

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE CALKINI EN EL ESTADO DE
CAMPECHE**

**“DETERMINACIÓN DE FENOLES TOTALES Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE
EN HOJAS DE SOLANUM HIRTUM VAHL PARA SU INCORPORACIÓN EN
BIOPELÍCULAS DE ALMIDÓN DE MAÍZ (ZEA MAYS)”**

TESIS PARA TITULACIÓN INTEGRAL

INGENIERÍA BIOQUÍMICA

**EGRESADO:
LUIS FIDEL TZUC MARTIN**

**DIRECTOR Y CO-DIRECTOR:
DR. MARIO ADRIÁN DE ATOCHA DZUL CERVANTES**

DR. YASSER ALEJANDRO CHIM CHI

Calkiní, Campeche, México 2025



Instituto Tecnológico Superior de Calkiní
Subdirección de Planeación y Desarrollo

Instituto Tecnológico Superior de Calkiní
Departamento de Administración y
Apoyo al Estudiante

Calkiní, Campeche **45723**
P/03/25/748
INGENIERIA BIOQUIMICA

CONSTANCIA DE NO INCONVENIENCIA

MODALIDAD: TESIS

C. LUIS FIDEL TZUC MARTIN 7357
PASANTE DE LA CARRERA DE
INGENIERIA BIOQUIMICA.
PRESENTE

Con relación a lo establecido en el Reglamento de Estudios de Licenciatura, capítulo VII, fracción I, vigente en este Instituto, y una vez emitido el fallo favorable por el director MARIO ADRIAN ATOCHA DZUL CERVANTES, y el co-director YASSER ALEJANDRO CHIM CHI, respectivamente, este Instituto consta de no tener inconveniencia para la realización del acto protocolario de titulación integral de su trabajo profesional titulado: **"DETERMINACIÓN DE FENOLES TOTALES Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN HOJAS DE SOLANUM HIRTUM VAHL PARA SU INCORPORACIÓN EN BIOPELICULAS DE ALMIDÓN DE MAIZ (ZEA MAYS)"**.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Sabiduría, Fortaleza de Nuestra Cultura®



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
DE CALKINI
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN
ESCOLAR Y APOYO A
ESTUDIANTES
CLAVE: 04MSU0013P
CALKINI, CAMPECHE, MEXICO

Dr. Jorge Alfonso Hau Puc.
Departamento de Administración y
Apoyo al Estudiante.

C.c.p. Archivo



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Ah Canul S/N por Carretera Federal, Calkiní, Campeche,
C.P. 24900 Tel. 996-8134870,
e-mail: se_dcalkini@tecnm.mx | itescam.edu.mx



Dedicatoria

A la fortaleza más grande que tengo, a mi dios.

A las personas quienes confié y que siempre puedo contar con ellos, a mi familia, mis tías y tíos.

A la persona con que pase las etapas de mi vida, y de quien recibir su amor incondicional, su confianza y orgullo, a mi madre Zoila Martin.

A la persona que me ayudo a ser una buena persona, amándome y otorgándome sabiduría durante mi vida, a mi padre Martin Tzuc.

A las dos personas con quien crecí y fueron ejemplo en mi educación, mi hermana Alejandra de Jesus y mi hermano Gonzalo Guadalupe.

Finalmente quiero agradecer de manera general a todas las personas que me acompañaron en este viaje, y de manera especial quiero dedicar este logro también a una persona quien me siguió durante gran parte de mi educación escolar, quien fue mi confidente y apoyo, a Lesley Paola.

Agradecimientos

Quiero agradecer en primer lugar a mi dios, quien se que está conmigo en todo momento.

Quiero agradecer de la misma forma a mis padres por este logro, los cuales siempre confiaron en mí, me apoyaron y cuidaron, quienes me educaron los valores de la vida.

Quiero agradecer a mis asesores. Al Dr. Mario Adrián de Atocha Dzul Cervantes, quien me apoyo a lo largo de mi carrera en diferentes proyectos, por ayudarme con los medios necesarios en esta investigación.

Al Dr. Yasser Alejandro Chim Chi, quien fue también mi asesor y con quien también realice este proyecto, gracias por su paciencia y sabiduría.

Agradezco a la institución del ITESCAM, en donde a sido la cúspide en mi enseñanza académica y en donde participe en muchos eventos culturales y académico.

ÍNDICE

Resumen.....	8
Abstract	8
Introducción	9
CAPITULO I ANTECEDENTES	10
1 Biopelículas a partir de almidón de maíz	10
1.1 Biopelículas a partir de almidón de maíz chulpi para el embalaje de elementos.....	10
1.2 Fabricación de Bioplástico Utilizando Almidón de Maíz	11
1.3 Bioplástico a Partir de Almidón de Maíz	11
2 Actividad antioxidante de la familia Solanum.....	13
3 Fenoles y Flavonoides Totales de la familia Solanum	15
Justificación	18
Objetivos	19
CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....	20
1 Biopelículas en la industria de alimentos.....	20
1.1 Recubrimiento.....	21
1.2 Composición de los recubrimientos comestibles.....	22
1.3 Matriz estructural.....	24
2 Técnicas para la aplicación de biopelículas.....	28
2.1 Métodos de aplicación del recubrimiento comestible (RC)	28
2.2 Técnica para Película Comestible (PC)	29
2.3 Preservación de frutas y hortalizas mediante recubrimientos comestibles	29
3 Almidón	30
3.1 Composición del almidón	31
4 Solanum Hirtum Vahl	32
4.1 Descripción botánica	33
4.2 Clasificación.....	34
4.3 Distribución compuestos químicos presentes en sus hojas.....	36
5 Extracto de hojas.....	37
6 Compuestos bioactivos presentes en extractos	38
7 Compuestos fenólicos y su importancia	39
7.1 Estructura química y clasificación de los fenoles	41
7.2 Beneficios de los fenoles en biopelículas y materiales biodegradables	42

8	Importancia de los antioxidantes en los biopolímeros	43
9	Biopelículas y su análisis mediante termogravimetría (TGA).....	44
9.1	TGA en el estudio de biopelículas	44
9.2	Aplicaciones y relevancia de la TGA en biopelículas	45
CAPITULO III METODOLOGÍA		46
1	Preparación de hojas.....	46
2	Preparación del extracto de hojas Puut Baalam (<i>Solanum hirtum</i> Vahl).....	47
3	Aislamiento del almidón de maíz	49
4	Elaboración de la biopelícula con extracto de <i>Solanum hirtum</i> vahl y almidón de maíz	51
5	Caracterización	53
5.1	Determinación de Fenoles Totales.....	53
5.2	Determinación de la Actividad Antioxidante	55
5.3	Análisis TGA	56
CAPITULO IV ANÁLISIS Y RESULTADOS.....		57
1	Resultados de fenoles totales	57
2	Resultados de actividad antioxidante	58
3	Resultados de TGA	59
CONCLUSIÓN.....		61
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de resultados de Ramón-Valderrama et al., (2020)	14
Tabla 2. Resumen de resultados de Fernández et al., (2021)	15
Tabla 3. Resumen de resultado de Ramón-Valderrama et al., (2020)	16
Tabla 4. Resumen de resultados de Ávila, J., & Ruales, J. (2016).....	17
Tabla 5. Resultados de fenoles totales.....	58
Tabla 6. Resultados del porcentaje de antioxidantes.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la Amilosa (Cando, 2021)	31
Figura 2. Estructura de la Amilopectina (Cando, 2021)	32
Figura 3. Frutos Solanum Hirtum Vahl.	36
Figura 4, Hojas de Solanum Hirtum Vahl.	37
Figura 5. seleccion de hojas de Solanum Hirtum Vahl.	46
Figura 6. Secado de hojas en horno de conveccion.	46
Figura 7. Polvo de Solanum Hirtum Vahl.	47
Figura 8. Preparación de extracto de Solanum Hirtum Vahl.....	47
Figura 9. Incubación de extracto.....	48
Figura 10. Centrifugado de extraco.....	48
Figura 11. Separación por arrastre de vapor del extracto.	49
Figura 12. Semillas de Maíz trituradas.	49
Figura 13. Filtración de almidón.....	50
Figura 14. Concentrado de almidón.....	50
Figura 15. Incorporación de extracto al almidón.	51
Figura 16. Homogenización de almidón, extracto y glicerol.	52
Figura 17. Baño ultrasónico de los componentes.	52
Figura 18. Secado de la biopelícula.	53
Figura 19. Biopelícula de almidón con extracto de Solanum Hirtum Vahl.	53
Figura 20. curva de calibración de estándares.....	57
Figura 21. Gráfico de masa en función de la temperatura de los resultados de TGA.	60

Resumen

El *Solanum Hirtum* Vahl es una planta poco conocida, de ahí su poco estudio y caracterizaciones, se trata de una planta con antecedentes curativos, en regiones como Yucatán es usado para aliviar dolores en la garganta. Este trabajo busca aportar información científica de esta especie, determinando su capacidad antioxidante y fenoles totales de sus hojas y tallos, con el objetivo de aplicarlo en biopelículas de almidón de maíz, un insumo abundante y de bajo costo en comparación con otros biopolímeros, lo que facilita su integración en procesos industriales sin generar altos costos de producción. Se determinó una mayor cantidad de fenoles con respecto a otros estudios y un porcentaje superior de antioxidantes usando metanol como solvente en la extracción, se estableció un mayor rendimiento en pruebas de TGA para biopelículas incorporadas con el extracto de hojas. Dado a estos resultados, tiene un gran potencial como biomaterial, reduciendo la huella de carbono.

Abstract

Solanum Hirtum Vahl is a little-known plant, hence its little study and characterizations. It is a plant with a healing history. In regions such as Yucatan, it is used to relieve sore throat. This work seeks to provide scientific information on this species, determining its antioxidant capacity and total phenols in its leaves and stems, with the aim of applying it to corn starch biofilms, an abundant and low-cost input compared to other biopolymers, which facilitates its integration into industrial processes without generating high production costs. A greater amount of phenols was determined compared to other studies and a higher percentage of antioxidants using methanol as a solvent in the extraction. A higher performance was established in TGA tests for biofilms incorporated with the leaf extract. Given these results, it has great potential as a biomaterial, reducing the carbon footprint.

Introducción

En la actualidad, la contaminación ambiental causada por el uso excesivo de plásticos sintéticos ha generado una creciente preocupación a nivel global. La acumulación de residuos plásticos en los ecosistemas terrestres y marinos representa un problema ambiental significativo, ya que estos materiales pueden tardar cientos de años en degradarse. Ante esta problemática, surge la necesidad de desarrollar alternativas biodegradables que permitan sustituir los plásticos convencionales sin comprometer la funcionalidad y eficiencia de los materiales utilizados en diversas industrias, especialmente en el sector de empaques y embalajes.

Los biopolímeros han cobrado relevancia como una solución sostenible para reducir la dependencia de los plásticos derivados del petróleo. Entre ellos, el almidón de maíz ha demostrado ser un excelente candidato para la fabricación de biopelículas debido a su abundancia, bajo costo y capacidad de formar películas flexibles y biodegradables. Sin embargo, se puede incorporar compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes y antimicrobianas para precisamente hacerlos más funcionales. Los extractos vegetales han demostrado ser una alternativa viable para potenciar la funcionalidad de los biopolímeros. Diferentes especies del género *Solanum* han sido estudiadas por su contenido de fenoles totales y flavonoides compuestos que poseen una reconocida actividad antioxidante y que pueden contribuir a prolongar la vida útil de los productos que se envasan en estos materiales.

El presente Trabajo tiene como objetivo caracterizar la actividad antioxidante y el contenido de fenoles totales de extractos de *Solanum Hirtum* Vahl, y evaluar su efecto en biopelículas de almidón de maíz. Se busca contribuir al desarrollo de biopelículas biodegradables y funcionales, que además de ser una alternativa sostenible a los plásticos sintéticos, puedan ofrecer propiedades antioxidantes y protectoras, con potencial aplicación en la industria alimentaria.

CAPITULO I ANTECEDENTES

1 Biopelículas a partir de almidón de maíz

1.1 Biopelículas a partir de almidón de maíz chulpi para el embalaje de elementos

La propuesta de elaborar un biofilm a partir del almidón de maíz Chulpi (*Zea Mays Amylosaccharata*) para embalar los productos alimenticios fue planteada por Maza y su equipo en 2022. El principal propósito de esta indagación consistió en crear una biopelícula a partir del almidón de maíz Chulpi, con el propósito de proteger los alimentos de efectos negativos del entorno. La investigación se realizó mediante un método de extracción de almidón en húmedo, apoyándose en un análisis factorial 2k, en el cual se observaron variaciones en las revoluciones por minuto (A y B) y en el tiempo de molienda (de 45 a 60 segundos). Tras definir el almidón, se procedió a su evaluación en un laboratorio, donde se llevaron a cabo ensayos físicos, pruebas químicas proximales y análisis microbiológicos, además, se examinó la amilosa en el Instituto Nacional de Investigación Agrícola.

Se realizó un análisis factorial 2K en la formación de biopelículas. La concentración de glicerol y el contenido de almidón resultaron ser diferentes, por lo que se efectuaron cuatro tratamientos con cuatro repeticiones cada uno, lo que resultó en un total de 16 muestras de biopelículas. Posteriormente, fueron reconocidas a través de análisis de tracción, biodegradación, análisis químico físico y proximal, se examinaron en el laboratorio y Al evaluar la eficacia en la molienda del almidón, el Tratamiento 2 obtuvo un valor de 27.306% basándose en (RPM AY 60s; y amilosa 25.63%). En bioplásticos, el Tratamiento 2 demostró una excelente adhesión y una biodegradabilidad excepcional, todo esto gracias a la creación de (0.75 ml de almidón). Se estima que el almidón de maíz Chulpi es el más idóneo para la producción de biopelículas, dado que ha alcanzado el periodo de descomposición previsto. Su consumo se ve favorecido al prevenir la polución del entorno ambiental.

Los alimentos se recubrieron con biofilms mediante la observación en su entorno, utilizando blanco y otros materiales junto con un biofilm derivado del almidón de

maíz chulpi. Este proceso se realizó utilizando fresas como objeto de estudio. Después de una semana, se determinó que el biofilm que se había adherido a las fresas era de muy buena calidad, y las frutas lograron conservarse. Sin embargo, la apariencia de las frutas no era adecuada, ya que su forma no era óptima. El congelador no mostró signos de ser permeable para las fresas, lo que significa que no había un flujo evidente de vapor de agua, lo que sugiere que esto puede contribuir a la conservación de las frutas sin alterar sus características.

1.2 Fabricación de Bioplástico Utilizando Almidón de Maíz

Avellán et al. (2020) en el estudio "Fabricación de bioplástico utilizando almidón de maíz (*Zea mays* L.)", se busca obtener almidón para combinarlo más tarde con glicerol y ácido acético para crear papel bioplástico, que exhibe un grado de descomposición del 89,40% en un experimento de 42 días. Para realizar esto, se empleó el procedimiento G7, que implica sumergir en agua. A continuación, se incorpora 1,17 ml de glicerina, mezclando de manera constante hasta que se observe una alteración en su movimiento. Posteriormente, se añade 3 ml de ácido acético al 3% v/v, combinando hasta que se produzca vapor en la mezcla. Al final, se continúa con la mezcla de la preparación. Papel bioplástico y seco: llevaron a cabo prueba de biodegradabilidad posterior a 42 días. La titulación con HCl demostró la generación de un líquido blanquecino, lo que indica la formación de BaCO_3 . Luego, se verificó la descomposición del material plástico.

1.3 Bioplástico a Partir de Almidón de Maíz

Según Riera et al. (2020), el bioplástico proviene del almidón de maíz (*Zea mays* L.). Aunque el plástico es un recurso útil debido a sus múltiples usos, plantea un problema ambiental debido a su persistencia en el entorno marino y su difícil descomposición. En respuesta a este escenario, desarrollaron opciones como el bioplástico que utiliza nuevos recursos como materia prima, siendo el almidón uno de ellos. El siguiente estudio se basa en un proyecto que trata el tema de "Balance de masa", la meta es la extracción del almidón del grano de maíz y posteriormente mezclarlo con glicerol y ácido acético para crear una lámina de bioplástico. Al aplicar los mismos métodos, el rendimiento fue un 5,72% menor que en otros casos

examinados, y el índice de degradación del bioplástico alcanzó el 89,40% durante los 42 días de prueba. Esto constituye un resultado más favorable en comparación con las normas internacionales establecidas para este fin.

Potencial Antimicrobiano de Extractos Metanólicos en el Control de Biopelículas Microbianas: Un Análisis Integral

Los extractos metanólicos de diversas fuentes vegetales han demostrado un significativo potencial antimicrobiano que podría aplicarse al control de biopelículas, estructuras complejas formadas por comunidades microbianas adheridas a superficies y protegidas por una matriz de sustancias poliméricas extracelulares. La resistencia creciente a los antimicrobianos convencionales ha impulsado la búsqueda de alternativas naturales efectivas, donde los extractos metanólicos emergen como candidatos prometedores debido a su rica composición fitoquímica y diversas actividades biológicas. Esta investigación analiza el potencial de diversos extractos metanólicos para inhibir o erradicar biopelículas microbianas, examinando los mecanismos de acción propuestos, las aplicaciones potenciales y los desafíos para su implementación.

1.1.1 Propiedades Antimicrobianas de Extractos Metanólicos

Los extractos metanólicos de diversas plantas han demostrado actividad contra microorganismos formadores de biopelículas, incluyendo bacterias, hongos y parásitos. Estas propiedades antimicrobianas constituyen la base para su potencial aplicación en el control de biopelículas, estructuras microbianas altamente resistentes que representan un desafío significativo en contextos médicos, industriales y ambientales.

Estudios recientes han evaluado extractos metanólicos de distintas especies de Gracilaria (algas rojas), demostrando actividad antibacteriana significativa contra *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*, dos patógenos importantes formadores de biopelículas³. Esta investigación reveló que ambos extractos sin diluir inhibieron el crecimiento de estas cepas bacterianas, con mayor efectividad contra *S. aureus* que frente a *E. coli*. La capacidad para inhibir el crecimiento bacteriano sugiere que estos extractos podrían interferir con las etapas iniciales de formación de

biopelículas, donde la adhesión y colonización bacteriana son procesos críticos. El hecho de que estos extractos exhiban actividad diferencial contra bacterias Gram-positivas y Gram-negativas sugiere mecanismos de acción versátiles que podrían ser ventajosos para el control de biopelículas polimicrobianas. (Mogollón et al., 2021).

Los extractos metanólicos de hojas de especies de *Solanum* han mostrado actividad antimicrobiana contra *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*⁷. El estudio destacó variaciones en la eficacia antimicrobiana entre diferentes especies de *Solanum*, con extractos de *S. mammosum* y *S. barbeyanum* mostrando actividad particularmente prometedora contra *E. coli*. La presencia de compuestos bioactivos en estos extractos, incluyendo fenoles y flavonoides, probablemente contribuye a sus propiedades antimicrobianas y potenciales efectos anti-biopelícula. Los niveles de compuestos fenólicos totales variaron entre 54 y 286 mg eq. ácido gálico/g, mientras que el contenido de flavonoides osciló entre 18 y 73 mg eq. quercetina/g, indicando concentraciones sustanciales de compuestos potencialmente bioactivos. (Ramón-Valderrama et al., 2020)

Las propiedades antifúngicas de extractos metanólicos también tienen implicaciones significativas para el control de biopelículas fúngicas. Investigaciones sobre *Jatropha platyphylla* revelaron que sus extractos metanólicos y fracciones de alcaloides exhiben actividad inhibitoria contra *Aspergillus parasiticus*. A una concentración de 2 mg/mL, los alcaloides de *J. platyphylla* demostraron 80% de inhibición del crecimiento fúngico después de 48 horas (Leyva-Acuña et al., 2020)

2 Actividad antioxidante de la familia Solanum

Actualmente no hay informes sobre la actividad antioxidante en las hojas de especie *Solanum*, sin embargo, se ha reportado actividad antioxidante en frutos de *S. sensilliflorum* Dunal, *S. quitoense* Lam y *S. Grandiflorum*. Por otra parte, en especies como *S. melongena* y *S. lycopersicum* se reportaron contenidos fenólicos de 106,98 y 659,25 mg eq. Ac. gálico/g, respectivamente; actividad ABTS y FRAP de 166,99 μ mol eq. Trolox/g y 68,9 μ mol eq. Ac. ascórbico/g, respectivamente. (Ramón-Valderrama et al., 2020)

El extracto *S. mammosum* presenta los máximos valores de actividad antioxidante, presentando variaciones en actividad antirradical DPPH (0,01 a 5,2 $\mu\text{mol eq. Trolox/100 g}$), ABTS $\bullet+$ (0,03 a 2,01 $\mu\text{mol eq. Trolox/100 g}$) y reductora FRAP (202 a 887 $\mu\text{mol eq. Ac. ascórbico/g}$). (Ramón-Valderrama et al., 2020)

Tabla 1. Resumen de resultados de Ramón-Valderrama et al., (2020)

Capacidad antirradical DPPH y ABTS de los EMS estudiados, expresada en valores TEAC

Nombre científico	Capacidad antirradical DPPH	Capacidad antirradical ABTS
<i>Solanum mammosun</i>	5.13	2.01
<i>Solanum schlechtendalianum</i>	4.62	1.05
<i>Solanum grandiflorum</i>	2.82	0.78
<i>Solanum jamaicense</i>	1.25	0.3
<i>Solanum senssiliforum</i>	1.17	0.5
<i>Solanum hartwegli</i>	0.5	0.04
<i>Solanum quitoense</i>	0.09	0.7
<i>Solanum candidum</i>	0.01	0.03
<i>Solanum barbeyanum</i>	0.22	0.21
<i>Solanum rugosum</i>	0.29	0.12

La capacidad antioxidante del extracto de *S. betaceum* Cav. (Tomate de árbol) presenta variaciones de acuerdo a diversos factores al que la planta pueda estar sometida, presentando una menor capacidad antioxidante en las partes de la planta que más expuestas a la sombra se encuentran.¹⁸ De igual manera, parece que dicha planta presenta una mayor capacidad antioxidante cuando se le lleva a condiciones de sequía, como indica la investigación de (Ávila, J., & Ruales, J. 2016).

La actividad antioxidante del extracto de *Solanum ferrugineum*, con valores expresados como Cl_{50} fueron similares entre ellos ($p > 0,05$). De entre todas las partes de la planta, las hojas presentaron los menores valores con 8,3, 10 y 14

$\mu\text{g/mL}$ de Cl_{50} , en muestras de BP, PN y LA, respectivamente; mientras que los tallos presentaron contenidos mayores de entre 12,5 a 17 $\mu\text{g/mL}$. La capacidad antioxidante del Hidroxibutiltolueno (BHT) fue de $5,2 \pm 0,01$ de Cl_{50} . (Fernández et al., 2021).

Tabla 2. Resumen de resultados de Fernández et al., (2021)

Capacidad antioxidante en planta completa, hojas y tallos de *Solanum ferrugineum* colectado en tres diferentes localidades. Cada valor representa la media $\pm$ desviación estándar (n=3).

Localidad/órgano	$Cl_{50} \mu\text{g/mL}$
Las agujas	
Hojas	14 ± 0.22
Tallo	17 ± 0.2
Planta completa	15.5 ± 0.2
Parque El Nabo	
Hojas	10 ± 0.23
Tallo	12.5 ± 0.2
Planta completa	11.4 ± 0.23
Bosque La Primavera	
Hojas	8.3 ± 0.24
Tallo	12.6 ± 0.2
Planta completa	11.5 ± 0.25
*BHT	5.2 ± 0.01

3 Fenoles y Flavonoides Totales de la familia *Solanum*

En el estudio de actividad antioxidante y antimicrobiana de extractos metanólicos de hojas de plantas del género *Solanum*. Diez extractos metanólicos del género *Solanum* mostraron alto contenido fenólico evaluado por las metodologías de contenido de fenoles totales y flavonoides totales, indicando que las especies de

Solanum presentan compuestos activos que pueden detener la oxidación de lípidos inhibir reacciones de quimioluminiscencia, capturar especies reactivas de oxígeno y actuar como donantes de hidrógeno o electrones. (Ramón-Valderrama et al., 2020)

Tabla 3. Resumen de resultado de Ramón-Valderrama et al., (2020)

Contenido de fenoles totales y flavonoides totales de los EMS estudiados

Nombre científico	Contenido de fenoles totales	Contenido de flavonoides totales
<i>Solanum mammosun</i>	282	73
<i>Solanum schlechtendalianum</i>	170	37
<i>Solanum grandiflorum</i>	135	27
<i>Solanum jamaicense</i>	70	18
<i>Solanum senssiliflorum</i>	144	33
<i>Solanum hartwegli</i>	71	31
<i>Solanum quitoense</i>	70	21
<i>Solanum candidum</i>	58	26
<i>Solanum barbeyanum</i>	76	23
<i>Solanum rugosum</i>	54	34

Las muestras de extractos de plantas del género *Solanum* presentaron valores de contenido de fenoles totales de 54 ± 1 a 286 ± 8 mg eq. Ac. gálico/g de muestra seca, y flavonoides totales de 18 ± 1 a 73 ± 2 mg eq. Quercetina/g de muestra seca; basándonos en la comparación de medias (prueba de rango múltiples de Duncan con un nivel de significancia del 95 %, los extractos *Solanum mammosun* y *Solanum schlechtendalianum* difieren estadísticamente de los demás en cuando al contenido de fenoles y flavonoides totales, siendo el extracto S. mammosum (SMM) con mayor contenido de flavonoides totales y contenido de fenoles totales. Ramón-Valderrama et al., 2020). Por su parte, se demostró que, en el caso del *Solanum betaceum* Cav. (Tomate de árbol), el contenido de fenoles solubles puede verse afectado por condiciones como el estrés de luz, existiendo una diferencia significativa al realizar una comparación, ($p < 0.05$) entre el tratamiento 5 (70% sombra) y el testigo sin sombra. (Ávila, J., & Ruales, J. 2016).

Tabla 4. Resumen de resultados de Ávila, J., & Ruales, J. (2016)

Contenido de polifenoles solubles totales y parámetros de la capacidad antioxidante de tomate de árbol gigante amarillo sometido a 3 tratamientos de estrés de luz y un testigo.

Tratamiento	PFT (mg EGA/100 g FF)
T₁	65.69 ± 3.35 ab
T₂	65.33 ± 1.04 ab
T₃	61.25 ± 1.57 b
Testigo	67.40 ± 1.83 a

El contenido de fenoles totales en las plantas del género *Solanum* puede ser utilizado en la industria alimentaria debido a las propiedades antioxidantes de estos compuestos. Los fenoles totales, que incluyen compuestos como los flavonoides, han demostrado tener actividad antioxidante, lo que los hace útiles para prolongar la vida útil de los alimentos y para prevenir la oxidación de los mismos. Estos compuestos también pueden ser beneficiosos para la salud humana, ya que se ha demostrado que tienen efectos protectores contra enfermedades crónicas como las enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer. (Moreno et al., 2014).

Diversos estudios han evaluado el contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante en frutas y plantas, incluyendo especies de *Solanum*. Por ejemplo, un estudio encontró que el extracto de curuba (*Passiflora tripartita* var. *Mollissima*) presentó el mayor contenido total de fenoles, y que el extracto de aguacate variedad Hass (*Persea America Mill*) presentó la mayor actividad antioxidante por ciertos métodos.¹⁰ Otro estudio encontró que el tomate de árbol (*Solanum quitoense* Lam.) fue una de las plantas evaluadas con actividad antioxidante. (Ramón-Valderrama et al., 2020)

Por lo tanto, el contenido de fenoles totales en las plantas del género *Solanum* podría ser utilizado en la industria alimentaria para desarrollar productos con propiedades antioxidantes, lo que podría ser beneficioso tanto para la calidad de los alimentos como para la salud de los consumidores. (Moreno et al., 2014).

Justificación

Las biopelículas representan películas a base de polímeros naturales o combinados de polímeros que son utilizadas para diversos fines en aplicaciones comerciales e industriales. Las películas proteicas y las biopelículas de polisacáridos de origen vegetal se utilizan como envolturas comestibles para mantener la calidad y frescos los productos alimenticios. Las biopelículas de almidón se caracterizan por ser más resistentes a la elongación y menos rígidas comparadas con las películas formadas a partir de compuestos sintéticos, los cuales pueden tener un uso limitado en la industria de alimentos, además de que hoy en día es muy importante el reciclaje y la disminución de contaminantes.

En este contexto, el almidón de maíz es un biopolímero renovable y biodegradable que ha demostrado ser una excelente base para la fabricación de biopelículas. Sin embargo, su resistencia mecánica y estabilidad térmica pueden mejorarse mediante la incorporación de aditivos funcionales. Por otro lado, diversas especies del género *Solanum* han mostrado un alto contenido de compuestos fenólicos con actividad antioxidante, lo que los convierte en candidatos ideales para mejorar las propiedades de los biopolímeros. En el presente estudio, se propone el aprovechamiento de *Solanum hirtum* Vahl, una especie poco estudiada, con el objetivo de evaluar su potencial como fuente de antioxidantes para biopelículas biodegradables.

Objetivos

General

Evaluar la actividad antioxidante y el contenido de fenoles totales en extractos de *Solanum Hirtum* Vahl, y determinar su efecto en biopelículas de almidón de maíz (*Zea Mays*) mediante técnicas analíticas con el fin de analizar sus propiedades térmicas y su posible aplicación en materiales biodegradables.

Específicos

- Cuantificar el contenido de fenoles totales en extractos acuosos y metanólicos de *Solanum Hirtum* Vahl mediante el método de Folin-Ciocalteu.
- Determinar la actividad antioxidante de los extractos utilizando el método de captura de radicales libres DPPH.
- Evaluar la estabilidad térmica de las biopelículas obtenidas mediante análisis termogravimétrico (TGA).
- Comparar las propiedades de la biopelícula para determinar el impacto de los compuestos fenólicos en su desempeño estructural.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

1 Biopelículas en la industria de alimentos

La película comestible (PC) consiste en una capa de sustancia que se puede ingerir, la cual se genera mediante un proceso de calentamiento y se coloca sobre una superficie para su utilización. Este material puede incluir polisacáridos, combinaciones de proteínas, varios lípidos o una mezcla de alguno de estos componentes. En la película, los ingredientes se utilizan para extender la duración de los productos, reducir las reacciones metabólicas, facilitar la comercialización y distribución de alimentos, retardar el crecimiento de microorganismos y actuar como una barrera para disminuir la respiración y mantener la calidad, con el objetivo de evitar o reducir el movimiento de agua, oxígeno, CO₂, olores, entre otros, así como la difusión de alimentos semipermeables (Moya, 2023).

Las biopelículas son como la gran vida de las bacterias y los hongos, donde los organismos unicelulares llevan una vida multicelular corta. Una característica distintiva de las biopelículas es la formación de una matriz extracelular o EPS (sustancias poliméricas extracelulares), que crea una capa gruesa que cubre las células microbianas, protegiéndolas de los fármacos antimicrobianos y de la respuesta inmune del huésped (Taimal, 2021).

Los compuestos poliméricos que se utilizan para fabricar películas biodegradables pueden originarse de recursos naturales (como proteínas, almidón, lípidos, quitosano, entre otros) o de orígenes sintéticos (como el ácido poliláctico y los polihidroxialcanoatos). Su diseño tuvo como propósito aumentar la conservación del alimento, servir como vehículos de nutrientes, antioxidantes o elementos antimicrobianos, optimizar el transporte de grasas y agua, además de facilitar el movimiento de gases y disolventes. Las particularidades físicas y mecánicas del producto alimenticio deben garantizar una manipulación segura y prevenir daños, sin alterar el color, la textura y el aroma del alimento.

Es un film que envuelve los comestibles y simplifica su manejo, su objetivo es preservar la frescura de los productos envasados, impedir la evaporación de agua,

evitar alteraciones en la forma y retardar las reacciones químicas que afectan el color, el aroma o el valor nutritivo de los alimentos. Asimismo, funciona como una barrera al intercambio de gases, lo que puede impactar significativamente la consistencia del alimento vinculado a la oxidación de grasas, vitaminas y colorantes; optimizando la perdurabilidad microbiológica y prolongando la vida útil de fruta y verdura (Cornejo et al., 2020).

1.1 Recubrimiento

Los términos "recubrimiento comible" y "películas comibles" se utilizan de forma equivalente para referirse a la utilización de capas delgadas y comestibles sobre los alimentos con el objetivo de salvaguardar y mantener su calidad, además de evitar su deterioro rápido en productos que son susceptibles a la descomposición. No obstante, se diferencian en el método de adquisición y utilización del producto. RC constituye una matriz continua delgada que es aplicada a la superficie de los productos alimenticios mediante la pulverización o vaporización de la película resultante. Por otro lado, los PC son moldes preformados obtenidos por fundición, que son significativamente más gruesos que los RC. Se utilizan en la superficie o como separador entre diferentes partes del alimento después del procesamiento (Taimal, 2021).

La película o revestimiento es un tipo de material empleado para cubrir una variedad de productos alimenticios con el fin de prolongar su durabilidad y permitir su consumo en conjunto con los alimentos. Habitualmente, su espesor no supera los 0,3 mm (Mora et al., 2021). Un recubrimiento comestible (EC) se caracteriza por ser una capa delgada de alimento que se obtiene al recubrir el producto alimenticio con él. Por otro lado, una PC se define como una película delgada fabricada a partir de un producto alimenticio que puede ser colocada sobre el producto alimenticio o entre sus contenidos. En ocasiones, las películas y las portadas se emplean como sinónimos; sin embargo, se distinguen en su aplicación.

En términos fundamentales, las películas se elaboran y se separan de los productos alimenticios, y posteriormente se aplican a los mismos. En contraste, las tripas comestibles se fabrican directamente sobre la superficie de los productos

alimenticios mediante presión o pulverización (Moya, 2023). El propósito primordial de las películas y recubrimientos diseñados para alimentos es regular el flujo de gases como oxígeno, dióxido de carbono y etileno, al igual que olores y grasas presentes en los alimentos, evitando así la disminución de textura y sabor. De esta manera, se enfocan en su respiración y maduración, conservando su calidad y prolongando tanto su vida útil como su seguridad. Asimismo, ayudan a mejorar la apariencia y calidad del alimento que cubren, haciéndolo más atractivo para los consumidores debido a su brillo, tonalidad y a la reducción del crecimiento de microorganismos en su superficie.

Estos recubrimientos comestibles son cubiertas vegetales con una o más capas delgadas de materiales naturales y comestibles elaborados a partir de biopolímeros naturales de alta calidad que pueden obtenerse de recursos naturales o extraerse de productos agroindustriales. Entre estos ingredientes, la clave es encontrar ingredientes más naturales y reducir su uso. Al crear polímeros biodegradables, es posible reemplazar los polímeros sintéticos debido a sus propiedades únicas. La distinción entre el film y el recubrimiento comestible se encuentra en la manera en que se elabora y se emplea el alimento. El film consiste en una delgada capa de componentes elaborados que se instala sobre la superficie para su posterior utilización. En cambio, el recubrimiento se pone sobre la superficie del alimento al sumergirlo en una mezcla o al pulverizarlo (Moya, 2023).

1.2 Composición de los recubrimientos comestibles

Los componentes que forman la cáscara de los alimentos se dividen en tres tipos: hidrocoloides, que incluyen proteínas y polisacáridos, lípidos y otros compuestos. Aunque las proteínas y los polisacáridos son los más utilizados en los métodos esenciales, se utilizan ciertos aditivos para reducir la blandura, garantizar la adherencia de los materiales a la superficie y mejorar la adhesión. Estos aditivos pueden ser disueltos en agua, alcohol o una combinación de disolventes acuosos y alcohólicos. Además de funcionar como una barrera neutral para extender la durabilidad de los alimentos, las biopelículas pueden tener un efecto beneficioso sobre los alimentos que cubren y su medio ambiente, convirtiéndose así en un

considerable agente cosmético. Es posible incorporar aditivos alimenticios tales como agentes antimicrobianos, sabores, colorantes, agentes antipardeamiento y otros ingredientes pertinentes (Moya, 2023).

La creación de biopelículas puede estar vinculada a la liberación gradual de otros elementos (tales como antimicrobianos y agentes autooxidantes) que podrían retardar el deterioro de los alimentos y eliminar o destruir sustancias indeseadas que pueden prolongar la durabilidad de los productos alimenticios. Hay distintos tipos de compuestos activos que pueden ser añadidos a las biopelículas, como los ácidos orgánicos (por ejemplo, ácido benzoico, ácido propiónico, ácido láctico, ácido sórbico y ácido acético), así como ácidos grasos, ésteres, polipéptidos y aceites esenciales (por ejemplo, los de canela, orégano y schisandra) (Taimal, 2021).

Los films se pueden crear utilizando una variedad de polisacáridos, proteínas y grasas, ya sea por separado o junto a otros, para maximizar las cualidades de cada componente. Estos materiales pueden ser mezclados con diferentes plastificantes y emulsificantes sintéticos para mejorar las propiedades finales del film o recubrimiento. Cuentan con ventajas como ser comestibles, firmes, translúcidos y presentan propiedades especiales como la resistencia al oxígeno y al agua (Montes, 2022).

Los polímeros, como las proteínas y los carbohidratos complejos, crean estructuras moleculares que se unen mediante enlaces fuertes entre sus componentes. Esta unión les otorga propiedades mecánicas y una resistencia al paso de gases como O₂ y CO₂, lo que acelera la respiración y el deterioro de frutas y verduras. Los carbohidratos complejos son los hidrocoloides más comunes en el sector alimentario, ya que representan la mayor parte de la formulación que existe en el mercado actual. Sin embargo, presenta una desventaja: tienen afinidad por el agua, lo que impide su eficacia en la conservación de la humedad. Los materiales empleados en la fabricación de recubrimientos para alimentos abarcan pectinas, tanto de alto metoxilo como de bajo metoxilo, celulosa y sus derivados, alginato, quitosano, dextrina, carragenina y goma arábiga, entre otros. (Mayhuire et al., 2019).

1.3 Matriz estructural

- Para elaborar la matriz, se pueden emplear compuestos hidrocoloides (polisacáridos y proteínas), los cuales suelen provenir de diferentes plantas como el maíz, el trigo, la papa, la batata, el azúcar, la remolacha, entre otras. Estas macromoléculas generalmente se emplean en mezclas que posibilitan maximizar los beneficios posibles de cada bioelemento (Adeyeye et al., 2019).
- Matrices derivadas a partir de polisacáridos. Los polisacáridos, compuestos obtenidos mediante la mezcla de diversas moléculas de azúcar, poseen una magnífica defensa frente a gases como el O₂ y CO₂ (que deterioran los alimentos). No obstante, al ser compuestos hidrófilos, son extremadamente susceptibles a la humedad (un factor crucial en la disolución de los alimentos), lo que los transforma en matrices restringidas. Respecto a las características mecánicas, pueden ser influenciadas por la recuperación alcanzada por ciertos polímeros (almidón natural). Los polisacáridos vegetales que forman biopelículas se encuentran en almidón, celulosa y sus derivados, pectina y gomas como la arábica, guar y xantana (Bharti et al., 2020).
- Matrices derivadas de proteínas. Los componentes nutricionales que se encuentran en el trigo, la soja, el maní, el maíz y las semillas de algodón son ampliamente utilizados en la producción de biopelículas, ya que ofrecen una resistencia mecánica mayor y propiedad de barrera superiores frente a los gases en comparación con los polisacáridos. No obstante, su capacidad para resistir la humedad es bastante baja. Este obstáculo puede ser abordado modificando la proteína mediante métodos químicos y enzimáticos (Calva et al., 2019).
- Matrices articulares. Las matrices exclusivamente basadas en polisacáridos o proteínas suelen presentar ciertas dificultades al ser empleadas como agentes de biopelícula. Por lo tanto, con el objetivo de aprovechar las características de cada elemento, se han logrado múltiples combinaciones entre diferentes clases de polímeros naturales (como polisacárido-proteína,

proteína-proteína, polisacárido-lípido, entre otros), lo que ha llevado a la creación de biofilms con características mecánicas y de protección notablemente optimizadas. No obstante, estas cualidades no solo se basan en los biopolímeros empleados como matriz, sino que también exigen biocompatibilidad entre estos (Hammam, 2019).

1.1.2 Aditivos plastificantes, emulsionantes y reticulantes.

- **Plastificantes.** Los defectos en las características mecánicas de Bio -Belt, como la rigidez, la fragilidad, la porosidad, el agrietamiento, se pueden evitar agregando suavizantes. Estos compuestos higroscópicos reducen la interacción entre las moléculas de polímero (propiedades de barrera para gas). Por lo tanto, en relación con la matriz estructural, facilitan la adquisición de material elástico, estable y elástico (Miller et al., 2020). El glicerol, el glicol, el sorbitol, la sacarosa, el polietilenglicol, el manitol, el monoglicérido acetilado, el polietilenglicol y el xilitol son frecuentemente utilizados en una bioópula como agentes suavizantes. No obstante, estos aditivos pueden afectar de manera adversa la permeabilidad al agua y las cualidades de barrera de gas. Por ello, es fundamental considerar detenidamente el tipo y la fluidez del plastificante que será empleado para formular el estilo biográfico (Bolívar et al., 2019).
- **Emulsionantes.** Los agentes emulsionantes son comúnmente utilizados debido a su capacidad para conservar la probidad de la biopelícula. Estos compuestos, que consisten principalmente en una porción que atrae el agua (normalmente un ácido graso de cadena larga) y otra que también puede atraer agua y presentar carga, son cruciales en la producción de biopolímeros homogéneos (combinaciones de proteína y lípido, así como de polisacárido y lípido), ya que promueven la formación de mezclas de aceite y agua, actuando como dispersantes de lípidos (Metych, 2019).
- **Reticulantes o reticuladores.** Estos son los compuestos empleados para fortificar la organización interna de la red de polímeros, puesto que promueven la unión intermolecular o intramolecular de dos o más

componentes a través de un enlace covalente, otorgando así una mayor fortaleza frente a las tensiones y alteraciones.

1.1.1 Componentes activos

Incluyen múltiples sustancias que se utilizan para frenar el avance y la proliferación de organismos microscópicos que causan la descomposición de los alimentos. Los conservantes más comunes son los ácidos orgánicos (benzoato, propionato, sorbato, acetato) y también los ácidos obtenidos de diferentes vegetales (compuestos fenólicos y aceites aromáticos). Sin embargo, dependiendo de la especie, el género, la variedad y la naturaleza de los microorganismos, ciertos agentes pueden resultar más efectivos que otros (Uquillas, 2021).

Solventes

Los componentes ácidos, bases, sustancias anfóteras o farmacéuticas, comúnmente agua, disuelven otras sustancias para generar una solución. Los disolventes habitualmente empleados incluyen compuestos orgánicos tales como hidrocarburos, alcoholes, ésteres, éteres, cetonas, aminas y nitratos, además de compuestos inorgánicos como el agua (Uquillas, 2021).

Recubrimiento utilizado en productos alimenticios.

El recubrimiento comestible se refiere a la cobertura de una planta con una o más capas finas de materiales poliméricos naturales comestibles. Estos se emplean en estado líquido a través de la pulverización o nebulización, generando una película sobre el alimento (León et al., 2021). El procedimiento de recubrir frutas y verduras con film transparente se presenta como una estrategia prometedora para disminuir las pérdidas postcosecha. Estas protecciones se incorporan en su fabricación con el propósito de prevenir el intercambio de gases, salvaguardar los productos alimenticios por sus propiedades mecánicas, minimizar las pérdidas alimentarias y organolépticas, no alterar las propiedades físicas y químicas, y proporcionar protección antimicrobiana. (Pico et al., 2023).

Actualmente, las cubiertas sirven a diversos fines y presentan atributos que protegen los artículos, a la vez que capturan y comunican detalles al consumidor.

El material empleado ha progresado desde hojas de palma o plátano hasta un papel de varias capas que no necesita ser refrigerado ni requiere técnicas adicionales o expertos específico (Escobar, 2020). Debido a las alteraciones a lo largo del tiempo en los materiales usados para crear dispositivos de protección y alimentos, se dividen en tres categorías distintas:

Generación inicial: Incorpora materiales que se emplean como bolsas de compras fabricadas con polietileno de baja densidad, con un porcentaje de fibra de almidón del 5 al 15%, junto con aditivos prooxidativos y autooxidativos, moléculas de etapa lenta y no biodegradables.

Segunda generación: productos obtenidos al fusionar un 40-75% de almidón y polietileno de baja densidad, añadiendo copolímeros hidrófilos como el alcohol polivinílico y el acetato de vinilo, que funcionan como estabilizadores. La descomposición completa del almidón requiere alrededor de 40 días, mientras que la descomposición final de la película puede extenderse de 2 a 3 años. Las características físicas de estos envases hacen que se cuestione la fiabilidad de su descomposición esperada, lo que explica su falta de aceptación en la industria comercial.

Generación Tercera: Los recursos utilizados se fracciona en 3 categorías: a) polímeros obtenidos de fuentes biológicas, b) polímeros resultantes de la elaboración química de monómeros de origen biológico, y c) biopolímeros que provienen de organismos naturalmente alterados (Robertson, 2008). En este inventario más actual se incluyen materiales de origen natural como proteínas, grasas, almidones, y más.

No se debe dañar para prevenir inconvenientes de salud del consumidor. Estos componentes pueden estar formados por hidrocoloides (polisacáridos o proteínas), sustancias hidrofóbicas (lípidos o cera), o una mezcla de los dos, lo que facilita las características de cada categoría y su colaboración. Según los materiales empleados en los neumáticos, se establecerá las características mecánicas y de defensa contra el vapor de agua, O₂, la acción antimicrobiana y el CO₂ (Taimal, 2021).

2 Técnicas para la aplicación de biopelículas

2.1 Métodos de aplicación del recubrimiento comestible (RC)

Inmersión: Se habla de la utilización de envolturas comestibles mediante la inmersión de los alimentos en una mezcla diseñada para crear una película. Se debe poner una porción de alimento en una mezcla de cobertura. Este método abarca dos fases (Iguasnia, 2020):

Técnica Inmersión: implica el uso de matrices comestibles a través de la incorporación de alimentos en una solución filmógena hecha. Principalmente se aplica a productos de diversas texturas y necesita una capa homogénea y de gran grosor. Es fundamental purificar y deshidratar el artículo que se va a tratar, y después de retirar la solución, debe dejarse drenar el desproporción de líquido para obtener una biopelícula consistente. El método más común es la técnica manual, que puede usarse para crear una capa uniforme. Por lo tanto, es necesario que la semilla sea previamente lavada y secada, sellada directamente en forma de biofilm, separando los elementos clave y continuando con la sección. Este procedimiento es ampliamente empleado en biopelículas o recubrimientos comestibles para calentar toda la fruta y asegurar su secado total, generando de esta manera una fina película en la superficie de la fruta o la planta.

Técnica Spray: Este enfoque implica el uso de una solución filmogénica que se aplica mediante presión, permite crear recubrimientos comestibles que son más delgado y uniforme. Se utiliza en alimentos con una superficie suave o para distinguir un componente con diferentes niveles de humedad en productos combinados, como en preparaciones como pizzas y otros.

En la etapa inicial, se introduce el material base en la mezcla de recubrimiento por un período determinado, garantizando que la cantidad de mezcla limpie adecuadamente el material base y evite el contacto con la capa de recubrimiento. La técnica de precipitación se emplea para aplicar delgadas capas de solución precursoras en la superficie de los alimentos. El agua en exceso se retira de la superficie y se elimina mediante sedimentación. Durante la fase de evaporación, el

disolvente y el agua sobrante se extraen de la superficie de los alimentos mediante un proceso de calentar y secar (Kumar et al., 2020).

El artículo se deja secar a temperatura ambiente o mediante el uso de una secadora sin la tapa superior. Se ha evidenciado que el grosor de la película de agua recubierta varía de acuerdo con las propiedades del recubrimiento final, como la densidad, la viscosidad y la tensión superficial. Este proceso se aplica principalmente a artículos con diversas texturas que necesitan una cobertura uniformemente distribuida. Es fundamental limpiar y secar el artículo antes de guardarlo, y al sacarlo de la solución, permitir que el líquido sobrante escurra para lograr una capa homogénea (Taimal, 2021).

2.2 Técnica para Película Comestible (PC)

Técnica Casting: El resultado de este proceso es un crecimiento biológico o una capa. Es esencial lograr una distribución homogénea de biomoléculas (como proteínas, polisacáridos y lípidos) junto con agua. Luego, esta mezcla se adhiere a una superficie hecha de un material inerte (como acero inoxidable) y la dejan secar para crear una sustancia biológica (Taimal, 2021). La velocidad de secado, la temperatura y la humedad son factores que afectan la calidad del resultado (como transparencia, densidad y propiedades mecánicas), así que deben controlarse de forma adecuada. Después de secarse, se forma una extensa biopelícula que se desintegra y recubre los alimentos industrializados (Iguasnia, 2020).

2.3 Preservación de frutas y hortalizas mediante recubrimientos comestibles

La técnica para mantener la frescura de frutas y verduras implica formar una barrera que restringe los gases. Esto modifica el entorno interno de la fruta, lo que ayuda a demorar su maduración y el proceso de descomposición. La utilización de biopelículas o recubrimientos derivados de polisacáridos ha promovido un notable avance en el sector alimentario. Así, entre los polisacáridos que se usan comúnmente para producir películas para alimentos y otros artículos comestibles, este proporciona una amplia gama de aplicaciones y una diversidad de producto.

Los biofilms o recubrimientos se generan a partir de celulosa, almidón, quitosano, alginato, carragenina, pectina, entre otros (Escobar, 2020).

Por ser sencillos de fabricar, económicos, llenos de saber, no tóxicos y de fácil conservación, resultan interesantes para cubrir las demandas de la agricultura sustentable (Iguasnia, 2020). En años recientes, a raíz de un extenso estudio sobre este asunto, han surgido en el mercado varios tipos de revestimientos alimentarios y biopelículas destinados a preservar frutas, ya sean cortadas o en su totalidad. Estos procedimientos pueden obstaculizar la respiración, restringir la cantidad de agua y otorgar otras funciones, lo que podría resultar en resultados positivos.

Actualmente, se emplean diversas partes en diversas frutas y vegetales, como el empleo de componentes comestibles en el mango, lo que resulta en una reducción del peso y perjuicio a las características sensoriales, e impide el desarrollo de microorganismos. De forma parecida, las investigaciones han evidenciado que las cebollas verdes extienden su vida útil; disminuyó la pérdida de peso postcosecha y generó una cáscara uniforme, transparente y compacta, suprimiendo de esta manera la necesidad de empaques plásticos y potenciando las ganancias e ingresos de los cultivadores (Iguasnia, 2020).

3 Almidón

Es la fuente principal de energía en las plantas y se compone de moléculas de glucosa que están contenidas en pequeñas estructuras conocidas como gránulos. Su tamaño varía según el tipo de planta. Las D-glucopiranosas están formadas, principalmente, por enlaces glucosídicos y consisten en dos polímeros que se distinguen por la forma en que cada gránulo se une (Cando, 2021). El almidón es fundamental para la producción de biopelículas que son tanto comestibles como biodegradables. Las papas, frutas, hortalizas, semillas, entre otros, son las principales fuentes de almidón. Estos biopolímeros son más atractivos debido a su bajo costo, tamaño y relevancia, que cambian según la naturaleza de la materia prima. La calabaza es una de las hortalizas con mayor contenido de almidón.

La modificación del almidón ha sido empleada durante un extenso período para optimizar sus propiedades; puede ser de naturaleza física, química o enzimática.

Habitualmente, los ingredientes óptimos para emplear con estas modificaciones son los espesantes, emulsionantes y estabilizadores. No obstante, es crucial destacar que tienen la capacidad de alterar las propiedades funcionales del almidón (Olivero et al., 2020).

3.1 Composición del almidón

Amilosa

Se compone de moléculas de glucosa conectadas, lo que da lugar a la creación de largas cadenas moleculares. Su principal característica es que es soluble en agua y presenta una estructura en forma de doble hélice, donde cada tramo de la hélice está compuesto por seis unidades de glucosa (Cando, 2021). Los enlaces de hidrógeno presentes en las hélices contribuyen a que la amilosa sea poco soluble en agua, permitiéndole interactuar con ácido graso libre, componente glicérido del ácido graso, yodo y ciertos alcoholes. En contraste, las cadenas de almidón se unen por medio de enlaces de hidrógeno para constituir una doble hélice que se descompone al ser expuesta al calor (Gavilanes, 2021).

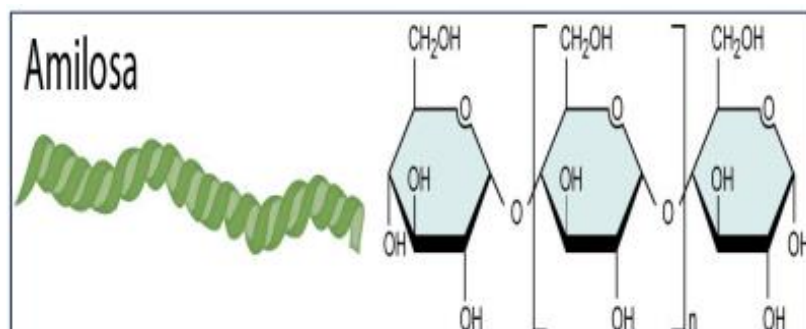


Figura 1. Estructura de la Amilosa (Cando, 2021)

Amilopectina

En virtud de su elevado peso molecular, la cantidad de material que puede ser absorbido rápidamente por el estómago es considerablemente reducida. En realidad, se descompone con mayor rapidez en comparación con el azúcar o la maltodextrina (Cando, 2021). Se trata de una molécula de almidón de tamaño medio, peso molecular medio y ramificaciones laterales cortas, constituida por diversos anillos de glucosa que se unen por medio de enlaces glucosídicos α 1-6.

Su peso molecular es superior al de la molécula de amilosa y es insoluble en agua a elevada temperatura. La mayoría de los almidones contienen aproximadamente el 75% de amilopectina, conocida como almidón ceroso (Gavilanes, 2021).

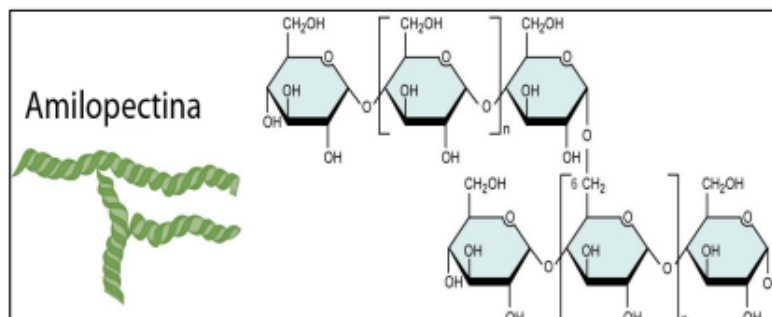


Figura 2. Estructura de la Amilopectina (Cando, 2021)

4 Solanum Hirtum Vahl

Solanum hirtum Vahl, comúnmente referida como una planta de la familia de las solanáceas, es una especie vegetal. Se desarrolla de manera natural en regiones de América Latina y en el continente africano. En la medicina tradicional, diferentes partes de *Solanum hirtum* se emplean para abordar problemas dermatológicos, afecciones respiratorias, malestares abdominales y otros propósitos. Aparte de sus capacidades curativas, *Solanum hirtum* también ha despertado la curiosidad en el ámbito de la investigación, gracias a sus compuestos fenólicos y su actividad antioxidante (Jaime & Alvarez, 2022).

Los fenoles son sustancias activas que se encuentran en el reino vegetal y que han mostrado tener efectos beneficiosos para la salud humana. Estos elementos tienen la capacidad de actuar como agentes antioxidantes, ayudando a proteger contra los radicales libres y salvaguardando las células del daño por oxidación. En el campo de los biopolímeros y materiales que se descomponen de forma natural, la adición de fenoles de plantas como *Solanum hirtum* puede ofrecer beneficios significativos. Los antioxidantes derivados de esos fenoles pueden mejorar la longevidad de los materiales biodegradables, extendiendo su duración y resistencia a la degradación provocada por factores naturales como la luz solar, el O₂ y el calor.

La actividad antioxidante de los fenoles puede ayudar a proteger los biopolímeros del daño durante la oxidación, lo que puede extender la vida de los materiales y conservar sus propiedades físicas y químicas. Además, los compuestos fenólicos de plantas como *Solanum hirtum* pueden tener efectos antimicrobianos, lo que ayuda a prevenir el crecimiento de microorganismos en materiales biodegradables, promoviendo así su conservación. Así, la presencia de fenólicos con actividad antioxidante en extractos de *Solanum hirtum* Vahl puede ser de gran beneficio en el desarrollo de biopelículas y materiales biodegradables al brindar protección, estabilidad y sostenibilidad, contribuyendo a la sostenibilidad y eficacia de estos materiales.

4.1 Descripción botánica

La hierba es erecta, ramificada, con espinas en los pecíolos, hojas y tallos; Altura de 0,80 a 1 m. Su raíz es radicular, el tallo es cilíndrico, ramificado, pubescente. Las hojas son pecioladas, generalmente lobuladas, de forma irregular; La punta es afilada, los lados son dentados, con un color verde más brillante en la superficie superior y venas en ambos lados. La inflorescencia es axilar, con flores de color blanco violáceo, sobre un pedúnculo, el cáliz es acampanado-lobulado, muy piloso; El fruto es carnoso, esférico, de unos 2 cm de diámetro, ligeramente aplanado por ambos lados, de color amarillo verdoso cuando no está maduro y amarillo anaranjado cuando está maduro; Está cubierto de pelo largo y suave.

La planta crece con mayor frecuencia en México, así como en las regiones del norte de Colombia y Venezuela. Un árbol pequeño, una espina y un fruto diminuto; la corteza y el interior son de color amarillo, y su sabor es dulce. Se cultiva en campos abiertos que reciben luz solar directa, siendo resistente a los nematodos del tipo *Meloidogyne* sp. Esta planta es un arbusto perenne que se origina en el norte de México y Sudamérica. Esta variedad pertenece al subgénero *Leptostemonium*, sección *Lasiocarpa*. Todas las variedades de esta clasificación dentro del género se caracterizan por ser andromonodocias, aunque la cantidad y proporción de flores masculinas difieren entre las diversas especies (Ramirez et al., 2024).

4.2 Clasificación

1.1.2 Raíz

Se caracteriza por su pivotación, fibrosis y superficialidad, penetrando en el suelo a una profundidad de 40-50 cm; exhibe el desarrollo de raíces laterales.

1.1.3 Tallo

Arbusto semileñoso, vigoroso y cilíndrico. Cuando es joven es verde y jugosa. Luego se vuelve de madera y negro (padre). A veces crece recto y a veces se ramifica desde el tronco, formando ramas que crecen radialmente. Dependiendo de la variedad puede tener espinas. Las ramas pueden tener unos 5 cm de diámetro, son fibrosas, resistentes, con pelos que le dan un aspecto aterciopelado, que desaparece al madurar; Al igual que el tronco, las ramas son verdes y carnosas cuando son jóvenes, pero se vuelven negras cuando maduran. Están disponibles con o sin púas, según el tipo.

1.1.4 Hojas

Son palmeada y alterna, formando un ángulo hacia abajo para optimizar la captura de luz durante la fotosíntesis; tienen una forma oblonga y ovalada. Las nervaduras son prominentes y de un tono morado en su etapa juvenil, volviéndose cafés o amarillas pálidas al madurar. La parte superior de la hoja es de un verde intenso, mientras que la parte inferior es de un verde más claro, con una textura vellosa que les da un acabado aterciopelado. Estas hojas son grandes y pueden medir hasta 50 cm de longitud y 35 cm de ancho, variando su tamaño según la cantidad de sombra a la que están expuestas. Las espinas, si están presentes en las hojas, se ubican en las nervaduras tanto de la cara superior como inferior.

1.1.5 Flores

Las flores poseen características hermafroditas y se agrupan en una inflorescencia de tipo escorpioide con un racimo en forma de hoz. Una inflorescencia indefinida se distingue por tener pedúnculos de diferentes longitudes, todos ubicados en un plano casi uniforme. La flor se compone de cinco partes, siendo perfecta, es decir, cuenta con cinco pétalos y cinco sépalos. Dentro de la inflorescencia se pueden

encontrar tres variedades de flores: larga, mediana y corta. El ovario es grande, con dos lóbulos, cubierto de pelitos y presenta un color amarillo.

El estigma muestra una combinación de verde y amarillo. Las anteras son grandes y amarillas, con una abertura en la parte superior. Los sépalos tienen pelitos y son de un color púrpura. En cuanto a los pétalos, son blancos en la parte superior y morados en la inferior. En promedio, el número de flores en una inflorescencia varía de 5 a 10, representando un porcentaje de 16%. Estas inflorescencias se encuentran en las axilas de las ramas y en la parte inferior.

1.1.6 Fruto

Fruto esférico cubierto de tricomas amarillos o rojos que desaparecen a medida que el fruto madura; y se puede quitar fácilmente durante el montaje. La piel es de color amarillo oscuro o naranja cuando está madura. La pulpa es de color verde claro, rica en semillas, pH 3,6-4,6 (ácido). El número medio de semillas en un fruto es de 800. Los frutos pueden alcanzar los 8 cm de diámetro y pesar entre 80 y 100 g. Una vez que comienza la fructificación, la planta continúa dando frutos y la planta suele tener diferentes etapas de crecimiento: botones florales. Flores y frutos.



Figura 3. Frutos Solanum Hirtum Vahl.

4.3 Distribución compuestos químicos presentes en sus hojas

Las hojas son numerosas, palmadas, elípticas y otras, con un ángulo de inserción descendente y variados tamaños, con el objetivo de optimizar la utilización de la luz y facilitar la representación gráfica. Su tonalidad oscila entre el negro y el verde medio, con marcadas venas moradas en la superficie superior y blanco o morado en la inferior. Las hojas jóvenes exhiben una abundancia de tricomas de tonalidades rojas o moradas; el peciolo, carnoso y revestido de pelos, ostenta una longitud que oscila entre 10 y 15 cm (Lagos, 2011).

Es crucial subrayar que las hojas constituyen el segmento más susceptible de la planta, respondiendo a las condiciones ambientales, por lo que sus atributos morfológicos fluctuarán en función del entorno en el que se hallen. Dado que las abejas no son omnívoras, las hojas frecuentemente presentan idioblastos que contiene cristal de oxalato de calcio, lo que representa una defensa natural frente a los herbívoros (Lagos, 2011).

Las hojas se distinguen por la presencia de tricomas no glandulares, idioblastos con oxalato de calcio, densidad compacta en empalizada de parénquima, cloroplastos circundantes al mesófilo en la tipología de hoja característica de la planta C-3, y hojas hipostomáticas con un valor máximo de 125 estomas.mm-2. Este último tipo puede presentar variaciones significativas debido a su vinculación con cambios ambientales que implican alteraciones en la naturaleza. Sin embargo, la altura de las hojas de una misma especie vegetal puede variar considerablemente, lo cual se interpreta como una respuesta al cambio climático o al estrés (Lagos, 2011).



Figura 4, Hojas de Solanum Hirtum Vahl.

5 Extracto de hojas

Métodos de extracción y principios básicos

La obtención de sustancias activas de las hojas de Solanum hirtum Vahl puede llevarse a cabo a través de diversas técnicas, entre la que se incluye la extracción con disolventes orgánicos y la maceración. Se procederá a una descripción concisa de ambos tipos:

Extracción mediante disolventes orgánicos: conlleva la utilización de disolventes orgánicos tales como metanol, etanol, acetona, entre otros, para la extracción de los componentes activos de las hojas de Solanum hirtum. Este objetivo se alcanza mediante el contacto directo de las hojas secas y trituradas con un disolvente orgánico en un contenedor apropiado. Posteriormente, la mezcla se agita y se deja

reposar durante un período de tiempo para facilitar la extracción de los ingredientes. Posteriormente, se procede a filtrar la solución con el objetivo de separar el extracto de la planta (Jaime & Alvarez, 2022).

Máquina de corte. Este procedimiento implica que las hojas de *Solanum hirtum* se someten a maceración en un disolvente apropiado, tal como agua o alcohol, durante un período de tiempo específico para asegurar la liberación de los compuestos activos. A lo largo del procedimiento de maceración, es crucial agitar la mezcla para facilitar la extracción de los componentes. Una vez acabado la etapa de maceración, se procede a la filtración de la mezcla con el objetivo de obtener el extracto requerido.

En relación con las fuentes identificadas en las hojas de *Solanum hirtum* Vahl, se ha identificado la presencia de compuestos fenólicos, alcaloides, saponinas y flavonoides, los cuales le confieren atributos antioxidantes, antiinflamatorios y antimicrobianos, entre otros (Morillo et al., 2019). Estos compuestos son los responsables de las ventajas sanitarias vinculadas a esta especie vegetal. Es crucial considerar que antes de emplear cualquier sección de *Solanum hirtum* con propósitos terapéuticos, se debe consultar con un profesional médico para establecer el método y la ruta de administración apropiados.

6 Compuestos bioactivos presentes en extractos

Solanum hirtum Vahl, es una especie vegetal que pertenece a la familia de las solanáceas, cuya procedencia se localiza en las regiones continentales y subtropicales de América. Esta instalación ha sido objeto de estudio debido a su factibilidad y aplicación en la producción de biomateriales (Morillo et al., 2019). Los extractos de *Solanum hirtum* Vahl contienen diversos compuestos bioactivos:

Alcaloides: La solazonina y la solasodina, alcaloides presentes en *Solanum hirtum* Vahl, poseen propiedades farmacológicas y biológicamente activas.

Las saponinas, compuestos de naturaleza glucosídica, se hallan presentes en *Solanum hirtum* Vahl. Estas sustancias poseen características emulsionantes, antiinflamatorias y antioxidantes.

Cannabinoides. Los flavonoides, compuestos de naturaleza polifenólica, desempeñan un papel antioxidante y poseen propiedades antiinflamatorias y neuroprotectoras. *Solanum hirtum* Vahl se identifica por la presencia de flavonoides tales como la quercetina y la rutina.

Los taninos: Los taninos, compuestos fenólicos presentes en *Solanum hirtum* Vahl, poseen características antioxidantes, antiinflamatorias y antitumorales notables.

Polisacáridos: Se ha identificado que los polisacáridos de *Solanum hirtum* Vahl poseen características biocompatibles y son aptos para ser empleados en la fabricación de biomateriales destinados a propósitos médicos.

La obtención de extractos ricos en estos compuestos bioactivos de *Solanum hirtum* Vahl puede realizarse mediante una variedad de técnicas, tales como la extracción con disolventes orgánicos (como metanol, etanol o cloroformo), la extracción con agua caliente, la recolección mediante ultrasonidos o la extracción con agua supercrítica. Estos procedimientos facilitan el acceso a componentes cruciales de compuestos bioactivos en la planta para su estudio y aplicación en la generación de biomateriales con características bioactivas (Jaime & Alvarez, 2022).

7 Compuestos fenólicos y su importancia

Las circunstancias ecofisiológicas son un aspecto clave para lograr el éxito en cualquier cultivo, puesto que pueden tener un impacto en un proceso como la transpiración, la fotosíntesis y la producción general. La expresión fenológica se afecta por la condición ambiental como la temperatura, la altitud y la cantidad de lluvia. El lulo se cultiva a altitudes que van de 1600 a 2400 metros sobre el mar (Fischer et al., 2021); empero, en los Andes de Ecuador, su crecimiento es más favorable en regiones con alta humedad y en lugares con sombra que varían entre 800 y 1400 m por encima del mar. En elevaciones superiores a 2. 450 metros sobre el mar, la planta de lulo aumenta la producción de antocianinas en sus hojas, tallos y flores, al mismo tiempo que el pigmento como caroteno y luteno se vuelven más

intensos en los cloroplastos, cumpliendo una función protectora contra la radiación ultravioleta (Jaime & Alvarez, 2022).

La temperatura se identifica como uno factor limitante primordial que incide en el desarrollo y la productividad de los árboles frutales. El lulo exhibe un crecimiento satisfactorio en condiciones climáticas normales, dentro del intervalo de temperatura de 15 a 24 °C. La temperatura basal (mínima) para la identificación de tumores del tronco encefálico fue de 9,6 °C; sin embargo, otros estudios han registrado la acumulación de temperaturas superiores a 8 °C como límite de crecimiento para *S. quitoense* f. derecha (Jaime y Álvarez, 2022).

Es fundamental señalar que la variedad Quitoense de la especie *S. quitoense* prefiere ubicarse a elevaciones que van de 1600 a 2000 metros sobre el mar, mientras que hacia el norte prefiere altitudes que fluctúan entre 1900 y 2500 metros sobre el mar (Bonnet & Cárdenas, 2012). Por lo tanto, el primer tipo (sin picos) presenta una mayor eficacia a temperaturas elevadas. En contraste, las plantas de solanáceas experimentan un crecimiento acelerado desde condiciones climáticas frías (como lulo y uchuwa respectivamente) hacia climas cálidos conforme se incrementa la edad fisiológica de la planta, lo que conduce a rendimientos más precoces y superiores en comparación con las condiciones climáticas frías. No obstante, la longitud de la planta experimenta una reducción (Jaime & Alvarez, 2022).

El lulo, una especie de día corto, exhibe un crecimiento más óptimo en zonas sombreadas con una humedad relativa cercana al 80%. No obstante, durante los largos días en Europa, las frutas experimentan un crecimiento más acelerado (Jaime y Álvarez, 2022). Necesita suelos con una profundidad apropiada de 50 a 75 cm, con una elevada retención de agua y un drenaje eficiente. Adicionalmente, estos componentes cruciales deben presentar un rango de tamaño de partícula que oscile entre arena y arcilla, y un pH que oscile entre 5.5 y 6.5, con pendientes que no superen el 40% (Morillo et al., 2019). Una planta, particularmente en condiciones de sombra, puede exhibir alteraciones en su habilidad para capturar imágenes fotográficas cuando no se encuentra visible, dado que un incremento en los niveles

de luz puede inducir fotoinhibición. La tasa de crecimiento de hojas y brotes registró un promedio de 6 y 54 mg por grado día (DDD), respectivamente, y una tasa de brotes de 0,037006 por DDD (Jaime & Alvarez, 2022).

En relación con este asunto, se observó que el contenido acuoso de las hojas se incrementa durante las horas matutinas y disminuye durante las horas vespertinas en todos los tratamientos evaluados. En otras palabras, las horas diurnas son las más significativas para las cantidades de transpiración de las hojas (Jaime et al., 2022). Adicionalmente, el viento es un factor de considerable influencia en los frutales, y para el éxito del cultivo del lulo, es imperativo que la velocidad del viento se mantenga por debajo de los 5 km/h. Esto se debe a que un incremento en dicha velocidad incide negativamente en los procesos fisiológicos y mecánicos de la planta (Morillo et al., 2019).

7.1 Estructura química y clasificación de los fenoles

Los fenoles se definen como compuestos químicos que tiene un grupo hidroxilo (-OH) conectado de forma directa a un anillo aromático. La composición básica del fenol incluye un anillo bencénico, que es otro nombre para el anillo aromático, junto a un grupo hidroxilo (-OH). Existen diversas maneras de clasificar los fenoles según sus características químicas y propiedades. Uno de los métodos que se utilizan para extraer fenoles es un procedimiento comúnmente aplicado para su aislamiento:

Según la posición relativa del grupo -OH en el anillo aromático:

- Orto-fenoles: cuando el grupo -OH está en posición orto (1,2) con respecto a otro sustituyente.
- Meta-fenoles: cuando el grupo -OH está en posición meta (1,3) con respecto a otro sustituyente.
- Para-fenoles: cuando el grupo -OH está en posición para (1,4) con respecto a otro sustituyente.
- Según el número de grupos -OH en el anillo aromático:
- Fenoles monohidroxilados: contienen un solo grupo -OH en el anillo aromático.

- Difenoles: contienen dos grupos -OH en el anillo aromático.
- Polifenoles: contienen más de dos grupos -OH en el anillo aromático.
- Según la presencia de sustituyente en el anillo aromático:
- Fenoles simples: cuando no tienen ningún sustituyente en el anillo aromático.
- Fenoles compuestos: cuando tienen uno o más sustituyentes en el anillo aromático.

Los fenoles, que presentan una variedad de propiedades biológicas, pueden hallarse en diversas especies vegetales, frutas, verduras y productos animales. Poseen propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antiinflamatorias, entre otras propiedades beneficiosas. El ácido salicílico, resveratrol, catequina y ácido gálico son ejemplos frecuentemente mencionados.

7.2 Beneficios de los fenoles en biopelículas y materiales biodegradables

Los fenoles constituyen compuestos presentes en una diversidad de fuentes naturales, incluyendo frutas, vegetales, semillas, hierbas y plantas. Se ha evidenciado que dichos compuestos poseen características antioxidantes, antimicrobianas, antiinflamatorias y anticancerígenas, lo que los convierte en candidatos idóneos para la generación de biopelículas y materiales biodegradables (Morillo et al., 2019). Se expondrán a continuación algunas de las ventajas inherentes a los fenoles en este contexto:

Características antioxidantes: Los fenoles actúan como antioxidantes naturales, protegiendo los compuestos biodegradables de su deterioro causado por los radicales libres y la oxidación. Esta acción ayuda a extender la durabilidad de los productos y a mantener su calidad.

Competencia antimicrobiana: Algunos fenoles tienen cualidades antimicrobianas, lo que permite su uso en biopelículas para impedir el crecimiento de microorganismos no deseados. Esta propiedad es especialmente útil en el embalaje de alimentos, ya que ayuda a prolongar su frescura y garantiza la seguridad en la alimentación.

Atributos biodegradables: Los fenoles provenientes de fuentes naturales suelen ser biodegradables, lo que implica que se descomponen de manera natural en el entorno ambiental sin provocar perjuicios. Este aspecto es crucial para mitigar la acumulación de desechos plásticos y fomentar prácticas de desarrollo de materiales sustentables.

Actividad biológica: Se ha evidenciado que determinados fenoles poseen características bioactivas beneficiosas para la salud, tales como su habilidad para mitigar la inflamación o fomentar el proceso de recuperación. La integración de estos compuestos en biopelículas y materiales biodegradables tiene el potencial de expandir sus aplicaciones en campos como la medicina regenerativa o la ingeniería textil.

Por lo tanto, los fenoles proporcionan una serie de beneficios para la fabricación de biopelículas y materiales biodegradables, atribuibles a sus características antioxidantes, antimicrobianas, biodegradables y bioactivas. La investigación en este campo persiste en la identificación de nuevas aplicaciones y metodologías para optimizar la utilización de estos compuestos en la generación de producto sostenible y respetuoso con el entorno ambiental.

8 Importancia de los antioxidantes en los biopolímeros

Los antioxidantes tienen un papel fundamental en los biopolímeros, ya que ofrecen resguardo frente a la degradación provocada por la oxidación. Biopolímeros como el almidón, la celulosa, el quitosano y las proteínas son vulnerables a la acción de radicales libres y otros oxidantes, que pueden ocasionar cambios en sus características físicas y químicas, tales como degradación, disminución del peso molecular, reducción de la resistencia y creación de compuestos no deseados.

Los antioxidantes, mediante la inhibición de la oxidación de los biopolímeros, contribuyen a la conservación de su estructura y funciones. Esta característica es crucial para su aplicación en una diversidad de industrias, incluyendo la agricultura (por ejemplo, en recubrimientos alimentarios para frutas y verduras), la industria alimentaria (envases biodegradables, películas comestibles), y la medicina

(envases biodegradables, películas alimentarias) material destinado a la fabricación de fármacos.

Entre los antioxidantes habitualmente empleados en biopolímeros se encuentran compuestos fenólicos, tales como el ácido ascórbico (vitamina C), el ácido elágico, el ácido ferúlico, las catequinas y otros polifenoles. Estos compuestos desempeñan su función inhibiendo la generación de radicales libres, bloqueando las especies reactivas de oxígeno, evitando de este modo la secuencia de reacciones oxidativas en los biopolímeros. Además de su papel de inhibidores de biopolímeros, los antioxidantes fenólicos pueden ofrecer ventajas adicionales como características antimicrobianas, antiinflamatorias y cicatrizantes, lo que los convierte en candidatos idóneos para la utilización de materiales biodegradables y aplicaciones de biopelículas. Por consiguiente, la integración de antioxidantes en los biopolímeros es fundamental para preservar su integridad y desempeño, garantizando su estabilidad y durabilidad en una variedad de aplicaciones industriales y biomédicas.

9 Biopelículas y su análisis mediante termogravimetría (TGA)

Las biopelículas son comunidades microbianas organizadas que se adhieren a diversas superficies, formando estructuras complejas compuestas por microorganismos y una matriz extracelular. Estas formaciones juegan un papel esencial en una amplia variedad de entornos, desde ecosistemas naturales hasta sistemas industriales y aplicaciones médicas. Su presencia puede ser beneficiosa en ciertos contextos, como el tratamiento de aguas residuales, pero también pueden representar un problema cuando contribuyen a la contaminación o resistencia a tratamientos en equipos industriales y dispositivos médicos. Wang et al., (2020).

9.1 TGA en el estudio de biopelículas

La termogravimetría (TGA) es una técnica analítica ampliamente utilizada para evaluar la composición y la estabilidad térmica de distintos materiales, incluidas las biopelículas. Esta técnica consiste en exponer una muestra a un aumento controlado de temperatura mientras se registra la variación en su masa, lo que

permite analizar la pérdida de componentes a medida que la temperatura incrementa. A través de este análisis, es posible identificar las fracciones de la biopelícula que son volátiles y no volátiles, proporcionando información clave sobre su estructura y resistencia térmica. (Chen et al., 2019).

9.2 Aplicaciones y relevancia de la TGA en biopelículas

La TGA se ha convertido en una herramienta valiosa para la investigación y el manejo de biopelículas en distintos sectores. En el ámbito industrial, su estudio permite desarrollar estrategias más eficaces para prevenir la formación de biopelículas en tuberías, superficies de intercambio de calor y sistemas de producción donde pueden generar problemas de contaminación o reducción de eficiencia operativa. En el área médica, la identificación de la estabilidad térmica y la composición química de biopelículas en dispositivos como catéteres o prótesis es clave para diseñar métodos de eliminación más efectivos y prevenir infecciones persistentes. Así mismo, la información obtenida mediante la termogravimetría facilita el desarrollo de nuevas tecnologías y tratamientos que buscan inhibir la formación de biopelículas o degradarlas de manera eficiente. Esto es particularmente relevante en la búsqueda de alternativas sostenibles para el control de microorganismos en diversas industrias, promoviendo el uso de métodos menos agresivos con el medio ambiente y más eficientes en términos de costo y aplicación. (Simões et al., 2010).

CAPITULO III METODOLOGÍA

1 Preparación de hojas

Las hojas de *Solanum hirtum* Vahl se recolectaron en la península de Yucatán, específicamente en el municipio de Halachó, en mayo de 2024. Se recolectó un total de 217g, se enjuago en agua purificada y se le retiro el exceso de agua con un pañuelo.



Figura 5. seleccion de hojas de Solanum Hirtum Vahl.

Se extendió en una charola y se metió al horno por 5 días a 30c°.



Figura 6. Secado de hojas en horno de conveccion.

las hojas secas se pulverizaron en una licuadora en intervalos de 10 segundos hasta obtener polvo, se tamizo en un tamiz malla 100, se almaceno en un recipiente hermético y en un lugar oscuro a temperatura ambiente.



Figura 7. Polvo de Solanum Hirtum Vahl.

2 Preparación del extracto de hojas Puut Baalam (Solanum hirtum Vahl)

Se separaron muestras para la extracción utilizando metanol al 96% y agua destilada como solventes, en una proporción de 1:80 (m/v). Se utilizo 0.5110g en 40ml de solvente, dando en promedio 12.7ppm.



Figura 8. Preparación de extracto de Solanum Hirtum Vahl.

Se almaceno en tubos de ensayo de 40ml y se incorporó a una incubadora con agitación a 25c° y 200 rpm por 24 horas

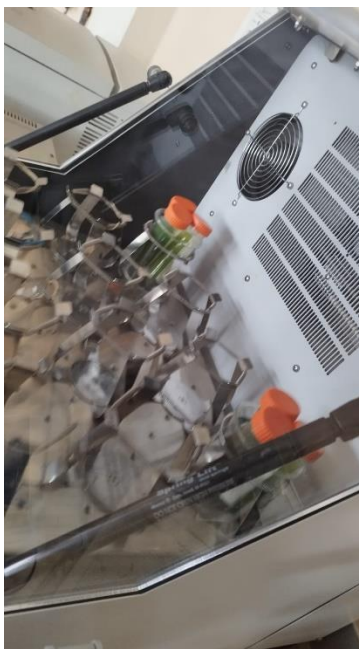


Figura 9. Incubación de extracto.

El extracto resultante fue centrifugado a 700 rpm durante 10 minutos para eliminar partículas no deseadas.



Figura 10. Centrifugado de extraco.

Finalmente, el solvente se separó mediante un rotavapor durante 20 minutos, obteniendo el extracto concentrado.

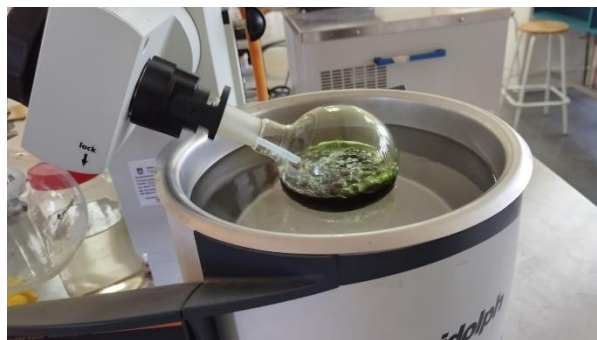


Figura 11. Separación por arrastre de vapor del extracto.

3 Aislamiento del almidón de maíz

Se seleccionaron granos de maíz previamente triturados para su procesamiento. Los granos fueron lavados cuidadosamente y posteriormente molidos con una procesadora de alimentos hasta obtener polvo. Se le incorporo agua destilada en proporción 1:3 durante.



Figura 12. Semillas de Maíz trituradas.

la mezcla obtenida se filtró 3 veces utilizando una bomba de vacío, papel filtro, embudo Büchner y un matraz Kitasato.



Figura 13. Filtración de almidón.

El sobrenadante se centrifugó a 700 rpm durante 15 minutos para obtener el almidón sedimentado.



Figura 14. Concentrado de almidón.

El almidón se secó en un horno de convección a 38°C durante 13 horas, se pesó tamizó y finalmente se almacenó a temperatura ambiente.

4 Elaboración de la biopelícula con extracto de *Solanum hirtum* vahl y almidón de maíz

Se inició el procedimiento pesando 4 g de almidón y 1.6 g de glicerina, se determinó la concentración en 2% y 5% de concentración en un volumen final de 100ml. Se prosiguió a encendió el equipo ultrasónico y se programó a una temperatura de 90 °C. Se añadió agua destilada a un vaso precipitado de 250 con el almidón, extracto y la glicerina hasta llegar a 100ml se agitó con un agitador de acero hasta lograr una disolución homogénea esta solución se transfirió a un matraz aforado de 100 mL completando el volumen hasta la marca de aforo luego, se agitó nuevamente y se vertió de vuelta en un vaso precipitado de 250 mL nuevamente para continuar con el proceso.



Figura 15. Incorporación de extracto al almidón.

La mezcla se sometió a agitación utilizando un agitador magnético hasta su completa homogeneización y se incorporó a un termobañó a 90 °C, asegurando la temperatura con un termómetro sumergido en una de las muestras. Cuando se alcanzó la temperatura deseada, se retiraron los vasos del termobañó y se

sometieron a agitación magnética en intervalos de 5 minutos, repitiendo este proceso tres veces antes de volver a introducirlos en el termobañ.



Figura 16. Homogenización de almidón, extracto y glicerol.

Después de la agitación, las soluciones fueron transferidas al equipo ultrasónico y sometidas a ultrasonido durante 10 minutos.



Figura 17. Baño ultrasónico de los componentes.

Se prepararon las charolas, limpiándolas y secándolas, posteriormente la solución preparada se vertió en las charolas de aluminio, asegurando la ausencia de grumos,

las charolas se colocaron en un horno de convección mecánica a 40 °C durante 19 horas.



Figura 18. Secado de la biopelícula.

Una vez completado el secado, las películas se desmoldaron cuidadosamente y se almacenaron en bolsas Ziploc para su conservación y posterior análisis.



Figura 19. Biopelícula de almidón con extracto de Solanum Hirtum Vahl.

5 Caracterización

5.1 Determinación de Fenoles Totales

La cuantificación de los compuestos fenólicos presentes en la muestra se realizó mediante el método colorimétrico utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu, el cual permite la determinación de fenoles totales a través de una reacción de oxidación-

reducción que genera un complejo de color azul, cuya intensidad es proporcional a la cantidad de compuestos fenólicos presentes. Este método basado en Andrade et al. (2021) fue llevado a cabo con algunas modificaciones respecto al procedimiento estándar.

Para el análisis, se tomó un volumen de 10 μL de la muestra y se mezcló con 1200 μL de agua destilada, lo que permitió diluir adecuadamente los compuestos fenólicos para su reacción con el reactivo. Posteriormente, se añadieron 100 μL del reactivo de Folin-Ciocalteu en una concentración de 1 N, el cual se preparó previamente disolviendo 2.60 g de reactivo en agua destilada hasta alcanzar un volumen total de 10 mL.

$$\text{Moles de reactivo} = \frac{260 \text{ g/mol}}{2.60 \text{ g}} = 0.010 \text{ mol}$$

$$\text{Normalidad} = \frac{\text{mol}}{\text{l}} = \frac{0.010 \text{ mol}}{0.010 \text{ l}} = 1 \text{ N}$$

Esta mezcla se dejó en reposo por un período de 3 minutos, permitiendo que los compuestos fenólicos interactuaran con el reactivo y dieran inicio al proceso de coloración.

Después de este tiempo, se adicionaron 100 μL de una solución de Na_2CO_3 (carbonato de sodio) al 20 % (P/V) en NaOH (hidróxido de sodio) 0.1 N, preparado disolviendo 40g en 1l de agua destilada, lo que alcalinizó la mezcla y favoreció la estabilización del color azul característico de la reacción de Folin-Ciocalteu. Posteriormente, el volumen total de la reacción se ajustó a 1550 μL con agua destilada.

La mezcla obtenida se dejó en reposo durante 60 minutos en oscuridad, con el propósito de evitar posibles interferencias por la exposición a la luz y permitir el desarrollo óptimo del color. Transcurrido este tiempo, se procedió a realizar la medición de la absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 760 nm, ya que esta es la región del espectro electromagnético en la que se observa la máxima absorción del complejo formado.

Para cuantificar la concentración de fenoles totales en la muestra, se construyó una curva de calibración, utilizando como referencia una disolución stock de ácido clorogénico a una concentración de 4 mg en 10 mL de agua destilada. A partir de esta solución, se prepararon diluciones que abarcaron un rango de concentraciones entre 0 y 200 ppm, permitiendo la obtención de una ecuación de calibración con la que se calcularon los valores de fenoles totales en la muestra analizada.

5.2 Determinación de la Actividad Antioxidante

La evaluación de la capacidad antioxidante de los extractos se llevó a cabo mediante el ensayo basado en la reducción del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH), siguiendo la metodología propuesta por Moreno et al., (2014). Se tomó un volumen de 10 µL del extracto de muestra, al cual se le adicionó 1000 µL de una solución de DPPH previamente preparada en etanol absoluto a una concentración de 0.06 mM. Esta concentración fue seleccionada debido a su alta sensibilidad para detectar la capacidad antioxidante de diversos compuestos fenólicos y otros metabolitos secundarios presentes en los extractos vegetales. Una vez preparada la mezcla, se homogenizó utilizando un agitador vortex, con el propósito de garantizar la adecuada interacción entre los compuestos antioxidantes de la muestra y el radical DPPH. Posteriormente, la solución se dejó en reposo durante 30 minutos en oscuridad, evitando así la degradación del DPPH por la luz y permitiendo que la reacción se desarrollara de manera óptima. Durante este período, los antioxidantes presentes en la muestra redujeron el DPPH, cambiando su coloración de violeta intenso a amarillo pálido o incoloro, dependiendo de la capacidad antioxidante de la muestra analizada. Finalizado el tiempo de reacción, se procedió a medir la absorbancia de la mezcla a una longitud de onda de 515 nm en un espectrofotómetro UV-Vis. La selección de esta longitud de onda se debe a que el radical DPPH presenta una máxima absorción en esta región del espectro cuando no ha sido reducido, permitiendo así cuantificar la disminución de absorbancia como una medida indirecta de la actividad antioxidante de la muestra.

Para cuantificar la actividad antioxidante de los extractos se determinó estableciendo una absorbancia de control y aplicando la fórmula: % de actividad antioxidante = $[(Ac - As) \div Ac] \times 100$

5.3 Análisis TGA

El análisis de TGA en las biopelículas de almidón de maíz y extracto de hoja se realizó mediante un analizador térmico TGA Perkin Elmer 7/DX, cortando una porción de la biopelícula y dándole una forma de tiras de 6g dos muestras, muestra 1 sin extracto muestra 2 con extracto. Posteriormente fueron colocados cuidadosamente en la bandeja de platino, utilizada para soportar la muestra durante el análisis térmico. Para el análisis térmico se configuró para operar en un rango de temperatura de 50 °C a 500 °C, cubriendo un amplio espectro de temperaturas en las que podrían ocurrir cambios significativos en la biopelícula. Se estableció una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, permitiendo un aumento gradual de la temperatura para observar con precisión las transiciones térmicas. Además, se aseguró un flujo constante de nitrógeno a una presión de 3,7 bar y un flujo de 20 mL/min durante todo el análisis, para mantener un ambiente inerte. Se inició el análisis térmico. Durante este proceso, se registraron los datos de pérdida de masa en función de la temperatura, lo que permitió observar cómo la biopelícula de maíz reaccionó a diferentes temperaturas. Se prestó especial atención a los puntos críticos, tales como la temperatura de inicio de descomposición, la temperatura de máxima descomposición y el residuo final, los cuales proporcionaron información clave sobre la estabilidad térmica y la composición de la biopelícula.

CAPITULO IV ANÁLISIS Y RESULTADOS

1 Resultados de fenoles totales

Se estableció una curva de calibración para determinar los fenoles totales, los estándares leídos permitieron cuantificar la intersección en 0.02481842 y la pendiente en 0.00044179. observamos que el valor de R^2 demuestran una excelente linealidad y un buen ajuste de la curva de calibración. Un R^2 cercano a 1 (0.9963 en este caso) indica que la absorbancia es un predictor fiable de la concentración de ácido clorogénico dentro del rango de concentraciones evaluado. Estos resultados permiten calcular la concentración de fenoles totales de las muestras. Para ello, se utilizó la ecuación de la recta para obtener la concentración de fenoles totales, expresada como equivalentes de ácido clorogénico.

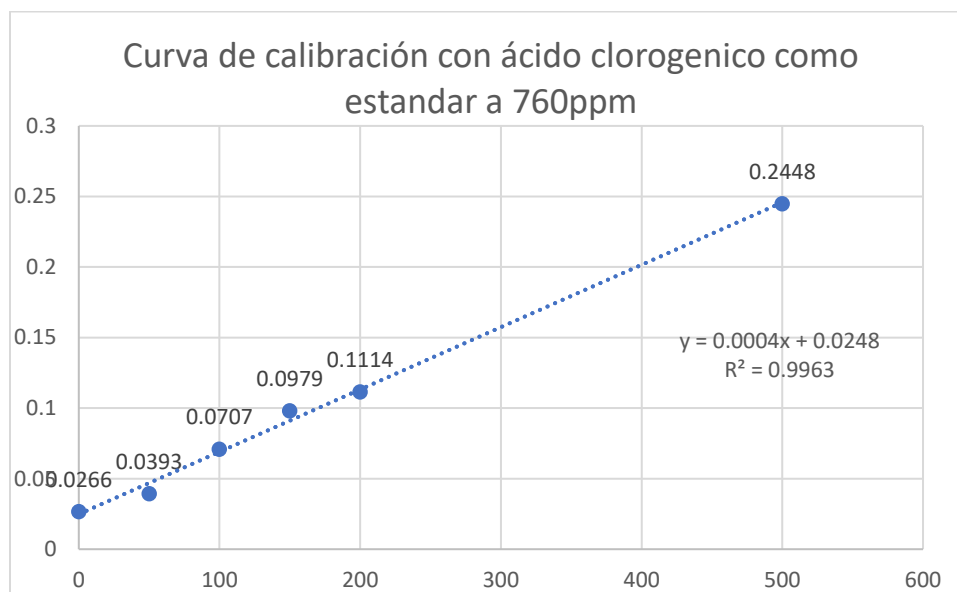


Figura 20. curva de calibración de estándares.

La cuantificación de los fenoles totales se realizó a través de la ecuación de la recta de calibración, expresada en la forma $y = mx + b$. Esta ecuación fue obtenida a partir de los datos experimentales representados en la gráfica previamente presentada. El uso de esta ecuación facilitó el cálculo preciso de la concentración de fenoles

totales en las muestras, permitiendo una interpretación confiable de los resultados en función de los valores de absorbancia registrados.

Tabla 5. Resultados de fenoles totales.

Muestras	Lectura 1	Lectura 2	Promedio	mg EAG/L
Agua M1	0.1895	0.1824	0.18595	364.72
Agua M2	0.1718	0.1606	0.1662	320.02
Metanol M1	0.3025	0.2997	0.3011	625.37
Metanol M2	0.2827	0.3083	0.2955	612.69

La baja variación de las lecturas indica una buena precisión en las absorbancias, observamos que la presencia de fenoles totales es mayor en las muestras de metanol en comparación con la del agua, indicando así que el metanol es más eficaz en la extracción de compuesto fenólicos

Los resultados muestran que el solvente de extracción influye significativamente en la cantidad de fenoles totales recuperados. La extracción con metanol proporciona valores más elevados, lo que sugiere que este solvente es más eficaz para la extracción de compuestos fenólicos en comparación con el agua.

En comparación con el trabajo de Ramón-Valderrama, J. A., & Galeano-García, P. L. (2020) de fenoles totales usando extractos metanólicos de hojas de las 10 especies de *Solanum* en el cual presentaron valores de contenido de fenoles totales (CFT) que oscilan entre 54 ± 1 a 286 ± 8 mg eq. Ac. gálico/g de muestra seca. Se determina una mayor cantidad en *Solanum Hirtum* Vahl con respecto a sus familiares antes estudiados.

2 Resultados de actividad antioxidante

Para calcular la actividad antioxidante de las muestras, se utilizó la ecuación siguiente: % de actividad antioxidante = $[(Ac - As) \div Ac] \times 100$, donde Ac (absorbancia del control), que se estableció utilizando la lectura de DPPH sin añadir muestra, se midió en 0 y 30 minutos sin cambios. El valor de la absorbancia del control (Ac) fue de 0.8585 a la longitud de onda de 517 nm. Este valor sirvió como

referencia para evaluar la capacidad de inhibición de radicales libres de las muestras.

Tabla 6. Resultados del porcentaje de antioxidantes.

Minuto 0				
Muestras	Lectura 1	Lectura 2	Promedio	%
Agua M1	0.3478	0.3529	0.35035	59.19
Agua M2	0.2124	0.2155	0.21395	75.08
Metanol M1	0.1157	0.1203	0.118	86.26
Metanol M2	0.0961	0.1	0.09805	88.58
Minuto 30				
Muestras	Lectura 1	Lectura 2	Promedio	%
Agua M1	0.3209	0.3541	0.3375	60.69
Agua M2	0.1822	0.1974	0.1898	77.89
Metanol M1	0.1215	0.1229	0.1222	85.77
Metanol M2	0.1048	0.1061	0.10545	87.72

Los extractos metanólicos exhibieron una mayor capacidad antioxidante en comparación con los extractos acuosos. Esta diferencia podría deberse a que los compuestos fenólicos se disuelven mejor en solventes orgánicos, lo que facilita su extracción y, a su vez, aumenta su capacidad para actuar como antioxidantes.

Los cambios observados a lo largo del tiempo sugieren que los compuestos antioxidantes siguen reaccionando después de la primera medición, aunque esta reacción es más estable en los extractos obtenidos con metanol. Específicamente, el extracto Metanol M2 demostró ser el más eficaz para neutralizar radicales libres, alcanzando un 88.58 % de inhibición del radical DPPH.

3 Resultados de TGA

Los resultados de los análisis de TGA para las biopelículas de almidón de maíz con extracto de hoja se muestran en las Figuras 21 se observaron cuatro cambios significativos de temperatura y masa.

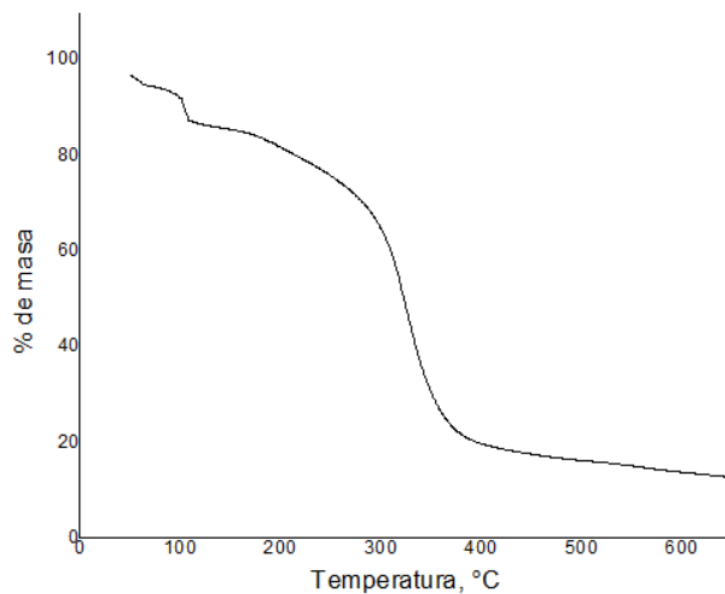


Figura 21. Gráfico de masa en función de la temperatura de los resultados de TGA.

El primer cambio de temperatura ocurrió aproximadamente a los 100 °C, con una pérdida de peso de 9 % para la muestra. Este cambio se asoció a la pérdida de agua contenida en las biopelículas, lo que es característico de los materiales que tienen afinidad por la humedad. El segundo cambio tuvo lugar entre los 200 y 250 °C, con una pérdida de peso de 15%. Este comportamiento sugiere que la pérdida de peso corresponde a la descomposición de las proteínas de bajo peso molecular presentes en el sistema, como las que se encuentran en la gelatina, y la degradación de los componentes del plastificante utilizado, en este caso el glicerol. En la tercera etapa, alrededor de los 350 °C, se registró una pérdida de peso de 30%. Esta fase probablemente estuvo asociada con la degradación de los carbohidratos presentes en el polímero, como el almidón de maíz, que constituye la biopelícula. La descomposición de estos carbohidratos contribuyó significativamente a la pérdida de peso en este rango de temperatura. Finalmente, en la cuarta etapa, alrededor de los 500-510 °C, se produjo una pérdida de peso de aproximadamente 15 % para ambas biopelículas. Este cambio se interpretó como la degradación de las proteínas y carbohidratos de alto peso molecular, junto con la descomposición de la fase no volátil.

CONCLUSIÓN

El presente estudio permitió evaluar la actividad antioxidante y el contenido de fenoles totales en extractos de *Solanum hirtum* Vahl obtenidos mediante extracción acuosa y metanólica, con el propósito de incorporarlos en biopelículas a base de almidón de maíz (*Zea mays*). Los resultados indicaron que el solvente de extracción tuvo un impacto significativo en la cantidad de fenoles totales recuperados. Se observó que los extractos metanólicos presentaron una mayor concentración de fenoles totales en comparación con los extractos acuosos, lo que sugiere que el metanol es un solvente más eficiente para la extracción de estos compuestos bioactivos. La ecuación de calibración utilizada para la cuantificación de fenoles totales presentó un R^2 de 0.9963, lo que indica una alta confiabilidad en la medición. El extracto de metanol en la muestra 2 fue el que mostró la mayor capacidad antioxidante, con un 88.58% de inhibición del radical DPPH, lo que lo posiciona como el más eficiente en la neutralización de especies reactivas de oxígeno. Además, los valores de actividad antioxidante se mantuvieron estables a lo largo del tiempo, sugiriendo que los compuestos bioactivos presentes en los extractos metanólicos tienen una mayor estabilidad en comparación con los extraídos con agua.

El análisis de TGA (Termogravimetría) reveló que las biopelículas de almidón de maíz con extracto de *Solanum hirtum* Vahl presentaron cuatro etapas de degradación térmica. Estos resultados reflejan que la incorporación del extracto no alteró significativamente la estabilidad térmica del material, lo que indica su viabilidad para aplicaciones industriales. La incorporación de extractos metanólicos de *Solanum hirtum* Vahl en biopelículas de almidón de maíz representa una estrategia viable para el desarrollo de materiales biodegradables con propiedades antioxidantes mejoradas. Se recomienda realizar estudios adicionales sobre las propiedades mecánicas y de permeabilidad de estas biopelículas para evaluar su posible aplicación en la industria alimentaria y farmacéutica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adeyeye, O., Sadiku, E., Babu, A., Ndamase, A., Makgatho, G., Sellamuthu, P., . . . Jamiru, T. (2019). The Use of Biopolymers in Food Packaging Materials Horizons: From Nature to Nanomaterials, 137-158.
- Andrade-Cuvi, M. J., Guijarro-Fuertes, M., & Figueroa, J. L. (2021). Evaluación fisicoquímica y antioxidante de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) durante la maduración. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 22(2).
- Arias, M. (2019). Obtención del almidón de la alocacia macrorrhiza y cuantificación del oxalato de calcio. *Revista De Investigación Científica TSE DE*, 2(1), 13.
- Arun, R., Shruthy, R., Preetha, R., & Sreejit, V. (2022). Nanocompuesto biodegradable reforzado con nanofibras de celulosa procedentes de desechos de la industria del coco para sustituir envases de plástico sintético para alimentos. *Quimosfera*. 291(1).
- Avellán, A., Díaz, D., Mendoza, A., Zambrano, M., Zamora, Y., & Riera, M. (2020). Obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*. 7(1). 1-11.
- Ávila, J., & Ruales, J. (2016). Influencia del estrés luminoso e hídrico en la postcosecha, propiedades físico-químicas y estimación de la capacidad antioxidante del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) genotipo gigante amarillo. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17(1), 30-40.
- Bharti, S., Pathak, V., Alam, T., Arya, A., Basak, G., & Awasthi, M. (2020). Materiality of Edible Film Packaging in Muscle Foods: A Worthwhile Conception. *Journal of Packaging Technology and Research*, 4(1), 117-132.
- Bolívar, J., Ramírez, C., Bolívar, G., & Ceballos, C. (2019). Mechanisms of action of novel ingredients used in edible films to preserve microbial quality and oxidative stability in sausages - A review. *Trends in Food Science & Technology*, 89, 100-109.
- Calva, S., Jimenez, M., & Lugo, E. (2019). Protein-Based Films: Advances in the Development of Biomaterials Applicable to Food Packaging. *Food Engineering Reviews*, 11(2), 78-92.

- Cando, V. (2021). Obtención de una biopelícula a partir de almidón de la cáscara de cacao (Theobroma cacao.L.) en la producción de plástico biodegradable [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
- Chen, Y., et al. (2019). Thermogravimetric analysis of biofilm components. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 54, 1–9. doi: 10.1080/03601234.2019.1566544
- Cornejo, G., Marinero, E., Funes, C., & Toruño, P. (2020). Biopolímeros para uso agro industrial: Alternativa sostenible para la elaboración de una película de almidón termo plástico biodegradable. Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático. 6(11).
- Díaz, R. (2019). EVALUACIÓN DE PELÍCULAS COMESTIBLES DE HARINA DE MAÍZ MORADO (Zea mays L.) Y PROPÓLEO EN LA CONSERVACIÓN DE PALTA FUERTE (Persea americana) [Tesis de Grado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac].
- Escobar, J. (2020). Elaboración y caracterización de biopelículas elaboradas con quitosano y adicionadas con partículas de almidón [Tesis de Grado, Universidad Autónoma del Estado de México].
- Fernández-Rodríguez, V. E., & Ruiz-López, M. A. (2021). Contenido de polifenoles, capacidad antioxidante y toxicidad de Solanum ferrugineum (solanaceae) con potencial medicinal. Acta Biológica Colombiana, 26(3), 414-422.
- Gavilanes, L. (2021). Elaboración de bioplásticos a partir del almidón de arroz (Oryza sativa) y arroz integral para uso como envolturas biodegradables de alimentos. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.
- Hammam, A. (2019). Technological, applications, and characteristics of edible films and coatings: a review. SN Applied Sciences, 1(6).
- Iguasnia, A. (2020). Técnicas utilizadas para la conservación de frutas y vegetales mediante biopelículas a partir de matrices poliméricas naturales [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Chimborazo].
- Jaime, M., & Alvarez, J. (2022). Aspectos de la fisiología y el cultivo del lulo (Solanum quitoense LAM.) en Colombia. RIAA. 13(1

- Kumar, N., Suhag, R., Upadhyay, A., & Petkoska, A. (2020). Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Research International*. 136. 13-18.
- Lagos, T. (2011). *Mejoramiento Genético de Lulo*. Editorial Universitaria, Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos-GPFA. 268.
- León, E., Janampa, C., Cáceres, C., Giu, C., Ruiz, P., Chalc, M., . . . Malnati, M. (2021). Efecto de recubrimientos comestibles en la calidad del ají jalapeño (*Capsicum annuum*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 22(2), 202-211.
- Leyva-Acuña, M. A., Quintana-Obregón, E. A., Soto-Landeros, F., Baez-Parra, K. M., Montes-Ávila, J., & Angulo-Escalante, M. A. (2020). Actividad antifúngica de alcaloides del extracto metanólico de *Jatropha platyphylla* contra *Aspergillus parasiticus*. *Biotecnia*, 22(3), 100-107.
- Mayhuire, E., Huamaní, Y., Zanardi, L., & Miranda, E. (2019). Biopelículas producidas con cáscara de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(2), 231-241.
- Maza, J., Sánchez, H., Flores, L., & Bonilla, M. (2022). Obtención de una Biopelícula a Partir de Almidón de Maíz Chulpi (*Zea Mays Amylosaccharata*) para Embalaje de Alimentos. *Pol. Con*. 7(2). 1270-1297.
- Mettych, M. (20 de marzo de 2019). Emulsifier | chemistry. *Encyclopedia Britannica*.
- Miller, K., Silcher, C., Lindner, M., & Schmid, M. (2020). Effects of glycerol and sorbitol on optical, mechanical, and gas barrier properties of potato peel-based films. *Packaging Technology and Science*, 34(1), 11-23.
- Mogollón, M. J., Gonzalez, J., Montalvo, A., Arango, C., & Vallejo, A. (2021). Evaluación de extractos metanólicos de dos especies de gracilaria (*Rhodophyta*) como agentes antibacterianos. *Facultad de Ciencias Básicas*, 1(1), 20-20.
- Mohamed, S., El-Sakhawy, M., Abdel, M., & El-Sakhawy, M. (2020). Polysaccharides, Protein and Lipid -Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review. *Carbohydrate Polymers*. 238. 2-24.

- Montes, L. (2022). Obtención de una biopelícula probiótica comestible a partir de un subproducto a base de almidón [Tesis de Grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia].
- Mora, R., Feregrino, A., & Contreras, M. (2021). Recubrimientos comestibles para extender la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. *Ciencia Latina*.
- Moreno, E., Ortiz, B. L., & Restrepo, L. P. (2014). Contenido total de fenoles y actividad antioxidante de pulpa de seis frutas tropicales. *Revista Colombiana de Química*, 43(3), 41-48.
- Morillo, A., Rodríguez, A., & Morillo, Y. (2019). Morphological Characterization of Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) in the Municipality for Pachavita, Boyacá. *Acta biol.Colomb.* 24(2).
- Moya, I. (2023). Fabricación de una película comestible a partir de alginato de sodio [Tesis de Grado, Fundación Universidad de América].
- Ocaña, L. (2020). Comparación de la solubilidad y elasticidad en biopelículas elaboradas a partir de harina y almidón de *Musa acuminata* y *Zea mays* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Chimborazo].
- Olivero, R., Miranda, D., & Flores, A. (2020). Recubrimiento a base de almidón de yuca modificado para disminuir el efecto de maduración del níspero. Editorial Universidad del Atlántico.
- Pico, J., Sarabia, D., & Vargas, E. (2023). Recubrimientos comestibles: una alternativa para la conservación de frutas. *Opuntia Brava*. 15(4).
- Ramirez, R., Pérez, A., Obregón, Y., Rojas, L., Aparicio, R., Cordero, Y., & De Lima, W. (2024). Antibacterial and Antioxidant Activities of Fruits of *Solanum hirtum* Vahl. from Venezuela. *Journal of Science and Mathematics Letters*. 12(1). 102-110.
- Ramón-Valderrama, J. A., & Galeano-García, P. L. (2020). Actividad antioxidante y antimicrobiana de extractos metanólicos de hojas de plantas del género *Solanum*. *Información tecnológica*, 31(5), 33-42.
- Riera, M., Avellán, A., Díaz, D., Mendoza, A., Zambrano, M., & Zamora, Y. (2020). OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ (*Zea mays* L.). *Revista Colón Ciencias, Tecnología Y Negocios*, 7(1), 1–11.

- Simões, L. C., et al. (2010). Antimicrobial resistance in biofilms. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 36(3), 227–231. doi: 10.1016/j.ijantimicag.2010.06.013
- Taimal, E. (2021). Técnicas utilizadas para la conservación de alimentos de origen animal mediante biopelículas a partir de matrices poliméricas naturales [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Chimborazo].
- Uquillas, S. (2021). Efecto de los aceites esenciales en biopelículas elaboradas a partir de matrices poliméricas naturales obtenidas mediante técnica de casting [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Chimborazo].
- Vera, A., Chávez, W., & Carrillo, B. (2023). Obtención de polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca. *MQRInvestigar*, 7(1), 2680–2700.
- Wang, Y., et al. (2020). Biofilm formation and its control in industrial systems. *Journal of Cleaner Production*, 286, 121464. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121464