
APROVECHAMIENTO DEL ALMIDÓN DE CAMOTE (*Ipomoea batatas* (L.) Lam. Convolvulaceae) PARA LA FORMULACIÓN DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

USE OF SWEET POTATO STARCH (*Ipomoea batatas* (L.) Lam. Convolvulaceae) FOR THE FORMULATION OF EDIBLE COATINGS

Norma Leticia Flores-Martínez^{a*}, Patricia Ibarra-Torres^a, Lorenzo Jarquín-Enríquez^a, Hugo Jiménez-Islas^b

^aDepartamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Politécnica de Guanajuato, Avenida Universidad Sur # 1001; Comunidad Juan Alonso, Cortázar, Guanajuato, 38496, México.

^bDepartamento de Ingeniería Bioquímica, Tecnológico Nacional de México en Celaya, Guanajuato, México
E-mail: nlflores@upgto.edu.mx

Received October 04, 2022; Revised: November 15, 2022; Accepted: November 16, 2022

Resumen

A partir de diferentes proporciones de almidón de camote morado *Ipomoea batatas* (L.) y aceite de clavo de olor *Syzygium aromaticum* (L.), se elaboraron películas comestibles por el método de casting, las cuales se caracterizaron a través de diferentes pruebas. En las formulaciones que contenían las concentraciones intermedias de los componentes se observó una superficie homogénea, permitiendo mejorar la tensión a la fractura y disminuyendo la permeabilidad al vapor de agua. Para las isoterms de adsorción se utilizó el modelo de GAB por su amplio margen de humedad relativa que va desde un 0 a 1 %, reflejando una humedad en el equilibrio al utilizar los dos componentes en concentraciones altas. F6 mostró una disminución en la permeabilidad al vapor de agua obteniendo 1×10^{-8} g/m s Pa⁻¹, también actuó como una excelente barrera en el comportamiento de la humedad en la monocapa, reportando como el material con mejores características para su posterior aplicación y evitando el uso excesivo de materia prima. Finalmente, el resultado obtenido con la concentración más alta de aceite esencial de clavo demostró inhibición sobre *Staphylococcus aureus* patógenos contaminantes en el deterioro de alimentos.

Palabras clave: almidón, amilosa, películas comestibles, caracterización, inhibición

Abstract

From different proportions of sweet potato starch *Ipomoea batatas* (L.) and clove oil *Syzygium aromaticum* (L.), edible films were made by the casting method, which were characterized through different tests. In the formulations that contained the intermediate concentrations of the components, a homogeneous surface was observed, allowing the fracture stress to be improved and the permeability to water vapor to decrease. For the adsorption isotherms, the GAB model was used due to its wide range of relative humidity that goes from 0 to 1%, reflecting a humidity in equilibrium when using the two components in high concentrations. F6 showed a decrease in the permeability to water vapor, obtaining 1×10^{-8} g/m s Pa⁻¹, it also acted as an excellent barrier in the behavior of humidity in the monolayer, reporting as the material with the best characteristics for its subsequent application and avoiding excessive use of raw material. Finally, the result obtained with the highest concentration of clove essential oil showed inhibition of *Staphylococcus aureus* contaminating pathogens in food spoilage.

Keywords: starch, amylose, edible films, characterization, inhibition

Introducción

En los últimos años se han desarrollado materiales de empaque con propiedades mecánicas deseadas y con excelente durabilidad, a partir de materiales no biodegradables, lo cual ha provocado impactos negativos en el cuidado del medio ambiente. Esto ha generado más estudios en el campo de películas y recubrimientos biodegradables y comestibles (Henriette M.C. Azeredo y col. 2022; Shima Jafarzadeh y col. 2022; Ana Flávia Sampaio Paulo y col. 2021). Por lo que se busca que la materia prima provenga de una fuente renovable, abundante y económica, para que el uso industrial sea factible. Por tal motivo, se han realizado diversos estudios utilizando polisacáridos como materiales para la formulación de películas comestibles. La selección de biopolímeros determina las propiedades mecánicas y de barrera de las películas. La formulación de cada película comestible depende directamente de la aplicación que se requiera. Existen diferentes materiales utilizados para producir películas biodegradables; Gilbert, Gontard y Gorris (1996) mencionaron que varios materiales pueden ser incorporados dentro de las películas comestibles incluyendo proteínas, lípidos y carbohidratos (gomas, almidón, derivados de la celulosa y pectinas) o la combinación entre estos para modificar las propiedades mecánicas, protectoras y sensoriales (Dunja Molnar y col. 2023; Xinyu Sun y col. 2022; Rajat Suhag y col. 2020). La influencia que tendrá el aditivo sobre las propiedades de la película dependerá del grado de concentración, estructura química, grado de dispersión en la película y la interacción con los polímeros. En general, una mayor concentración de plastificante en la suspensión de la película proporcionó un aumento en la solubilidad en agua, en la elongación y la permeabilidad al vapor de agua (Lucio Ballesteros-Martínez y col., 2020).

Entre los biopolímeros más utilizados en recubrimientos comestibles se encuentra el almidón, ya que se puede encontrar en distintas fuentes: cereales como maíz, arroz y trigo (30 a 80 %), leguminosas frijol y chícharo (25 a 50 %) y en los tubérculos como camote, papa y yuca de 60 a un 90 % (Lasas Putri Wigati y col. 2022; Inyoung Choi y col., 2022; Yue Zhou y col. 2021; Romina Farajpour y col. 2020). Dentro de los tubérculos que contienen un alto porcentaje de almidón se encuentra el camote. La variedad morada con pulpa blanca *Ipomoea batatas* (L.), además de sus propiedades alimentarias, el camote morado ofrece beneficios a la salud gracias a sus altos contenidos en antioxidantes (antocianinas), los cuales ayudan a combatir el estrés oxidativo y el

síndrome metabólico (Tian Jiang y col. 2022), por lo que se propone el aprovechar estos residuos.

Para la formulación de los recubrimientos, se emplean diversos polímeros que incluyen las proteínas, carbohidratos y polisacáridos, obteniendo películas transparentes que presentan propiedades mecánicas moderadas. Sin embargo, las aplicaciones se limitan debido a que los recubrimientos son solubles en agua y permeables al vapor de agua. Para mejorar dichas condiciones es posible incorporar compuestos hidrofóbicos como ceras o aceites (aceite de clavo de olor) ya que los lípidos no pueden formar una película por sí mismos y por último un plastificante (glicerol) para darle flexibilidad al sistema (Lasas Putri Wigati y col. 2022; Gargi Ghoshal y col. 2022; Yue Zhou, y col. 2021). Siendo el objetivo de este trabajo el aprovechamiento del almidón extraído del camote para la elaboración y caracterización de recubrimientos comestibles.

Metodología

El almidón fue extraído del camote morado pulpa blanca *Ipomoea batatas* (L.) los cuales fueron adquiridos en el mercado local de Celaya, Guanajuato, México. El aceite de clavo de olor *Syzygium aromaticum* (L.) utilizado fue extraído del clavo de olor por medio de la técnica de hidrodestilación. Se utilizó el glicerol marca J.T Baker, CAS No. 56-81-5 y por último para el desarrollo de la matriz polimérica se utilizó gretina grado Bloom 290.

Extracción del almidón

La extracción de almidón de camote *Ipomoea batatas* (L.) se realizó empleando el proceso general reportado por Hernández y col. (2008). El camote se limpió para retirar cualquier material extraño, se lavó con suficiente agua y se cortaron en cubos de 3 x 3 cm para posteriormente ser remojados en una solución de bisulfito de sodio (1500 ppm) en relación 1:3 (p/v), moliendo por 2 minutos hasta la obtención de una lechada de camote. La lechada se filtró por medio de una malla No. 80 y se dejó sedimentar a 4 °C por 4 h. después del tiempo transcurrido se realizaron dos lavados con agua destilada, sin eliminar el ultimo lavado, se centrifugó a 2500 rpm por 12 minutos, al recuperar la pastilla, se colocó en charolas de aluminio extendidas y se secó en una estufa de convección a 55 °C por 1 hora. Se realizó un segundo tamizado con una malla No. 100 y se almacenó en frascos limpios y secos con sello hermético.

Determinación de amilosa

Se determinó de amilosa mediante el método de Morrison y Lagnelet, (1983). Se pesaron 70 mg (b.s.) de almidón de camote en tubos de ensayo, se le colocaron agitadores magnéticos y se le añadieron 10 ml de una solución Urea- DMSO (en relación 1:9 v/v). La mezcla se colocó en un baño de agua en ebullición en una placa de calentamiento con agitación por 10 minutos hasta obtener una solución homogénea. Se colocaron en una estufa de convección a 100 °C por 1 h y se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Se tomaron 0.5 ml de la solución y se transfirieron a matraces aforados de 50 ml y se pesaron los 0.5 ml añadidos a cada matraz. Se añadieron 25 ml de agua destilada, se adicionó 1 ml de una solución de I₂/IK (2 mg de I₂ y 20 mg de IK en 1 ml), se aforaron los matraces con agua destilada y se mezcló la solución hasta quedar homogénea. Se realizó un blanco con agua destilada y los reactivos antes mencionados, se esperaron 10 minutos para que esta se estabilizara y a todas las muestras se les midió la absorbancia a 635 nm en el espectrofotómetro OPTIZEN POP®.

Se calculó el valor azul y el porcentaje de amilosa aparente mediante la ecuación 1.

$$\text{Valor azul} = \frac{ABS \times 100}{(2)(g \text{ de solución})(mg \text{ almidón})} \quad \text{Ec.1}$$

Preparación de película comestible

La solución formadora de la película comestible se preparó siguiendo el mismo procedimiento para cada formulación. Se dispersó el almidón de camote en 90 ml de agua destilada. Esta dispersión se llevó a un baño de ebullición con agitación, se agregó grenetina poco a poco (2 %), simultáneamente se agregó agua (10 ml) para que se incorporara con el almidón, se mezcló con glicerol 0.5 % p/p y por último se adicionó el aceite de clavo de olor. Se monitoreo la temperatura a 80 °C por 20 minutos, manteniendo una agitación constante. Pasado el tiempo, se vertieron 10 ml de la solución en cajas Petri y fueron llevadas a la estufa de convección para ser secadas por 1 h, posteriormente para terminar de secarse fueron puestas en un área delimitada por una malla por 48 h. Después del secado, las películas fueron despegadas de las placas y resguardadas en protectores para hoja.

Caracterización del biomaterial

Propiedades mecánicas

Dentro de las propiedades se evaluaron la tensión, porcentaje de deformación y módulo de Young. Las muestras fueron cortadas en rectángulos de 1 x 8 cm con un cortador de precisión de acuerdo con las especificaciones de la norma ASTM D882-02 y acondicionadas previamente en una solución de NaBr con 57 % de HR por un tiempo de 5 días. Previamente se determinó el espesor de cada película en 10 puntos al azar. Las propiedades mecánicas fueron analizadas con un texturómetro (Texture Analyser® TA plus). Utilizando pinzas mecánicas con una separación de 60 mm y operando a una velocidad de desplazamiento de 2 mm/s. Se evaluaron 3 réplicas por cada formulación.

Colorimetría

El color de la película se determinó por el método descrito por Thakur y col., 2017 con algunas modificaciones. Se realizó con un colorímetro Konica Minolta®, el cual fue calibrado con el iluminante D₆₅ (Y= 93.8, x= 0.3157 y y= 0.3322). El perfil de color fue expresado con L= 100 (blanco) a L= 0 (negro), -a= (verde) a +a= (rojo) y -b =(azul) a +b = (amarillo). La diferencia de color total se calculó mediante la ecuación 13. La película fue cortada con un diámetro 54 mm y tapada. Se registraron tres lecturas de tres repeticiones y se calculó el promedio.

Solubilidad

La solubilidad fue determinada por el método expuesto por Palma y col., (2017). Se cortaron las piezas de cada película con dimensiones de 2 x 3 cm, las cuales se almacenaron en un desecador con sílica gel 0 % HR, durante 7 días. Los pesos de las películas fueron registrados y posteriormente puestos en un vaso con agua destilada (80 ml) en una plancha de calentamiento (60 °C) con agitación aproximada de 125 rpm por 5 minutos. Pasado el tiempo la solución fue filtrada y secada en estufa de convección a 60 °C por 2 h. Después estas fueron pesadas y finalmente se determinó el porcentaje de materia soluble (% solubilidad), el cual se calculó para cada formulación con 3 réplicas.

Isotermas de adsorción

Esta técnica se realizó de acuerdo con la norma ASTM E104- 02. Las muestras fueron cortadas con dimensiones de 3x3 cm (por triplicado), fueron puestas en recipientes de acrílico herméticos, cada uno de ellos contenía una solución sobresaturada desde 11 a 90 % de humedad relativa de equilibrio a

30 °C. Las biopelículas fueron pesadas utilizando una balanza analítica, después de 5 días que las muestras mostraron un equilibrio en su peso fueron secadas hasta obtener un peso constante para obtener la cantidad de agua en el equilibrio de las muestras de cada frasco. El contenido de humedad en la monocapa (X_m) fue calculado utilizando el modelo de GAB.

Permeabilidad al vapor de agua

La determinación de permeabilidad al vapor de agua (PVA), se realizó conforme a la norma ASTM E96-10. En una celda de acrílico con un diámetro interno de 30.3 mm fueron puestas las películas recortadas con un diámetro de 54 mm, previamente determinado el espesor en 10 puntos al azar. Este recipiente en sus paredes internas contenía sílica gel con 0 % HR y a su vez contaba con una celda de permeabilidad con agua destilada en su interior 100 % HR y sobre esta celda en medio de 2 empaques se posicionó la película. El cambio de peso fue registrado cada minuto por 8 horas y se determinó la pendiente de la pérdida de peso utilizada para calcular el coeficiente de transferencia de vapor (CTVA). Tomando en cuenta la diferencia de presión en el medio (ΔP) = 3183.8 Pa correspondiente a 30 °C.

Análisis microbiológico

Uno de los sistemas más importantes para la identificación de microorganismos es observar su crecimiento en sustancias alimenticias artificiales preparadas en el laboratorio. El medio de cultivo utilizado fue Agar de sal y manitol (aislamiento de *Staphylococcus aureus*). La cepa de *Staphylococcus aureus* fue puesta a prueba para conocer la resistencia a los medicamentos que se mencionan en la tabla 3 por medio de antibiogramas, tomando cajas con numeración 19 y 20 coagulasa positiva para saber el comportamiento con el bioempaque. La medición del halo de inhibición se realizó con un Vernier digital de SS PRO1001309®.

Resultados y Discusión

La caracterización de cada materia prima fue realizada por triplicado al igual que las determinaciones preliminares realizadas para el almidón de camote y las soluciones filmogénicas. En la tabla 1 se muestra el valor promedio de cada extracción y determinación.

Tabla 1. Resultados de materia prima y solución filmogénica

Porcentaje de rendimiento de materias primas	
Extracción de aceite de clavo de olor	5 %
Extracción de almidón de camote morado	8 a 10 %
Almidón de camote morado	
Porcentaje de humedad	9.85 %
Porcentaje de amilosa	14.14 %
Solución filmogénica	
pH	5.4

Propiedades mecánicas

En la Figura 2 se muestra el comportamiento de la tensión a la fractura en las formulaciones con diferente contenido de almidón y aceite de clavo de olor. En el eje X se muestran las diferentes concentraciones de aceite de clavo de olor (30, 45 y 60 mg/L), en el eje Z se observan las concentraciones de almidón de camote (2, 3.5 y 5 g) y en el eje Y la variable de respuesta (tensión a la fractura) en unidades de MPa.

La gráfica de sábana muestra un comportamiento diferente con la combinación de estos dos compuestos. La zona roja de la sábana refleja el punto más alto de tensión. Como se puede observar, este comportamiento lo dan las formulaciones de alto contenido de aceite de clavo con una baja concentración de almidón tomando como resultado 60 MPa.

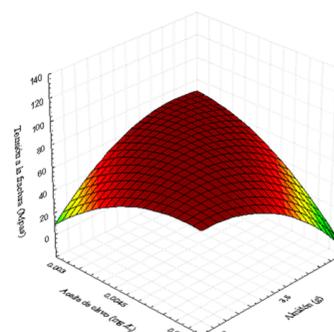


Figura 2. Tensión a la fractura en diferentes concentraciones de almidón y aceite de clavo de olor

En la Figura 3 se muestra el porcentaje de deformación en las diferentes formulaciones. Se puede observar en el comportamiento de la sábana que las formulaciones con mayor % E son aquellas que tienen una alta concentración de aceite y almidón (60 mg/L con 3.5 y 5 g); sin embargo, el porcentaje obtenido de deformación es demasiado bajo.

Romero C. en el 2016 reportó que en películas de almidón de maíz incorporando un aditivo, se crean fuertes interacciones por puentes de hidrógeno con el almidón, mejorando la tensión y el módulo de Young, pero a su vez afectando la flexibilidad de las cadenas de almidón disminuyendo el valor de deformación. Este comportamiento ha sido observado por otros investigadores en películas de almidón (Huang y col, 2004;2006; Chung y col, 2010; Müller y col, 2011). Haciendo referencia a la Figura 3, la región plástica (color verde) representa la deformación permanente. Si el material se ha estirado más allá de su límite elástico, este obtiene una deformación tal que no regresará a su forma original aun cuando se elimine la fuerza aplicada.

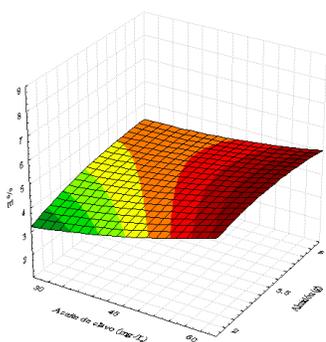


Figura 3. Porcentaje de deformación en las diferentes formulaciones

En la Figura 4 se observa el comportamiento del módulo de Young, el cual representa la rigidez de la película. Este valor tiene un comportamiento similar a la tensión a la fractura debido a que mientras más rígido sea un cuerpo más fuerza se requerirá para romperlo. Olivas y Barbosa en 2005 mencionan que para evitar que las películas a base de un biopolímero sean quebradizas, se puede adicionar un plastificante y que previo al estudio de propiedades mecánicas sean acondicionadas en humidades relativas (aproximadamente 50 %) para suavizar el material. El módulo de Young es constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico y es siempre mayor que cero.

Colorimetría

La película fue cortada con un diámetro 54 mm y tapada. Se registraron tres lecturas de tres repeticiones y se calculó el promedio. En la tabla 2 se puede observar la diferencia de color total en cada una de las formulaciones. Esto se debe principalmente a la adición del almidón, ya que vuelve

más espesa a la solución filmogénica y por lo tanto la película se vuelve menos traslúcida, recordando también que la incorporación de un aceite esencial en la formulación opacará a la película.

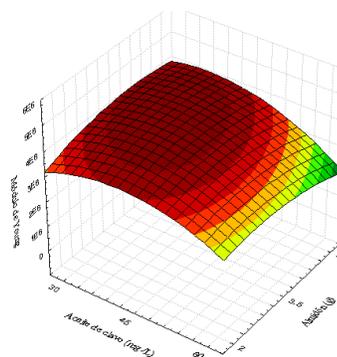


Figura 4. Comportamiento del módulo de Young en las diferentes formulaciones

Tabla 2. Diferencia de color total de la película seca.

Codificación	Almidón (g)	Aceite (mg/L)	Diferencia de color total
C1	0	0	88.90
F1	2	30	87.16
F2	2	45	86.91
F3	2	60	86.86
F4	3.5	30	86.33
F5	3.5	45	87.23
F6	3.5	60	87.10
F7	5	30	85.81
F8	5	45	85.67
F9	5	60	85.63

Solubilidad

En la Figura 5 se muestra la solubilidad de cada una de las formulaciones realizadas. Como se puede observar en la sábana, aquellas formulaciones con mayor cantidad de solutos obtuvieron menor solubilidad. Bertuzzi y col. en el 2006 mencionan que un aumento de la temperatura provoca una ligera disminución de la solubilidad y un aumento en la difusión del vapor de agua a través de la película.

Isotermas de adsorción

El desempeño de las películas se ven reflejado cuando son sometidas a distintas condiciones de

humedad relativa como en las isotermas de adsorción. Las Figuras 6 muestran las isotermas de adsorción a una temperatura constante de 30 °C. Los datos experimentales se muestran en puntos y la línea sólida muestra el ajuste utilizando el modelo de GAB, los datos se observan en la Tabla 3. Se puede observar que a medida que aumenta la a_w , el contenido de humedad en él equilibrio se ve incrementado. Sin embargo, el incremento de humedad es mayor al aumentar el contenido de almidón en la película y disminuye cuando se incrementa el aceite de clavo de olor en la formulación.

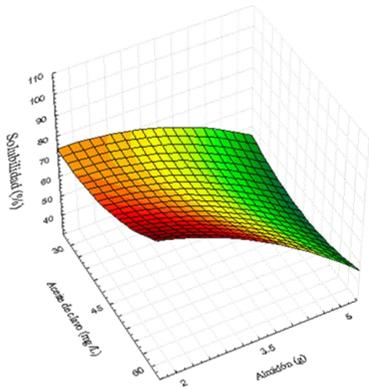


Figura 5. Solubilidad de las películas en distintas formulaciones de aceite de clavo de olor y almidón de camote morado.

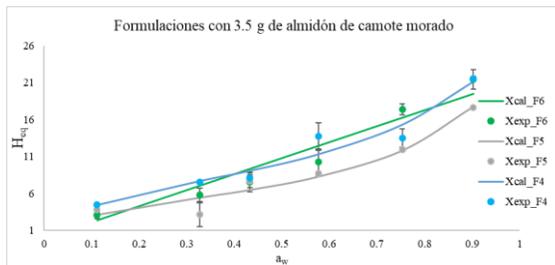


Figura 6. Isotermas de adsorción para las formulaciones F4, F5 Y F6 (0.5 g de glicerol, 2 g de grenetina, 3.5 g de almidón y 30, 45 y 60 mg/L de aceite de clavo de olor)

Romero (2016) menciona también que la adición de los componentes al momento de preparar la solución filmogénica puede cambiar el comportamiento ya que el primer compuesto incorporado será quien tenga mayor interacción con el agua incrementando así el valor de X_m .

Tabla 3. Parámetros de GAB estimados para las distintas formulaciones

Parámetros	Película	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
X_m		4.82	6.51	7.50	6.89	4.66	3.31	5.17	5.66
C		30.82	8.54	9.70	15.57	15.62	4.34	20.37	21.96
K		0.87	0.69	0.73	0.75	0.82	0.001	0.83	0.79
R^2		0.96	0.96	0.96	0.99	0.91	0.99	0.99	0.93

Permeabilidad al vapor de agua

Como podemos observar en la Figura 7 la película comestible con más baja permeabilidad 30 mg/L - 2 g y 60 mg/L -3.5 g reflejan un PVA= 1 E-8 g/m.s.Pa. Thakur en 2017 menciona que al incrementar el almidón en la formulación es posible tener un impacto en el espesor y a mayor espesor menos será la permeabilidad al vapor de agua, por otro lado, Paspuel en 2016 indica que las variaciones en el espesor de la película generan problemas en el desempeño de las propiedades mecánicas y propiedades de barrera ya que comprometen el desempeño del bioplástico.

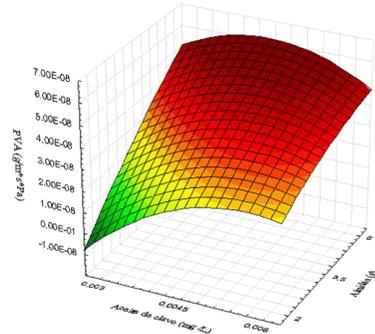


Figura 7. Comportamiento de la permeabilidad al vapor de agua.

Pruebas microbiológicas

En la tabla 4 se muestran los controles (C1 y C2) son explicados de la siguiente manera: C1: corresponde a la película formada a base de glicerol y grenetina, C2: corresponde a 10 μ L de aceite de clavo de olor. En esa misma tabla se puede observar si cada una de las codificaciones mostraron una inhibición contra *Staphylococcus aureus*. Tomando como representación “+” como aquel que presentó inhibición y una “/” para demostrar que no existió inhibición del microorganismo, tomando en cuenta como: **S**: *Staphylococcus aureus*

Tabla 4. Codificación de las formulaciones para prueba microbiológica

Codificación	Almidón (g)	Aceite de clavo (mg/mL)	Inhibición
			S
C1	-	-	+
C2	-	-	/
F1	2	30	+
F2	2	45	+
F3	2	60	+
F4	3.5	30	+
F5	3.5	45	+
F6	3.5	60	+
F7	5	30	+
F8	5	45	+
F9	5	60	+

Para todas aquellas codificaciones que contienen aceite de clavo de olor se cumple el funcionamiento de agente antimicrobiano y demuestra que la película se vuelve una barrera fuerte contra microorganismos gram-negativos, esto debido a la alta concentración de eugenol (82 %) en el aceite de clavo de olor. Di Pasqua y col. en el 2007 midieron los cambios en la composición principal de ácidos grasos de la membrana celular en *Staphylococcus aureus*. Das y col. (2016) estudiaron el mecanismo de acción del eugenol frente a varios aislamientos de *Staphylococcus aureus* a partir de muestras de pus, incluyendo también *Staphylococcus aureus* resistente a la vancomicina. La actividad antimicrobiana del eugenol se puede atribuir a la presencia de un grupo hidroxilo libre en la molécula (Nazzaro y col, 2013). La mayor parte de la actividad antimicrobiana del eugenol es conferida por sus grupos hidroxilo libres (Laekeman y col., 1990) y en el pasado algunos autores plantearon la hipótesis de que el grupo hidroxilo en eugenol se une a las proteínas, evitando la acción enzimática (Burt, 2004; Wendakoon y Sakaguchi, 1993).

Conclusiones

La caracterización fisicoquímica demostró la estabilidad de las cadenas poliméricas que formaron la película comestible de almidón y gretina provocando mayor estabilidad, permitiendo mejorar la tensión a la fractura y disminuyendo la permeabilidad al vapor de agua, para las isoterms de adsorción se utilizó el modelo de GAB reflejando una humedad en el equilibrio al utilizar los dos componentes en concentraciones altas, finalmente la incorporación de aceite esencial de clavo demostró inhibición sobre *Staphylococcus aureus*.

Referencias

Ana Flávia Sampaio Paulo, Tahis Regina Baú, Elza Iouko Ida, Marianne Ayumi Shirai. (2021). Edible coatings and films with incorporation of prebiotics — A review, *Food Research International*. 148, 110629. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110629>.

Bertuzzi A, Castro F, Armada M y Gottifredi C. (2006). Water Vapor Permeability of Edible Starch Based Films. Elsevier Ltd. All rights reserved. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.07.016.

Burt S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods a review. *Int J Food Microbiol* 94:223–53.

Chung Y., Ansari, S., Esteves, L., Hayrapetyan, S., Giannelis, E. and Lai, H. (2010). *Carbohydrate*. 79, 391-396.

Das B, Mandal D, Dash SK, et al. (2016). Eugenol provokes ROS-mediated membrane damage-associated antibacterial activity against clinically isolated multidrug-resistant *Staphylococcus aureus* strains. *Infect Dis (Auckl)* 9:11.

Di Pasqua R, Betts G, Hoskins N, et al. (2007). Membrane toxicity of antimicrobial compounds from essential oils. *J Agric Food Chem* 55:4863–70.

Dunja Molnar, Dubravka Novotni, Mia Kurek, Kata Galić, Damir Iveković, Helena Bionda, Mario Ščetar. (2023). Characteristics of edible films enriched with fruit by-products and their application on cookies, *Food Hydrocolloids*. 135, 108191. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108191>.

Gargi Ghoshal, Shivani. (2022). Thyme essential oil nano-emulsion/Tamarind starch/Whey protein concentrate novel edible films for tomato packaging, *Food Control*, 138, 108990. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108990>.

Henriette M.C. Azeredo, Caio G. Otoni, Luiz Henrique C. Mattoso. (2022). Edible films and coatings – Not just packaging materials, *Current Research in Food Science*. 5, 1590-1595. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.09.008>.

Hernández y col, (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán.

Huang, M. Gao, J. Y Ma, X. 2004. Studies on the properties of montmorillonite-reinforced thermoplastic starch composites. *Polymer*. 45, 7017-7023.

Huang M., Yu, J. y Ma, X. 2006. High mechanical performance MMT-urea and formamide plasticized thermoplastic cornstarch biodegradable nanocomposites. *Carbohydrate*. 63, 393-399.

Inyoung Choi, Dongchan Shin, Ji Sou Lyu, Jung-Soo Lee, Hong-geon Song, Mi-Nam Chung, Jaejoon Han. (2022). Physicochemical properties and solubility of sweet potato starch-based edible films. *Food Packaging and Shelf Life*, 33, 100867. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100867>.

Laekeman G, Van Hoof L, Haemers A, et al. (1990). Eugenol a valuable compound for in vitro experimental research and worthwhile for further in vivo investigation. *Phytother Res* 4:90–6.

Laras Putri Wigati, Ata Aditya Wardana, Fumina Tanaka, Fumihiko Tanaka. (2022). Edible film of native jicama starch, agarwood Aetoxylon Bouya essential oil and calcium propionate: Processing, mechanical, thermal properties and structure. *International Journal of Biological Macromolecules*, 209, Part A, 597-607. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.04.021>.

Lucio Ballesteros-Mártinez, Carmen Pérez-Cervera, Ricardo Andrade-Pizarro. (2020). Effect of glycerol and sorbitol concentrations on mechanical, optical, and barrier properties of sweet potato starch film. *NFS Journal*, 20, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.06.002>.

Morrison y Lagnelet. (1983). Procedimiento colorimétrico mejorado para determinar la amilosa aparente y total en cereales y otros almidones. *Journal Cereal Science*. 1:(PP.19-35).

Müller C. M. O.; Laurindo, J. B.; Yamashita, F. (2011). Effect of nanoclay incorporation method on mechanical and water vapor barrier properties of starch-based films. *Ind. Crops and Prod.* 33(3):605-610.

Norma ASTM D882. (2002). Propiedades de tracción de láminas plásticas finas. Sociedad Americana de Pruebas y Materiales. Estados Unidos.

Norma ASTM E96. (2010). Transmisión de materiales de vapor de agua. Sociedad Americana de Pruebas y Materiales. Estados Unidos.

Nazzaro F, Fratianni F, De Martino L, et al. (2013). Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals (Basel)* 6:1451–74.

Norma ASTM E104. (2002). Mantenimiento de la humedad relativa constante mediante soluciones

acuosas. Sociedad Americana de Pruebas y Materiales. Estados Unidos

Olivas G. I. and Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Edible coatings for fresh-cut fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 45(7), 657-670. <https://doi.org/10.1080/10408690490911837>

Palma H, Salgado R, Páramo D, Vargas A y Meza M. (2017). Caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche. *Acta Universitaria*, 27(1), 26-33. <http://doi:10.15174/au.2017.1215.016/jssas.2017.09.005>

Paspuel, A. (2016). Caracterización de un Bioplástico de Almidones de Maíz y Yuca con Antocianinas de Repollo Morado (*Bassica oleracea*) como potencial indicador de pH. Tesis para obtener el grado de licenciatura. Zamorano, Honduras. Noviembre, 2016.

Rajat Suhag, Nishant Kumar, Anka Trajkovska Petkoska, Ashutosh Upadhyay. (2020). Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review, *Food Research International*, 136, 109582. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109582>.

Romero C. (2016). Efecto del contenido de amilosa en la estructura y las propiedades funcionales del almidón adicionadas con nanopartículas. Tesis para obtención de grado de doctorado. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada Unidad Querétaro (IPN).

Romina Farajpour, Zahra Emam Djomeh, Sohrab Moeini, Hamid Tavakolipour, Shila Safayan. (2022). Structural and physico-mechanical properties of potato starch-olive oil edible films reinforced with zein nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 149, 941-950. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.175>

Shima Jafarzadeh, Abdorreza Mohammadi Nafchi, Ali Salehabadi, Nazila Oladzad-abbasabadi, Seid Mahdi Jafari. (2021). Application of bio-nanocomposite films and edible coatings for extending the shelf life of fresh fruits and vegetables, *Advances in Colloid and Interface Science*. 291, 102405. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102405>.

Thakur R, Saberi B, Pristijono P, Golding J, Stathopoulos C, Scarlett C, Bowyer Zou, G. Song, X. Chen, F y Shen, Z. (2017). Physical and structural characterization of edible films made with zein and corn- wheat starch. Production and hosting by Elsevier B.V. on behalf of King Saud University.

Tian Jiang, Shuxin Ye, Wei Liao, Muci Wu, Jingren He, Nuno Mateus, Hélder Oliveira. (2022). The botanical profile, phytochemistry, biological activities and protected-delivery systems for purple sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.): An up-to-date review, *Food Research International*, 161,

2022, 111811.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111811>.

Wendakoon CN, Sakaguchi M. (1993). Combined effect of sodium chloride and clove on growth and biogenic amine formation of *Enterobacter aerogenes* in mackerel muscle extract. *J Food Protect* 56:410–13.

Xinyu Sun, Jiao Wang, Mengna Dong, Hui Zhang, Lihua Li, Li Wang. (2022). Food spoilage, bioactive food fresh-keeping films and functional edible coatings: Research status, existing problems and development trend, *Trends in Food Science & Technology*. 119, 122-132.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.004>.

Yue Zhou, Xuehui Wu, Jiahui Chen, Junhua He. (2021). Effects of cinnamon essential oil on the physical, mechanical, structural and thermal properties of cassava starch-based edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 184, 574-583.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.067>.