

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE BARRERA Y MECÁNICAS DE BIOPELÍCULAS FORMULADAS A PARTIR DE MUCÍLAGO DE SEMILLA DE CHAN (*Hyptis suaveolens*)

A. Martín-del-Campo^{1*}, C.E. Rodríguez-Cota¹, Y. Estrada-Girón¹, V.V.A. Fernández-Escamilla², T.J. Jaime-Ornelas³

¹Departamento de Ingeniería Química, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Blvd. Marcelino García Barragán 1421, Col. Olímpica, 44430, Guadalajara, Jalisco, México.

²Departamento de Ciencias Tecnológicas, Centro Universitario de la Ciénega, Av. Universidad 1115, Col. Lindavista, 47820, Ocotlán, Jalisco, México.

³Departamento de Salud Pública, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Camino Ramón Padilla Sánchez 2100 Nextipac, 45200 Zapopan, Jal.

*Autor de correspondencia: angelina.martindelcampo@academicos.udg.mx

RESUMEN

El uso de biopelículas comestibles en la industria alimentaria ha cobrado relevancia por su capacidad de conservar y proteger productos perecederos. Factores como la respiración, el etileno, los impactos y la humedad aceleran la maduración, afectando sabor, textura y aroma, y generando pérdidas económicas. El mucílago de semilla de chan (*Hyptis suaveolens*), por sus propiedades gelificantes, se considera una fuente viable para producir biopelículas. En este estudio, el mucílago fue extraído, liofilizado y tamizado, y se formularon películas con glicerol, sorbitol y su mezcla como plastificantes. Se evaluaron propiedades fisicoquímicas, encontrando que las formulaciones con sorbitol presentaron menor solubilidad (74,07–80,75%) que las de glicerol o combinadas (90,03–98,13%). En cuanto al espesor, las películas con glicerol fueron más delgadas (0,132–0,137 mm). El módulo de Young reveló que las películas con sorbitol fueron más rígidas (hasta 865 MPa), mientras que las plastificadas con glicerol o mezclas fueron más flexibles (0,341–2,436 MPa), lo que las hace más adecuadas para recubrimientos alimentarios.

Palabras clave: *Biopelículas, semilla de chan, propiedades de barrera.*

ABSTRACT

The use of edible biofilms in the food industry has gained relevance due to their ability to preserve and protect perishable products. Factors such as respiration, ethylene, impact, and humidity accelerate ripening, affecting flavor, texture, and aroma, and generating economic losses. Chan seed (*Hyptis suaveolens*) mucilage, due to its gelling properties, is considered a viable source for producing biofilms. In this study, the mucilage was extracted, lyophilized, and sieved, and films were formulated with glycerol, sorbitol, and their mixture as plasticizers. Physicochemical properties were evaluated, finding that formulations with sorbitol presented lower solubility (74,07–80,75%) than those with glycerol or a combination (90,03–98,13%). Regarding thickness, films with glycerol were thinner (0,132–0,137 mm). Young's modulus revealed that films with sorbitol were stiffer (up to 865 MPa), while those plasticized with glycerol or blends were more flexible (0,341–2,436 MPa), making them more suitable for food coatings.

Keywords: *Biofilms, chan seed, barrier properties.*

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe un creciente interés en América latina en el desarrollo de envases comestibles como una alternativa sostenible y segura para el envasado de alimentos frescos postcosecha, como frutas, verduras y legumbres [1]. Las biopelículas hechas a partir de derivados de polímeros naturales como derivados de almidones, proteínas, pectinas o mucílago pueden servir como una barrera efectiva contra el oxígeno, la humedad y los contaminantes externos, además de proporcionar propiedades mecánicas adecuadas para su manejo y protección de alimentos frescos envasados [2].

Las biopelículas comestibles han surgido como una alternativa prometedora en la industria alimentaria, debido a su capacidad para mejorar la calidad y prolongar la vida útil de los alimentos [1-3]. Deben presentar propiedades mecánicas de gran importancia para su uso y aplicaciones. Estas propiedades, que incluyen resistencia y flexibilidad, determinan la capacidad para proteger y conservar alimentos, así como su utilidad en la industria farmacéutica y como recubrimientos comestibles [4,5]. Evaluar estas propiedades en las biopelículas es esencial para soportar fuerzas y tensiones, mientras que su flexibilidad les permite adaptarse a diversas superficies y formas, garantizando una buena adhesión [6]. Retardan los cambios que pueden ocurrir en el color, los nutrientes y el aroma de los alimentos, lo que contribuye a mantener su aspecto y sabor original durante un período de tiempo más largo [7,8]. Evitan la pérdida y ganancia de humedad, ya que actúan como una barrera protectora contra el intercambio de gases con el entorno. Esto es especialmente importante para aquellos productos que son sensibles a la humedad, ya que ayuda a evitar que se sequen o se humedezcan en exceso [2,9]. Previenen los daños mecánicos que pueden ocurrir durante la manipulación y transporte de los alimentos, lo que contribuye a reducir las pérdidas y asegurar la calidad del producto [10,11].

La semilla de chan conocida científicamente como *Hyptis suaveolens* es pequeña y de forma ovalada, con un tamaño aproximado de 2 a 3 milímetros. Sus características únicas la convierten en una semilla altamente nutritiva y versátil, rica en proteínas, fibra y ácidos grasos esenciales [12,13]. Se ha destacado por el potencial de sus derivados para ser utilizados como base de la formulación de biopelículas en diversas aplicaciones industriales. El mucílago de esta semilla posee propiedades que la hacen altamente versátil, como su alta capacidad de retención de agua y su capacidad de formar películas flexibles y biodegradables [14,15]. Por ello la película comestible obtenida a partir de la semilla de chan se puede utilizar como recubrimiento en diferentes materiales como pueden ser frutas y verduras [16]. Este mucílago es rico en polisacáridos, como la pectina, que le confieren propiedades gelificantes y espesantes [17-19], lo cual es excelente como propiedades de barrera contra el oxígeno,

la humedad y la transferencia de masa, así como propiedades mecánicas que las hacen flexibles y resistentes al impacto [20,21]. El estudio de las propiedades de barrera y mecánicas de este tipo de biopelículas ha sido poco explorado, por lo que es fundamental para evaluar su potencial como recubrimientos en la industria alimentaria [22]. Para la evaluación de la viabilidad de uso de este recubrimiento como biopelícula se hizo la formulación de estas biopelículas a partir del mucílago de semilla de chan, y se le agregó un porcentaje variado de plastificantes (glicerol y sorbitol), con el fin de mejorar las propiedades de barrera y propiedades mecánicas y evaluar su potencial de uso sobre superficies de frutos.

2. METODOLOGÍA

Para la obtención del mucílago de la semilla de chan se utilizó el método propuesto por Badreddine et al., [23], con algunas modificaciones en velocidad, tiempo y temperatura. Se utilizó semilla de chan de productores locales (Jalisco, Mex.), la cual se lavó y se dejó secar previamente al inicio del tratamiento. Se hidrató la semilla con agua en una relación 1:40. Posteriormente se agitó por 1 hora a 1900 rpm a una temperatura ambiente de 35-37°C, se hicieron 4 lavados de la semilla y se filtraron con un tamiz malla 20, para obtener solo el mucílago [24,25].

La obtención del mucílago en polvo se realizó con el método propuesto por Ramírez et al., [26] y se centrifugó el mucílago a 1,000 rpm por 10 minutos para obtener el mucílago sin residuos de agua; seguido de eso se mezclaron 150 ml de mucílago con 300 ml de etanol para después ser llevados a agitación constante por 15 min, al acabado el tiempo se dejó por 30 min en el refrigerador a una temperatura de 5°C. A continuación, se filtró al vacío con ayuda de una bomba Merck (MWP6111560). Seguido se colocó el mucílago en charolas con papel encerado para ser llevados al liofilizador a una temperatura -40°C por 24h. Terminado el tiempo se molieron los trozos con ayuda de un molino de aspas (NBR-1201) hasta conseguir un polvo. Finalmente, con ayuda de un tamizador Ecoshel (EOS-ECO-WQS) se pasó ese polvo en una malla de 100 y se obtuvo el mucílago en polvo.

Para la elaboración de las biopelículas se utilizó un diseño experimental factorial al azar de 3^3 , en la Tabla 1 se observan los diferentes porcentajes que se utilizaron para la formulación. Se emplearon 3 porcentajes de mucílago de la semilla de chan al 0,5, 0,75 y 1%, se agregó 0,1% de benzoato de sodio como conservador y en cuanto al plastificante que se agregó fueron de 4% v/v de glicerol, 1,5% v/v de sorbitol y una combinación de 3% y 1% respectivamente. Posteriormente se realizó una mezcla en 100 ml de agua destilada con mucílago de la semilla de chan previamente secado y tamizado, se incorporó el plastificante y finalmente se agregó el conservador, dando como resultado una mezcla homogénea. Se vertió la mezcla en cajas de Petri previamente acondicionadas con antiadherente en

aerosol, se realizó un tratamiento térmico en una estufa Labtech (LDO 150F) a una temperatura de 45°C por 24 horas, después se acondicionaron por 24h en un desecador con una humedad relativa de 50-55%. Finalmente se retiró la película de la caja Petri y se guardó en aluminio y en un plástico hermético para que no absorbieran la humedad del medio ambiente [27].

Tabla 1. Formulación de las biopelículas. MS: mucílago con sorbitol MG: mucílago con glicerol MG/S: mucílago con glicerol y sorbitol

Formulación	Masa de mucílago (g)	Plastificante (%)
0,5 MS	0,5	1,5 Sorbitol
0,75 MS	0,75	1,5 Sorbitol
1,0 MS	1,0	1,5 Sorbitol
0,5 MG	0,5	4,0 Glicerol
0,75 MG	0,75	4,0 Glicerol
1,0 MG	1,0	4,0 Glicerol
0,5 MG/S	0,5	3,0 Glicerol /1,0 Sorbitol
0,75 MG/S	0,75	3,0 Glicerol /1,0 Sorbitol
1,0 MG/S	1,0	3,0 Glicerol /1,0 Sorbitol

Para determinar la solubilidad se siguió el método de Román et al., [28] con algunas modificaciones, se cortaron las películas en 2x2 cm, se secaron a 80 °C por 2 horas, pasado el tiempo se pesaron (W1) y se sumergieron en 80 ml de agua destilada a temperatura ambiente, fueron llevadas a agitación constante de 100 rpm durante 1 h. Posteriormente se filtró con ayuda de un papel filtro Whatman #1 y seguido de esto se secó a una temperatura de 80 °C por dos horas, finalmente se pesó el papel filtro (W2). Para calcular el porcentaje de solubilidad se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{W1-W2}{W1} (100) \quad (1)$$

Se utilizó un micrómetro manual (Mitutoyo, modelo IP65) para medir el espesor de las películas, en las cuales se tomaron 5 mediciones de forma aleatoria [29]. Los valores promedios del espesor se usaron para calcular propiedades mecánicas.

La determinación del módulo de Young, porcentaje de elongación y tensión máxima fue de acuerdo con el método ASTM D882-83. Las películas se recortaron a un área de 8,5 x 2,5 cm y con una solución sobresaturada de nitrato de magnesio se acondicionaron a una humedad relativa (HR) del 52% por 24 h. Se utilizó una máquina de prueba de tensión universal (Instron, modelo 34TM) con una carga de 10 N, una distancia de 55 mm y una velocidad de 7 mm/min [30-32].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de solubilidad se muestran en la Tabla 2, las formulaciones con sorbitol mostraron menor porcentaje de solubilidad (80,75 – 74,07%), que aquellas elaboradas con glicerol o la mezcla de los dos plastificantes (98,13 – 90,03%) (Figura 1). Esto es debido a que el glicerol presenta un peso molecular menor, aumentando los grupos hidroxilos y la afinidad al agua, en contraste, el sorbitol desempeña una participación insignificante con las moléculas de agua. No obstante, los dos polioles son hidrófilos y a medida que su cantidad aumenta, la capacidad de las películas para disolverse en agua también incrementa, llegando a alcanzar niveles elevados del 40% [4,33]. González et al., [34] obtuvieron resultados de 91,03%, 89,85% y 81,26% con diferentes cultivos de *Opuntia ficus-indica*, de los cuales se utilizó el mucílago y un porcentaje de glicerol.

Tabla 2. Solubilidad de las biopelículas en función de la masa de mucílago y porcentaje de plastificante.

Formulación	Solubilidad (%)
0,5 MS	79,07
0,75 MS	74,75
1,0 MS	80,75
0,5 MG	95,69
0,75 MG	98,13
1,0 MG	95,84
0,5 MG/S	90,03
0,75 MG/S	90,24
1,0 MG/S	91,26

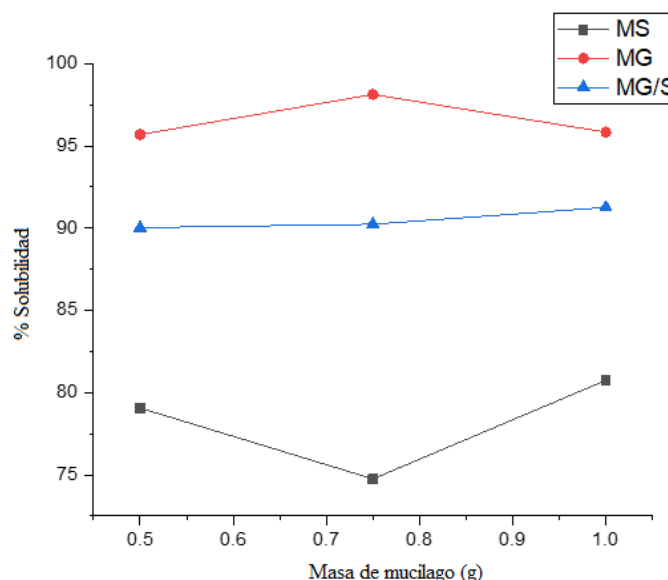


Figura 1: Interacción de solubilidad de las biopelículas por efecto de masa de mucílago y porcentaje de plastificante. Se presentan en la Tabla 3 los datos de espesor de las películas medidas en 5 posiciones aleatorias sobre la superficie de dos películas por tratamiento. Las películas con glicerol presentaron un menor espesor (0,132 - 137 mm) que las de sorbitol (165 - 168 mm) y la mezcla de los dos plastificantes

presentó el mayor espesor (162 - 170mm) (Figura 2). Estos dos últimos valores son parecidos a los presentados por Kosarsoy [35] de 0,16 mm a 0,20 mm en películas de mucílago de chía y sorbitol. Se observaron efectos significativos ($p < 0,05$) en el grosor, los cuales se debieron al plastificante agregado. El porcentaje de mucílago utilizado tuvo también un impacto en el espesor, dando como resultado películas más gruesas y rígidas.

Tabla 3. Espesor de las biopelículas en función de la masa de mucílago y porcentaje de plastificante.

Formulación	Espesor (mm)
0,5 MS	$0,165 \pm 0,017$
0,75 MS	$0,166 \pm 0,013$
1,0 MS	$0,168 \pm 0,010$
0,5 MG	$0,133 \pm 0,016$
0,75 MG	$0,132 \pm 0,002$
1,0 MG	$0,137 \pm 0,005$
0,5 MG/S	$0,162 \pm 0,013$
0,75 MG/S	$0,169 \pm 0,014$
1,0 MG/S	$0,170 \pm 0,010$

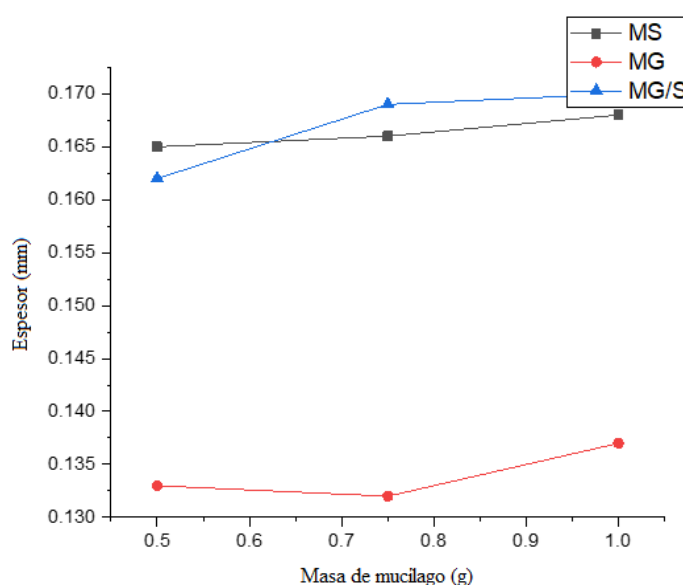


Figura 2: Interacción del espesor de las biopelículas por efecto de por efecto de masa de mucílago y porcentaje de plastificante.

Las propiedades mecánicas desempeñan un papel fundamental en la eficacia y calidad de los recubrimientos utilizados en la industria alimentaria. Los resultados de Modulo de Young (E), porcentaje de elongación y tensión máxima se observan en la Tabla 4. El plastificante tuvo un efecto

significativo en módulo E, las películas plastificadas con sorbitol obtuvieron valores altos del módulo 865,235, 639,7 y 226,390 MPa, comparadas con las de glicerol y la combinación de los dos plastificantes, cuyos valores fueron de 0,341 – 2,436 MPa. Esto demuestra que las películas formuladas con sorbitol fueron mucho más rígidas en comparación a las de glicerol que fueron más gelificadas. Se observan resultados similares en películas elaboradas con 5-10% de mucílago de nopal, glicerol y pectina 0,41-0,46 MPa [36].

Tabla 4. Módulo de Young, porcentaje de elongación y tensión máxima de las biopelículas en función de la masa de mucílago y porcentaje de plastificante.

Formulación	Módulo de Young E (MPa)	Porcentaje de elongación (% ϵ)	Tensión máxima (σ_{max}) (MPa)
0,5 MS	226,390 \pm 0,134	5,93 \pm 0,094	3,830 \pm 0,213
0,75 MS	639,700 \pm 80,218	1,88 \pm 0,19	6,550 \pm 0,344
1,0 MS	865,235 \pm 29,815	4,79 \pm 2,04	13,440 \pm 2,682
0,5 MG	0,444 \pm 0,172	12,38 \pm 4,12	0,035 \pm 0,002
0,75 MG	1,073 \pm 0,120	13,32 \pm 1,1	0,107 \pm 0,028
1,0 MG	2,436 \pm 0,165	11,53 \pm 0,91	0,196 \pm 0,001
0,5 MG/S	0,341 \pm 0,147	16,28 \pm 8,61	0,038 \pm 0,007
0,75 MG/S	2,646 \pm 1,620	6,18 \pm 2,05	0,067 \pm 0,015
1,0 MG/S	6,238 \pm 1,083	11,21 \pm 2,34	0,395 \pm 0,070

Al comparar las formulaciones de mucílago-sorbitol con mucílago-glicerol y mucílago-sorbitol/glicerol, se obtuvo un menor porcentaje de elongación en la primera formulación dando resultados de 5,93%, 4,79% y 1,88%, aunado a los resultados de las otras dos formulaciones se obtuvieron valores entre 11,21-16,28%. Similares estos últimos a los resultados de Dick et al., [37] que realizaron películas de mucílago de chía y 3 concentraciones de glicerol (10,78-15,89 %). Al igual que Urbizo et al., [4] que elaboraron una película con mucílago de chía y una mayor concentración de glicerol y otra menor de sorbitol, dando como resultado porcentajes de elongación de 14,27-14,53%. Se registran valores superiores de elongación cuando el glicerol está presente en mayor cantidad o solo, esto se debe a la estructura molecular del glicerol, la cantidad de grupos hidroxilo presentes en un volumen determinado es mayor a diferencia con el sorbitol, lo que le confiere propiedades de mayor flexibilidad a las biopelículas. Con respecto a la tensión máxima se obtuvieron valores mayores en las películas hechas con sorbitol, de 3,830-13,440 MPa. Por otro lado, a las que se añadió glicerol presentó valores menores 0,035-0,196 MPa. Sin embargo, la mezcla de los dos plastificantes no mostró diferencia significativa 0,038-0,395 MPa. Por otro lado, las películas con un mayor contenido de mucílago (1%) fueron más rígidas y menos flexibles que los otros dos porcentajes (0,5% y 0,75%). Lo anterior se encuentra también en las películas de mucílago de nopal, en donde se menciona que las películas que tenían una proporción más elevada de mucílago de nopal

(8-10%) exhibieron una mayor dureza y menor capacidad para flexionarse. Esto es debido a que se observó una reducción significativa en la cantidad de moléculas de glicerol disponibles para interactuar con el polímero como plastificante, en presencia de una mayor concentración de mucílago. Dando como resultado una disminución en la capacidad del glicerol para unir moléculas de agua a la estructura del polímero, provocando una disminución en la movilidad y espacio disponible entre cadenas poliméricas. Esta reducción se debe al aumento de sólidos provenientes del mucílago y a su capacidad gelificante [35, 36].

4. CONCLUSIONES

Las películas en las que se utilizó glicerol y la combinación de glicerol y sorbitol mostraron ser más solubles en agua. Sin embargo, las formuladas solo con glicerol obtuvieron menores medidas en el espesor y de textura más pegajosa, lo que las hacía menos manejables para ser usadas como envases. En las propiedades mecánicas de las diferentes formulaciones de mucílago y plastificantes, las que presentaron mejores resultados fueron las formuladas con 0,5 y 0,75 gramos de mucílago, presentando una única diferencia en el porcentaje de elongación, en donde se obtuvieron resultados con valores superiores cuando está presente el glicerol como plastificante. Se determinó que la mejor formulación para fines de uso como biopelícula para uso en alimentos es la de 0,75 g de mucílago de chan, 1 ml de sorbitol y 3 ml de glicerol, que corresponden a la formulación de 0,75MG/S, que resultó tener mejores efectos como biopelícula formada, tanto en sus propiedades mecánicas como en las propiedades de barrera.

5. REFERENCIAS

- [1] Aguilar, J.A., García, I., Quiroz, J.D.C. (2020). Alargamiento de la vida de anaquel de las frutas por el uso de biopelículas. *Revista Boliviana de Química*, 37(1):40-45.
- [2] Guaña, F., Vaca, M., Aguilar, J. (2022). Biopelículas y envases activos, nuevas tecnologías en la industria alimentaria. *FACSalud*. 6(10):18-32.
- [3] Pico, J.P., Sarabia, D.A., Vargas, E.A. (2023). Recubrimientos comestibles: una alternativa para la conservación de frutas. *Brava*. 15(4):313-327.
- [4] Urbizo, U., San Martin, M.F., García, J., Liceaga, A.M. (2020). Development of chia seed (*Salvia hispanica*) mucilage films plasticized with polyol mixtures: Mechanical and barrier properties. *International Journal of Biological Macromolecules*. 163(1):854864.

- [5] Tosif, M.M., Najda, A., Bains, A., Kaushik, R., Dhull, S.B., Chawla, P., Walasek, M.A. (2021). Comprehensive Review on Plant-Derived Mucilage: Characterization, Functional Properties, Applications, and Its Utilization for Nanocarrier Fabrication. *Polymers*. 13(1)1066.
- [6] Boudarel, H., Mathias, J.D., Blaysat, B., Grédiac, M. (2018). Towards standardized mechanical characterization of microbial biofilms: analysis and critical review. *Biofilms and Microbiomes*. 4(1):17.
- [7] Solano, L.G., Alamilla, L., Jiménez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 21(2):3042.
- [8] Kozlu, A., Elmaci, Y. (2020). Quince seed mucilage as edible coating for mandarin fruit; determination of the quality characteristics during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*. 44(11):14854.
- [9] Islas, R.P., Márquez, J.M., Amaya, C.A., Gallardo, C.T., Galindo, S.A., Treviño, M.Z. (2024). Avances recientes en el desarrollo de recubrimientos comestibles aplicados en productos cárnicos. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 9(1):32-42.
- [10] Gloag, E., Fabbri, S., Wozniak, D., Stoodley, P. (2020). Biofilm mechanics: Implications in infection and survival. *Biofilm*. 2(1):100017.
- [11] Álvarez, A., Manjarres, J., Ramírez, C., Bolívar, G. (2021). Use of an exopolysaccharide-based edible coating and lactic acid bacteria with antifungal activity to preserve the postharvest quality of cherry tomato. *Food science and Technology*. 151(1):112225.
- [12] Alpizar, E. (2018). Extracción, caracterización y evaluación del mucílago de la semilla de tamarindo como agente encapsulante del aceite de ajonjolí (*Sesamum indicum L.*). Tesis de maestría. Universidad Autónoma del Estado de México.
- [13] Thompson, E. (2020), Extracción y caracterización reológica y funcional del hidrocoloide de las semillas del chan (*Hyptis suaveolens*), Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- [14] Naveed, M., Ahmed, M.A., Benard, P., Brown, L.K., George, T.S., Bengough, A., Roose, T., Koebernick, N., Hallett, P.D. (2019). Surface tension, rheology and

hydrophobicity of rhizodeposits and seed mucilage influence soil water retention and hysteresis. *Plant Soil*. 437(1):65–81.

[15] Morales, M.E., Ramos, E.G., Salazar, J.A. (2020). Modeling and optimization of the parameters affecting extraction of the chan seed mucilage (*Hyptis suaveolens* (L.) Poit) by mechanical agitation (MA) and ultrasound-assisted extraction (UAE) in a multiple variables system. *Food and Bioproducts Processing*. 120(1):166-178.

[16] Mishra, P., Sohrab, S., Mishra, S.K. (2021). A review on the phytochemical and pharmacological properties of *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. *Futur J Pharm Sci*. 7(1):65.

[17] Beigomi, M., Mohsenzadeh, M., Salari, A. (2018). Characterization of a novel biodegradable edible film obtained from *Dracocephalum moldavica* seed mucilage. *International Journal of Biological Macromolecules*. 108(1):874-883.

[18] Dugarte, N.Y., Molina, F.A., García, M.A. (2020). Aplicaciones de los mucílago en el sector agroalimentario: Application of mucilages in the agro-food sector. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 30(1):71-76.

[19] Dybka, K., Otlewska, A., Gózd, P., Piotrowska, M. (2021). The Renaissance of Plant Mucilage in Health Promotion and Industrial Applications: A Review. *Nutrients*. 13(10):3354.

[20] Banin, O., Koushesh, M., Emamifar, A. (2016). Aloe vera and ascorbic acid coatings maintain postharvest quality and reduce microbial load of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 114(1):29-35.

[21] Tezotto, J.V., Fargoni, G.P. (2018). Chitosan applications pre - or post-harvest prolong raspberry shelf-life quality. *Postharvest Biology Technology*. 91(1):72-77.

[22] Xu, X., Peng, Q., Zhang, Y., Tian, D., Zhang, P., Ying, H., Ma, L., Qiao, Y. (2020). A novel exopolysaccharide produced by *Lactobacillus coryniformis* NA-3 exhibits antioxidant and biofilm-inhibiting properties in vitro. *Food & Nutrition research*. 64(1).

[23] Badreddine, M., Abdellah, R., Laid, G., Ali, R., (2022). Development and characterization of edible biofilms based on mucilage of *Opuntia ficus-indica* and Locust Bean Gum from Tissemsilt region in Algeria. *South Asian Journal of Experimental Biology*. 12(1):117-127.

- [24] Bojórquez, E., Lino, G., Huerta, J.A., Barrera, A., Barba, A., Moreno, A., Mancilla, A., Osuna, J. (2016). Purification and biochemical characterization of 11S globulin from chan (*Hyptis suaveolens* L. Poit) seeds. *Food Chemistry*. 192(1):203-211.
- [25] Hernández, J., Madrigal, L., Pérez, M., Carvajal, T., Orendain, J. (2019). Comparación de dos métodos de extracción de mucílago de chan sobre sus características físico-químicas. *Revista de Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 4(1):866-872.
- [26] Ramírez, J.C., Gómez, B., Díaz, C., Gasca, R. (2017). Análisis de la absorbancia y Transmitancia Espectral del mucílago de *Salvia hispanica* L. para la Fotoprotección de la Piel. *Revista de Ciencias de la Salud*. 4(10):13-22.
- [27] Mendoza, B., Gómez, E., Hernández, E., Rodríguez, A., Chavarría, N. (2014). Elaboración y caracterización de películas biodegradables a partir de mucílago de nopal-caseinato de sodio y mucílago de nopal-pectina. *Ciencias Agropecuarias*. 2(1):130-136.
- [28] Román, J.A., Rosas, J.L., Rodríguez, A.L., Palma, H.M., Vargas, A., Juárez, A.L. (2021). Evaluación de solubilidad y pérdida de peso en la degradación de biopelículas elaboradas a base de mezclas de harina de plátano y chayotextle. *RINDERESU*. 5(1):190-204.
- [29] González, R.E., Pérez, J., García, L.A. (2017). Efecto de la adición de goma gelana sobre las propiedades de barrera y físico mecánicas de biopelículas binarias. *Información Tecnológica*. 28(1):143-150.
- [30] Silva, H.N., Gomes, F.L., De lima, R.H., Mendes, E.M., Gomes, F.K. (2020). Influence of Glycerol content on the physic-chemical and mechanical properties of cassava starch films. *Materials Science Forum*. 1012(1):57-61.
- [31] Díaz, M.D., Ramos, E.G., Gimeno, M., Salazar, J.A. (2023). Supercritical CO₂ Extraction of oil from Chan (*Hyptis suaveolens* (L.) Poit) Seeds and its Physicochemical Characterization, Spectroscopy and Nutritional Analysis. *Food Analytical Methods*. 16(1):918-932.
- [32] Ortiz, M., Cruz, A. (2022). Determinación del módulo de Young. *Ingenio y Ciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Sahagún*. 9(17):52-63.

- [33] Lua, E., Surugau, N. (2020). Characteristics and properties of biofilms made from pure carrageenan powder and whole seaweed (*Kappaphycus sp.*). *Journal of Advanced research in fluid mechanics and thermal sciences*. 76(2):99-110.
- [34] González, D., Luna, B., Martínez, G.C., Rodríguez, H., Avendaño, V., Rojas, R. (2019). Formulation and Characterization of Edible Films Based on Organic Mucilage from Mexican *Opuntia ficus-indica*. *Coatings*. 9(8):506.
- [35] Kosarsoy, G. (2022). A new approach to nanocomposite carbohydrate polymer films: Levan and chia seed mucilage. *International Journal of Biological Macromolecules*. 218 (1):751-759.
- [36] Guadarrama, A.Y., Castaño, J., Velázquez, G., Carrillo, H., Álvarez, J. (2018). Effect of nopal mucilage addition on physical, barrier and mechanical properties of citric pectin-based films. *Journal of Food Science and Technology*. 55(1):3739-3748.
- [37] Dick, M., Haas, T.M., Gomaa, A., Subirade, M., De Oliveira, A., Hickmann, S. (2015). Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*, 130(1):198-205.