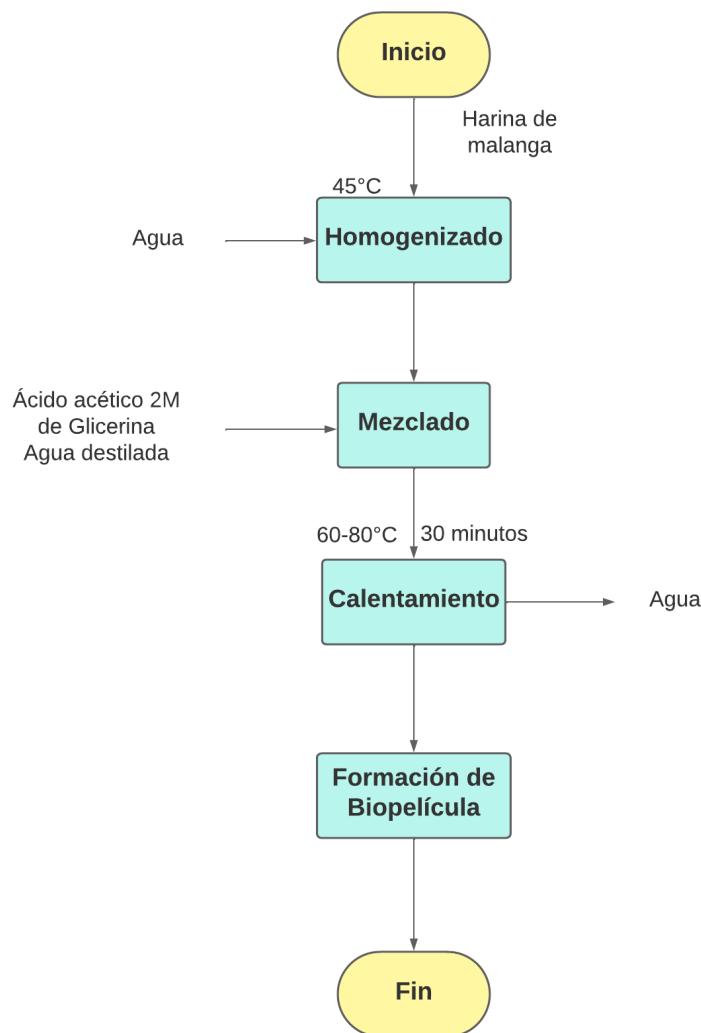


Figura 23. Diagrama de bloque del proceso de obtención de biopelícula plástica a partir de almidón de malanga. Fuente: Elaboración propia.

5.5.1 Homogenizado

En este paso se remojó la harina de malanga para ser procesada mediante un procesador de alimentos marca robot coupe modelo R-101 obteniendo una masa como muestra en la figura 24. A), que luego se le agregó 5 litros de agua en un recipiente para la obtención de una homogenización de la mezcla como muestra la figura 24. B) a una temperatura de 45°C.



Figura 24. Proceso de homogenizado de harina de malanga y agua. A) Procesamiento de harina de malanga remojada en un procesador de alimentos marca robot coupe. B) Lavado de la masa de harina de malanga. Fuente: Elaboración propia.

5.5.2 Mezclado

En un beaker de 500 ml se mezcló solución homogenizada de harina malanga, ácido acético 2M y glicerina especificados en cada tratamiento a analizar, cómo se puede ver en la figura 25, el cual se realizó por triplicado.

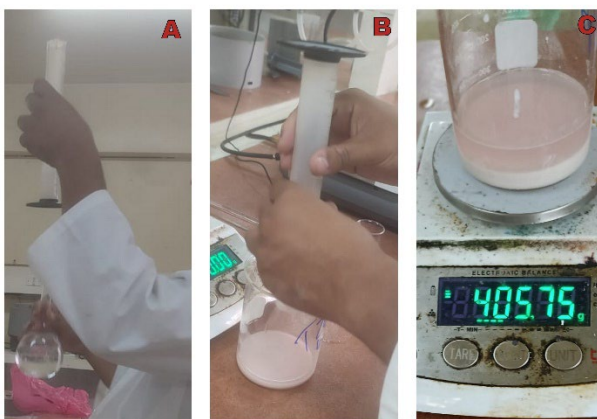


Figura 25. Proceso de mezcla de harina de malanga y aditivos. A) Medición de ácido acético 2M. B) Adición de glicerina C) Pesaje de muestra total. Fuente: Elaboración propia

5.5.3 Calentado

Para que el proceso de gelatinización total de la muestra se calentó en una plancha de calentamiento marca Corning modelo PC-620D cómo muestra en la figura 26, a una temperatura entre 60-80°C; para una mejor homogenización durante el proceso de calentado se utilizó un agitador magnético, hasta que la muestra tomara un aspecto gelatinoso.

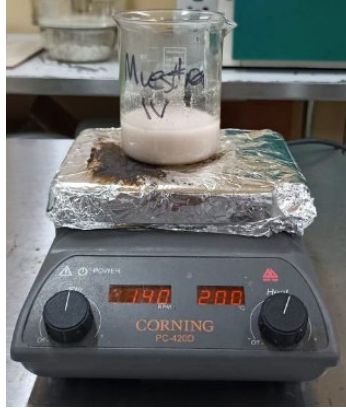


Figura 26. Proceso de calentado de muestra de harina de malanga y aditivos. Fuente: Elaboración propia.

5.5.4 Formación de biopelícula

Inmediatamente luego de haber llegado a punto de gelatinización, se dejó enfriar por unos minutos y luego se revistieron las frutas de mango, papaya y banano con la biopelícula, así como un recubrimiento, con el fin de aumentar la vida de anaquel de las frutas, como muestra la figura 27.



Figura 27. Proceso de determinación de biopelícula a partir de harina de malanga. De izquierda a derecha. Papaya, banano y mango recubiertas con biopelícula. Fuente: Elaboración propia.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados y análisis de los datos de cada uno de los objetivos en este estudio. Estos muestran la formulación seleccionada de la biopelícula y así mismo sus características físicas y mecánicas específicas de una biopelícula; enfatizando las variables que han influido significativamente en la selección de la biopelícula.

6.1 Caracterización de harina de malanga

A continuación, se proporcionarán en detalle los resultados obtenidos.

6.1.1 Rendimiento de harina de malanga

La cantidad de harina elaborada a partir de 4.48 kg de Malanga, fue de 1.20 kg; en la figura 28 se muestran los balances en las distintas etapas de separación del proceso.

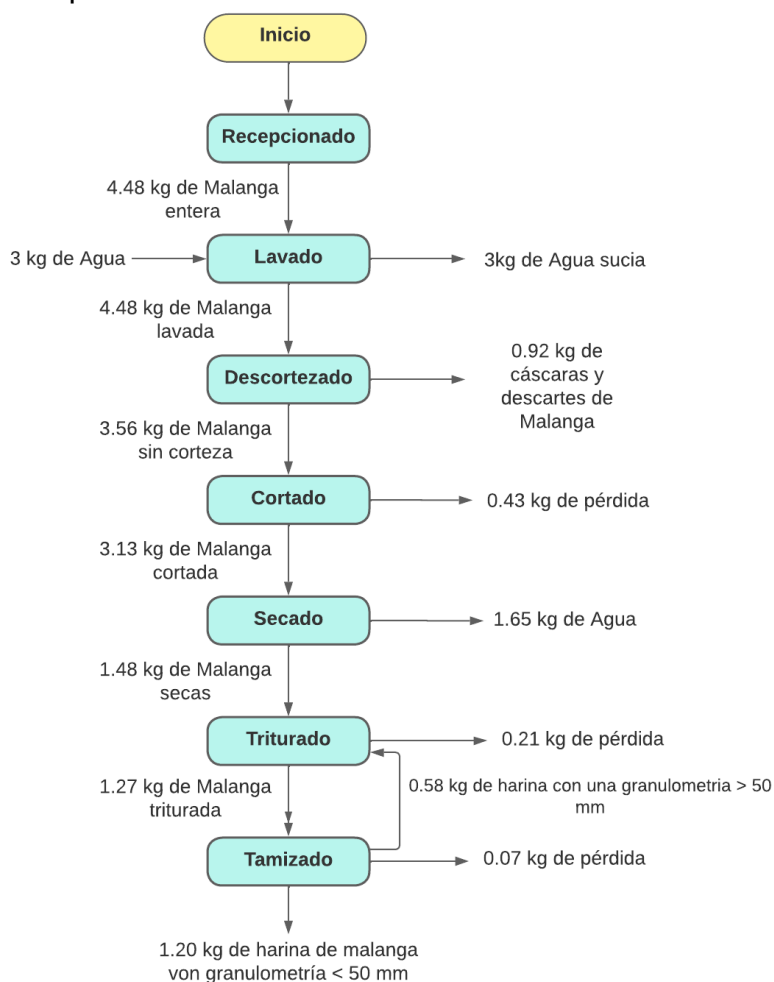


Figura 28. Balance de materia en el proceso de obtención de harina de malanga. Fuente: Elaboración propia.

El rendimiento obtenido fue de 26.78%, a escala de laboratorio, obtenido de la ecuación 6.

$$\% \text{ Rendimiento: } \frac{1.20 \text{ kg}}{4.48 \text{ kg}} * 100\% = 26.78\% \quad \text{Ecuación 7.}$$

Mientras tanto, el trabajo realizado por Rosales (2016) el rendimiento que obtuvieron fue de 22.6%, siendo éste un rendimiento relativamente menor en comparación al realizado en nuestro trabajo; por lo que podemos confirmar que el proceso que se realizó fue muy apropiado para el rendimiento de obtención de harina.

6.1.2 Determinación de propiedades funcionales de la harina de malanga

A continuación, se presentarán los datos de parámetros de las propiedades funcionales de la harina de malanga:

Tabla 7. Resultados de las propiedades funcionales de la harina de malanga.

Parámetros	Harina de Malanga (%)
Humedad	8.17
Cenizas	2.70
Extracto etéreo (grasas)	1.5
Proteína	3.31
Carbohidrato totales	84.17

Para el contenido de humedad, luego de una lectura de aproximadamente 30 minutos se obtuvo un resultado de 8.17% con respecto al estudio de Palomino 2010 en dónde el porcentaje de la harina de malanga fue de 9.01% y 11.04% para la harina de quequisque. Se puede observar que hubo un menor contenido de humedad para la muestra procesada en este estudio, sin embargo, se encuentra en el rango permisible según el Codex Stan 176-1989 (Rev 1-1995) para harina de yuca que indica que el rango máximo de porcentaje de humedad permisible es de 13%.

Con el contenido de cenizas, al finalizar la carbonización de la muestra se pesó por triplicado, dando como promedio un valor de 0.03 g. Dicho esto, se obtuvo un valor de porcentaje de 2.70% comparando con el estudio de Palomino el cual obtuvo 2.64%; se puede confirmar que la harina de malanga obtenida tiene el valor ligeramente mayor, no obstante, aún se encuentra en el valor máximo aceptado de cenizas. Así mismo, podemos volver a confirmar la funcionalidad de la harina ya que según el Codex Stan 176-1989 el rango permisible es de 3%.

Hablando del contenido de extracto etéreo (grasa) de la harina de malanga en estudio fue de un 1.5% se verifica con respecto a Palomino que la harina tiene un mayor contenido de grasa que fue de 0.41%.

En relación al contenido proteínico de la harina de malanga en este estudio, se encontró que es del 3.31%, en contraste con la investigación de Palomino, donde se registró un contenido proteínico mayor, alcanzando un 4.57%.

Al analizar los valores de carbohidratos totales en la harina en estudio, se ha observado que alcanza un porcentaje del 84.17%, en comparación con la harina que realizó Palomino que registra un 83.38%. Estos resultados indican que la harina de malanga presenta un contenido relativamente alto de carbohidratos en comparación al de Palomino (2010).

6.1.3 Espectroscopía infrarroja de la harina de malanga

En los cromatogramas de FTIR para la harina de malanga se pueden encontrar enlaces característicos de las harinas, como por ejemplo enlaces de C-H de los compuestos orgánicos, enlaces C=O de los ácidos orgánicos y enlaces N-H de las proteínas presentes en la harina. Estos enlaces ofrecen la capacidad de identificar y cuantificar los componentes de la harina, así como evaluar su calidad.

En el espectro infrarrojo correspondiente a la figura 29, se muestra las vibraciones moleculares en la región de los 4000 a 400 cm^{-1} , estas son las vibraciones encontradas:

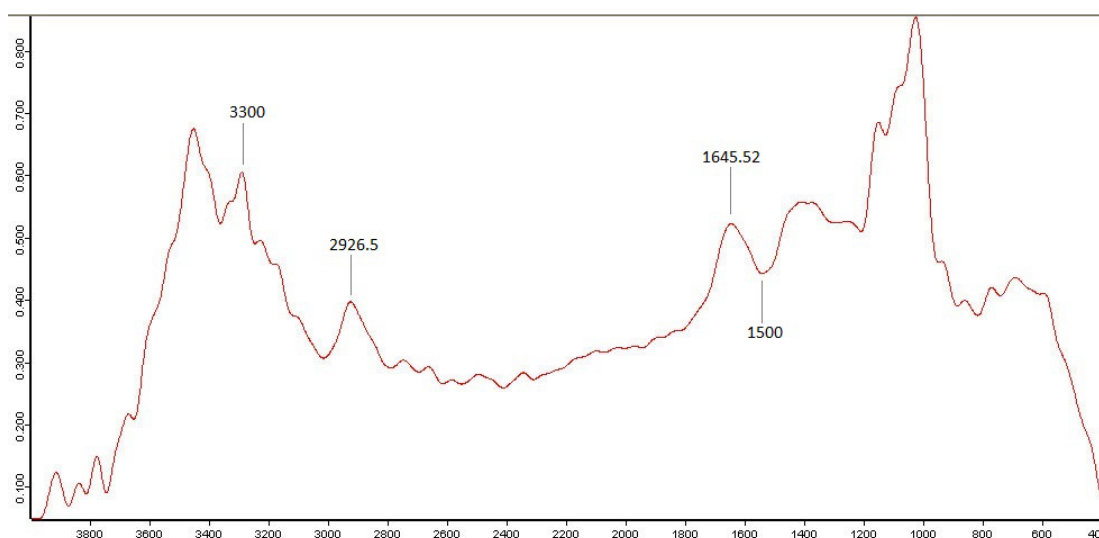


Figura 29. Espectro infrarrojo de la absorbancia de las vibraciones moleculares en la harina de malanga mediante el espectrofotómetro infrarrojo marca Bruker. Fuente: Elaboración propia.

En la longitud de onda 3290 cm^{-1} se observa la vibración de estiramiento del enlace O-H característico de los puentes de hidrógeno del agua, lo cual indica una

importante contribución de las moléculas de agua; en los 2926.56 cm^{-1} se atribuye al estiramiento asimétricos en los enlaces CH de las cadenas hidrocarbonadas de lípidos y carbohidratos; en la longitud de onda 1645.52 cm^{-1} el estiramiento es debido a las vibraciones del grupo CO e identifica el compuesto amida I.

A partir de la longitud 1500 cm^{-1} se presentan los principales cambios más destacados con la aparición de nuevos picos y algunos que pueden estar superpuestos. Esta región, conocida como “huella dactilar”, exhibe una amplia gama de señales asociadas a los compuestos presentes en las muestras. Es importante señalar que se encuentran diversos compuestos en pequeñas concentraciones y pertenecientes a diferentes clases químicas.

No obstante, se puede comparar el análisis cromatográfico realizado en este trabajo con el trabajo realizado por (Albis et al, 2019), el cual un análisis cromatográfico de FTIR a los residuos de una procesadora de harina de yuca, representado en la figura 30. Por lo que podemos concluir que existe una similitud en la existencia en los picos característicos de una harina, sin embargo, se puede presenciar la particularidad en las vibraciones, siendo este una singularidad en diferenciar el tipo de materia prima.

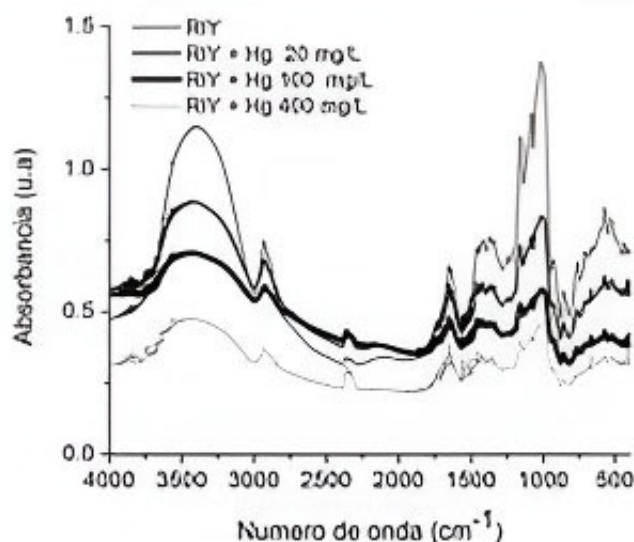


Figura 30. Espectros FTIR del residuo industrial de yuca (RIY) antes y después de tratamiento con Mercurio (II). Fuente: (Albis et al, 2019)

6.2 Proceso de obtención de biopelícula

En el proceso de obtención de la biopelícula, se llevaron a cabo diversos tratamientos con distintas concentraciones de aditivos y almidón, presentados en la tabla 8, todos siguiendo el método que en el capítulo

anterior se describió; permitiendo obtener una amplia gama de resultados descritos a continuación:

Tabla 8. Composición de biopelículas.

Tratamiento	Agua destilada (ml)	Harina de malanga (g)	Glicerina (ml)	Ácido acético 2M (ml)	Observaciones
T1	65	25	60	5	- Muestras no gelatinizaron. - Consistencia no apta para biopelícula.
T2	40	25	25	5	
T3	100	25	20	15	
T4	89	5	20	3	- Muestras parcialmente gelatinizadas. - Consistencia no apta para biopelícula.
T5	100	10	20	15	
T6	100	25	20	15	- Muestras gelatinizaron, pero no lo suficiente para formar biopelícula. - Consistencia no apta para biopelícula.
T7	100	40	20	15	
T8	100	50	20	10	- Muestra gelatinizó perfectamente. - Consistencia no apta para biopelícula.

A partir de la bibliografía consultada, se tomaron como referencia los porcentajes descritos en la tabla 8; por ejemplo, en Lopez (2017), se usó un porcentaje de concentración de 5 de almidón, 89 de agua, 3 de ácido acético y 3 de glicerol, de los cuáles se hizo un incremento/disminución de tanto por ciento como muestra el tratamiento T1. A partir del primer tratamiento, por prueba y error a como son los tratamientos del T2 al T5, se logró ajustar hasta que obtuvimos los resultados esperados estipulados en los tratamientos T6 al T8.

Evaluando las muestras de los tratamientos T1, T2 y T3, luego de ser calentados por un tiempo de 30 minutos se pudo observar que la mezcla de harina de malanga con los aditivos no tuvo una gelatinización completa, solo presentaron cambios físicos llegando a ponerse de color café claro; por lo que no presentan características necesarias para poder obtener una biopelícula.

Por otro lado, los tratamientos T4 y T5, no presentaron una gelatinización totalmente y en consecuencia de estar en el proceso de calentado durante más de 40 minutos, las muestras se incineraron y se tornaron oscuros, al tratar de formar la biopelícula no se formó y solo se quedó pegajoso.

Mientras tanto, al realizar los tratamientos T6 y T7, estas muestras de color se tornaron un rosado pastel si lograron llegar a la gelatinización requerida, pero al ser enfriados y tratar de formar la biopelícula no fueron lo suficientemente gelatina para formarla.

Por último, al realizar el tratamiento T8, éste si presentó una gelatinización adecuada para la formación de la biopelícula luego de estar en la plancha por un tiempo de 30 minutos; en comparación con los otros tratamientos y tornándose un color rosado pastel. Por lo cual, se estableció que este tratamiento presentó el mejor planteamiento para la obtención de biopelícula. Obteniendo como tiempo promedio de gelatinización de 25 minutos.

6.2.1 Balance de materia en el proceso de obtención de biopelícula.

A continuación, en la figura 31 se presentará el balance de materia a detalles en cada etapa del proceso de obtención de biopelícula.

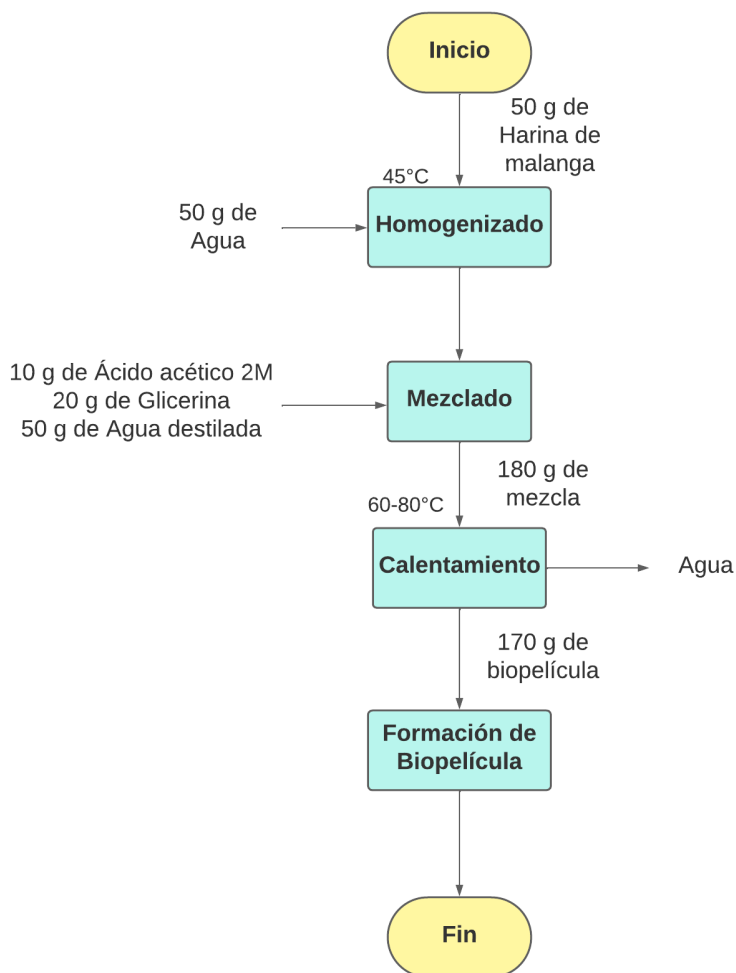


Figura 31. Balance de materia en el proceso de obtención de biopelícula. Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Evaluación de la biopelícula en preservación de las cualidades organolépticas de frutas.

Las frutas de papaya, mango y banano presentaban un buen estado, color, buena textura y firmes, tanto la fruta con la biopelícula como la que está sin la biopelícula, como se puede observar en la figura 32. En los primeros días, no se observaron cambios físicos ni en la dureza de la fruta.

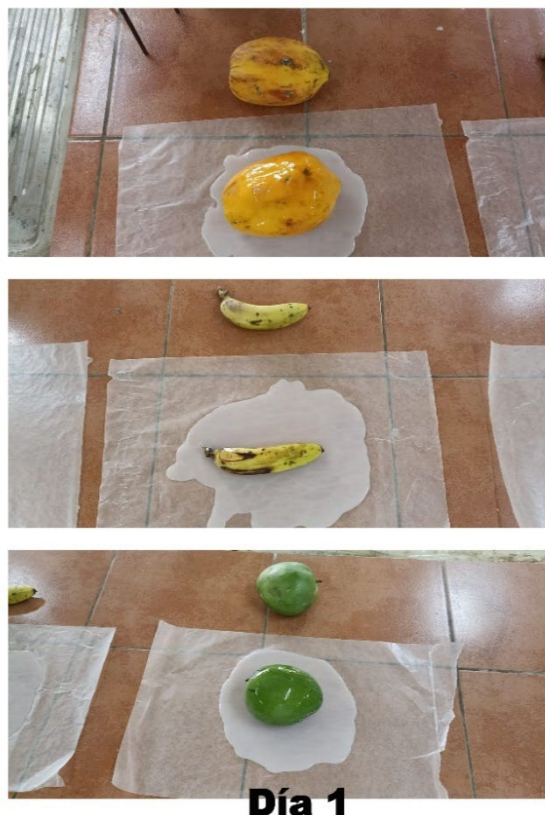


Figura 32. Frutas recubiertas con la biopelícula. Fuente: Elaboración propia.

Al sexto día la papaya con biopelícula presentó una mayor cantidad de manchas lo cual indicaba que su proceso de maduración era mayor, la cáscara se sentía dura, pero mantenía su olor normal; mientras que la papaya sin biopelícula presentaba una gran cantidad de moho, manchas negras y empezaba a descomponerse.

En cuanto al banano tanto el que contenía el recubrimiento de la biopelícula como el que no lo contenía, ambos presentaban un proceso de maduración creciente comparado con las demás frutas en evaluación; las cáscaras estaban completamente repleto de manchas negras y al igual que la papaya, el banano con el recubrimiento presentaba dureza en la cáscara.

Por otro lado, en cuanto al mango sin el recubrimiento no presentó ningún cambio hasta el día 10, como muestra la figura 33, en dónde se observó que el mango sin biopelícula contenía pocas manchas negras en la cáscara, pero presentaba hundimientos en ciertas partes; el mango con recubrimiento lucía una mayor cantidad de manchas negras en la cáscara, sin embargo, la pulpa del mango seguía intacta con un olor fresco.



Día 10

Figura 33. Mango testigo y con biopelícula a 10 días de ser aplicado el recubrimiento de biopelícula. Fuente: Elaboración propia.

Según (López *et al*, 2021) en la biopelícula a partir de almidón de cáscara de plátano que evaluaron en la prolongación de la vida útil y las características organolépticas de la manzana, banano y yuca; indicaron que fue efectiva ya que conservaron las características de la manzana y el banano.

Por lo tanto, se podría decir que la biopelícula a base de harina de malanga realizada en este trabajo es efectiva pues se pudo observar que el mango conservó sus características organolépticas por más tiempo de lo regular a temperatura ambiente en comparación al banano y papaya. Esto se podría considerar que es efectiva ante el crecimiento de microorganismos en las frutas con cáscaras más duras como el mango.

VII. CONCLUSIONES

En cuanto a la obtención de harina de malanga se obtuvo 1.20 kg de harina fina de color café con un rendimiento del 26.78%, lo que es compatible con otros productos similares como la yuca; siendo así relativamente óptimo para su aplicación como subproducto.

Las características proximales presentadas de la harina fueron 8.17% de humedad, 2.70% de cenizas, 1.5% extracto etéreo, 3.31% proteína y 84.17% de carbohidratos totales, siendo estas características estar en el rango permisible para una harina.

El diseño seleccionado para la formación de biopelícula fue el tratamiento 8 con concentraciones de: 5 g de harina de malanga, 50 g de agua destilada, 10 g de ácido acético 2M y 20 g de glicerina, donde la mezcla si logró presentar una gelatinización adecuada para la formación de biopelícula.

Bajo condiciones de temperatura ambiente el periodo de vida de anaquel de la papaya y el banano con recubrimiento de biopelícula fue de 6 días, mientras que la vida de anaquel del mango presentó un mayor tiempo, siendo de 10 días, en dónde el mango continuaba con sus características organolépticas. Esto debido a la rigidez de la cáscara, por lo tanto, la biopelícula muestra ser efectiva ante el crecimiento de microorganismos.

En conclusión, la harina de malanga demostró ser idónea para la formación de una biopelícula.

VIII. RECOMENDACIONES

- Promover el desarrollo de nuevos productos utilizando harina de malanga para aumentar el valor añadido de esta en la industria alimentaria de Nicaragua.
- Determinar vida útil y propiedades nutricionales que aportaría la harina de Malanga a productos alimenticios.
- Realizar un estudio de prefactibilidad para escalar la producción de harina de Malanga a nivel industrial.
- Desarrollar nuevas investigaciones almidones de otras especies vegetales.
- Realizar un estudio para evaluar la influencia de la biopelícula plástica con el grado maduración de las frutas y comprobar su eficacia en la prevención del crecimiento de microorganismos.
- Realizar pruebas con frutas/tubérculos de cáscaras duras tales como: melón, sandía, piña, yucas, zapotes etc., para aportar propiedades antifúngicas puesto que demostró los mejores resultados la biopelícula en este estudio.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- AESAN. (2010). Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) en relación a los biofilms y su repercusión en la seguridad alimentaria. *Revista del Comité Científico de la AESAN*(12), 37-61. https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/publicaciones/revistas_comite_cientifico/comite_cientifico_12.pdf
- Albis Arrieta, A. R., Arzuza Orellano, S. A., & Mosquera Palacio, A. M. (2019). Remoción de Mercurio (II) en solución acuosa usando residuo industrial de yuca (*Manihot esculenta*). *Prospectiva*, 17(2), 33-39. <https://doi.org/https://doi.org/10.15665/rp.v17i2.1951>
- Amaya-Pinos, J. B. (04 de Diciembre de 2018). Estudio de la dosificación del almidón extraído del banano en un polímero de tipo termoplástico. *Revista Colombiana de Química*, 48(1), 43-51. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n1.74469>
- Arróliga Araica, L. S., & Blandón Ruiz, N. D. (2015). *Evaluación del comportamiento agronómico de ocho variedades de Malanga (Colocasia esculenta) en las condiciones edafoclimáticas, Finca Buena Vista, comunidad El Tepeyac, departamento de Matagalpa, I semestre 2015*. Matagalpa: UNAN. <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>
- Buensuceso Solano, V. (2010). *Elaboración y caracterización de biopelículas a partir de almidón de yuca (Manihot Esculenta Crantz)*. México D.F. <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/25079/1/Elaboraci%C3%B3n%20y%20caracterizaci%C3%B3n%20de%20biopel%C3%ADculas%20a%20partir%20de%20almid%C3%B3n%20de%20yuca%20%28Manihot%20esculenta%20crantz%29.pdf>
- Campos Díaz, K. E., & Álvarez Cruz, J. L. (2016). ¿Cónoces las biopelículas? *HYPATIA*(53). <https://www.revistahypatia.org/biotecnologia-3-revista-53.html>
- Charro Espinosa, M. M. (2015). *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata*. Quito: Universidad Central de Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/3788>
- Chocano Peralta, N. d. (2019). *Propiedades físicas y mecánicas de una biopelícula formulada con almidón de papa (Solanum tuberosum) y mucilago de nopal (Opuntia ficus)*. Andahuaylas: Universidad Nacional José María Arguedas. <https://hdl.handle.net/20.500.14168/530>
- D'Amore, C. (2016). *Evaluación nutricional de harina proteica de Erythrina edulis*. Caracas: Universidad Central de Venezuela. <http://caelum.ucv.ve/bitstream/10872/15104/1/MANUSCRITO%20FINAL%206%20DE%20JUNIO%20.pdf>

- Erazo Hidalgo, H. M. (2021). *Formulación y caracterización de una biopelícula a partir de maíz morado (Zea mays L.O) para el embalaje de alimentos*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16802>
- Fandiño, R. L. (2014). *Las proteínas de los alimentos*. Madrid, España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas-CSIC.
- FAO. (1995). *NORMA PARA LA HARINA DE YUCA COMESTIBLE CXS 176-1989*. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B176-1989%252FCXS_176s.pdf
- FAO. (2014). *En la Región del Caribe Sur se cultivan las raíces y tubérculos con mejor calidad e inocuidad*. Managua: FAO. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/bcd17489-e9aa-41e3-ba76-9ce7453a907b/>
- FAO. (14 de 03 de 2023). *MANUAL DE TECNICAS PARA LABORATORIO DE NUTRICION DE PECES Y CRUSTACEOS*. fao.org: <https://www.fao.org/3/ab489s/AB489S00.htm#TOC>
- Góngora García, K. J. (2016). *Morfología, rendimiento y calidad organoléptica de 25 genotipos introducidos de malanga (Colocasia Esculenta (L.) Schott) y seis naturalizados en Nicaragua*. San Ramón, Matagalpa, 2015. Managua: UNA. <https://repositorio.una.edu.ni/3424/1/tnf30g638.pdf>
- HARINAS, R. T. (Mayo de 2010). *HARINA DE TRIGO FORTIFICADA. ESPECIFICACIONES. NORMA TÉCNICA NTON 03 037-7/RTCA 67.01.15:07*. <http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/9e314815a08d4a6206257265005d21f9/df67ee153de227b20625778400720fa8?OpenDocument>
- Hernández Estrada, M. d., & Gómez Moncada, R. d. (2022). *Evaluación del quequisque de la variedad lila (Xanthosoma violaceum) para la elaboración de harina y dos subproductos agroindustriales derivados de la misma, a escala de laboratorio*. Managua: Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/4526/1/tnq02h557e.pdf>
- Herrera Cuadrado, Z. V. (2021). *Formulación y caracterización de una biopelícula a partir de almidón de papa "Santa Isabel" (Solanum tuberosum) para el uso de alimentos*. Chimborazo: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14988>
- Horak, C., Zarankin, E., Torno, G., Cerra, H., Fernández, M. C., & Lagomarsino, M. (2013). *Manual de microbiología aplicada a las industrias farmacéutica, cosmética y de productos médicos*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Asociación Argentina de Microbiología. <https://www.aam.org.ar/descarga-archivos/manual-microbiologia-aplicada.pdf>

- INTA. (2020). *Recomendaciones para la producción de Malanga en la época de primera 2020*. Managua. <https://inta.gob.ni/wp-content/uploads/2020/04/Recomendaciones-produccion-Malanga-RACCN-2020.pdf>
- Ismalej Reyes, L. L. (2018). *Galleta a base de harina de malanga*. Guatemala. http://biblioteca.galileo.edu/tesario/bitstream/123456789/1183/1/2018-T-lcta-24_ismalej_reyes_linda_liliana.pdf
- López Rodríguez, D. S., Rodríguez Valdivia, H., & Olivas Gutiérrez, D. M. (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*. Universidad Nacional de Ingeniería. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwje-67SmsmAAxXjtTEKHRP1DUEQFnoECA0QAQ&url=http%3A%2F%2Fribuni.uni.edu.ni%2F4547%2F&usg=AOvVaw041Zhcl6zwNoNNL4sNWtt&opi=89978449>
- Madrigal-Ambriz, L. V., Hernández-Madrigal, J. V., Calvo-Carrillo, M. C., & Casas-Rosado, R. G. (2020). Caracterización física y nutricional de harina del tubérculo de “Malanga” Colocasia esculenta L. Schott) de Actopan, Veracruz, México. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición (ALAN)*, 68(2), 175-183. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_alan/article/view/20262
- Malanga. (2016). *Guía alimenticia de Malanga*. <https://es.slideshare.net/EdwinQuionez/catlogo-harina-de-malanga>
- Martínez Astorga, J. F., & Téllez Gutiérrez, I. E. (2017). *Aprovechamiento de la malanga (colocasia antiquorum) mediante la elaboración de harina, galleta y empanizador en la planta piloto "Mauricio Díaz Müller" 2017*. León. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/6983/1/241466.pdf>
- MEFCCA. (26 de 08 de 2022). *MEFCCA*. <https://www.economiafamiliar.gob.ni/websitemefcca-mvc/noticia-crece-produccion-yuca-malanga-quequisque-enero-julio-2022/649>
- Mendoza Undi, I. N. (2021). *La competitividad de las exportaciones de la malanga ecuatoriana en el periodo 2015 - 2019*. Sangolquí: Departamento de Ciencias Económicas, Administrativas y del Comercio. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24769/1/T-ESPE-044524.pdf>
- Navia, D. P., Villada Castillo, H. S., & Mosquera Sanchez, S. A. (2010). Las biopelículas en la industria de alimentos. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 118-128. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/740>

- NTE-INEN. (2015). *LECHE Y PRODUCTOS LÁCTEOS DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE NITRÓGENO MÉTODO KJELDAHL*. Quito, Ecuador: NTE-INEN 16.
- Ocaña Vilema, L. G. (2020). *Comparación de la solubilidad y elasticidad en biopelículas elaboradas a partir de harina y almidón de Musa acuminata y Zea mays*. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.
<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/7189/2/TESIS-BIOPELICULAS-A-BASE-DE-HARINA-Y-ALMIDON-DE-BANANO-Y-MAIZ-NEGRO.pdf>
- Palomino, C., Molina, Y., & Pérez, E. (2010). Atributos físicos y composición química de harinas y almidones de los tubérculos de *Colocasia esculenta* (L.) Schott y *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 2(36), 58-66.
https://www.researchgate.net/profile/Elevina-Perez-2/publication/230800798_Physical_and_chemical_characterization_of_flour_and_starches_of_tubers_of_Colocasia_esculenta_L_Schott_and_Xanthosoma_sagittifolium_L_Schott/links/0fcfd5048b36e3c0fd00000/Physical
- Rivas Gazo, E. Y. (2017). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta procesadora de snack de malanga y platano, en el municipio de Managua, en el período de 2016-2020*. Managua: UNI.
<http://ribuni.uni.edu.ni/3346/1/92348.pdf>
- Rodríguez Miranda, J., Rivadeneyra Rodríguez, J. M., Ramírez Rivera, E. d., Juárez Barrientos, J. M., Herrera Torres, E., Navarro Cortez, R. O., & Hernández Santos, B. (2011). Caracterización fisicoquímica, funcional y contenido fenólico de harina de malanga (*Colocasia esculenta*) cultivada en la región de Tuxtepec, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar*(43), 37-47.
<https://biblat.unam.mx/hevila/Cienciaymar/2011/no43/4.pdf>
- Rosales, A. d. (2016). *Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (Colocasia esculenta), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAN-Managua*. Managua. <https://repositorio.unan.edu.ni/2687/1/28212.pdf>
- Torres, A., Durán, M., & Montero, P. (2013). Evaluación de las propiedades funcionales del almidón obtenido a partir de malanga (*Colocasia esculenta*). *Revista Ciencias e Ingeniería al Día*, 8(2), 29-38.
<https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/5195>
- Urrutia Gutiérrez, W. (2010). *Determinación de parámetros óptimos de extracción alcalina para la obtención de aislado proteico a partir de tarwi (Lupinus mutabilis)*. Abancay: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.
<http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/311>

- Zamudio Castellanos, G. A. (2014). *Aplicaciones de las biopelículas comestibles en la industria alimenticia*. Universidad del Valle. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/17676>
- Zapata Criollo, D. M. (2019). *Evaluación de biopelículas formuladas a partir de almidón de banano verde (Musa paradisiaca) y yuca (Manihot esculenta) con gel de sábila (Aloe vera)*. Piura: Universidad Nacional de Piura. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1586>

X. ANEXOS

Anexo 1. Dimensionamiento de mallas de tamices A.S.T.M y tamaño de partículas de harina de malanga.

Tamizador Tyler		
# de malla	Dimensiones de agujeros (mm)	Tamaño de partículas (mm)
Malla 8	2.36	2.36
Malla 12	1.7	2.03
Malla 35	0.5	1.265
Malla 50	0.3	0.7825
Malla 80	0.18	0.48125
Malla 140	0.106	0.293625
Malla 230	0.063	0.1783125

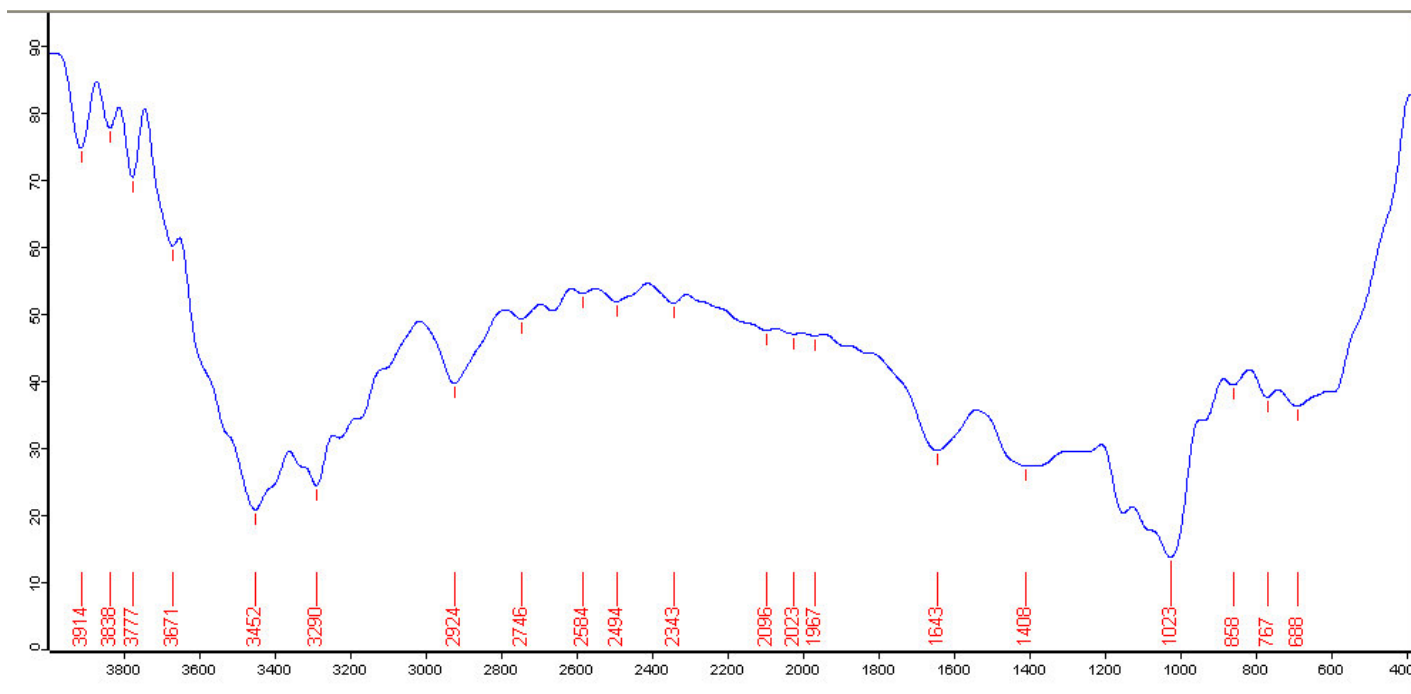
Anexo 2. Determinación de cantidad de harina obtenida en la primera parte.

Tamizador Tyler				
Total de muestra:		453.5	381	
# de Malla	Peso Vacío (g)	Peso con muestra (g)	Peso con muestra (g)	Total (g)
Malla 8	475	476	476	2
Malla 12	444	452.5	449.5	14
Malla 35	359.5	612.5	548.5	442
Malla 50	345	426	417.5	153.5
Malla 80	336	378	376.5	82.5
Malla 140	315.5	343	345.5	57.5
Malla 230	326.5	344	347	38
Fondo	361	380	381	39
Total				828.5

Anexo 3. Determinación de harina obtenida luego de trituración con molino de cuchilla

Tamizador Tyler			
Total de muestra:		457.3	
# de Malla	Peso Vacío (g)	Peso con muestra (g)	Total (g)
Malla 8	475	475	0
Malla 12	444	444	0
Malla 35	359.5	482	122.5
Malla 50	345	463.5	118.5
Malla 80	336	400.5	64.5
Malla 140	315.5	365.5	50
Malla 230	326.5	369.5	43
Fondo	361	406	45
Total			443.5

Anexo 4. Espectro infrarrojo de los valores trans de la harina de malanga por medio de un espectrofotómetro infrarrojo marca Bruker. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 5. Países exportadores de malanga a nivel mundial. Fuente: (Mendoza, 2021).

Exportadores	FOB 2019 (miles USD)	TM 2019	Tasa de crecimiento anual en valor entre 2015-2019 (%)	Tasa de crecimiento anual en cantidad entre 2015- 2019 (%)	Tasa de crecimiento anual en valor entre 2018-2019 (%)	Participación en las exportaciones mundiales (%)
Mundo	37523	33470	-5	-11	-4	100
Ecuador	13139	10336	6,95	-12	17	35
México	9158	5861	4	-16	42	24,4
Costa Rica	5775	5810	-14	-20	-28	15,4
Viet Nam	3787	3016	12	10	-21	10,1
Nicaragua	2555	4223	11	4	-57	6,8
República Dominicana	718	504	-20	-24	-28	1,9
Colombia	591	365			698	1,6
Estados Unidos de América	566	712	20	25	6	1,5
España	354	155	149	131	85	0,9
Honduras	265	1751	2	35	59	0,7
San Vicente y las Granadinas	238	379	-19	-18	-7	0,6
Dominica	141	55	-12	-19	25	0,4
Bélgica	59	34	236		11	0,2
Camerún	41	41	194	154	3	0,1
Tonga	31	48	75	33	213	0,1
Países Bajos	30	9	93	98	58	0,1
Tailandia	25	10	3	-32	-50	0,1
Jamaica	21	6		91	25	0,1

Anexo 6. Malanga deshidratada luego de un secado de 24 horas. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 7. Peso por triplicado de muestra carbonizada.

Peso de muestra carbonizada (g)
0.02
0.03
0.02

Anexo 8. Masa de almidón de malanga.



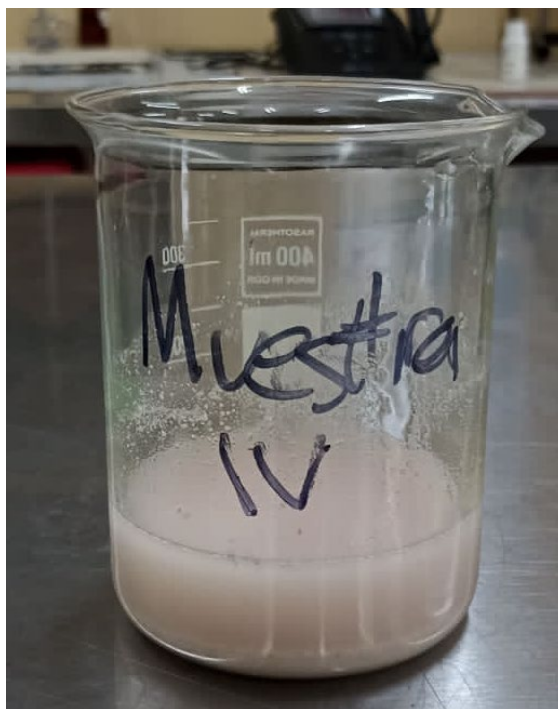
Anexo 9. Almidón lechoso luego de lavado de la malanga.



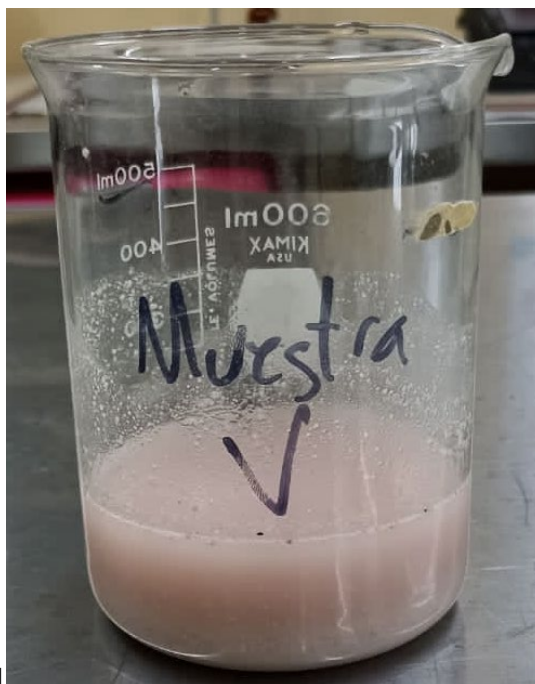
Anexo 10. Prueba de yodo para el almidón de malanga.



Anexo 11. Tratamiento T4 luego del proceso de calentado.



Anexo 12. Tratamiento T5 luego del proceso de calentado.



1

Anexo 13. Evaluación de preservación de cualidades organolépticas de banano y papaya con y sin biopelícula.

