

Soluciones filmogénicas aplicado a cladodios como recubrimiento comestible Filmogenic solutions applied to cladodes as edible coating

Jenifer E. Jiménez-Estudillo ^a, Jorge Yáñez-Fernández ^a, Luis J. Corzo-Ríos ^a, Israel Arzate-Vázquez ^b,
Pedro López-Ordaz ^{a,*}

^a Departamento de Bioingeniería, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, Av. Acueducto S/N, Col. Barrio La Laguna, Ticomán, 07340, Ciudad de México, México.

^b Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías, Instituto Politécnico Nacional, Luis Enrique Erro s/n, Zacatenco, 07738, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, México.

Resumen

Los cladodios son perecederos durante su almacenamiento, por lo que se requiere implementar tecnologías que prolonguen su vida útil. El presente estudio evaluó el efecto de los recubrimientos a base de soluciones filmogénicas de almidón de maíz (AM) y yuca (AY) en cladodios frescos. Se determinó acidez, firmeza y pérdida de peso; así como también, las propiedades mecánicas y permeabilidad al vapor de agua de películas. Se prepararon 5 mezclas de AM y AY con concentraciones del 1 al 5% para recubrir los cladodios. El recubrimiento AM5 % – AY5 % mostró tener menor pérdida de peso, mayor firmeza, manteniendo la acidez a 0.307 % respecto al control (0.267 %) y una opacidad ($\Delta E 18.57 \pm 0.2$) que puede estar relacionada con la pérdida de humedad debido el paso de luz. Así mismo, conservaron su firmeza y pérdida de peso durante los 8 días. Por lo que, esta formulación puede ser una alternativa para conservar la vida postcosecha de los cladodios.

Palabras Clave: Soluciones filmogénicas, recubrimientos, tensión, elongación y pérdida de peso.

Abstract

Cladodes are perishable during storage, so it is necessary to implement technologies to extend their shelf life. The present study evaluated the effect of coatings based on filmogenic solutions of corn starch (AM) and cassava (AY) on fresh cladodes. Acidity, firmness, and weight loss were determined, as well as the mechanical properties, and water vapor permeability of films. To coat the cladodes, five mixtures of AM and AY were prepared with concentrations ranging from 1 to 5%. The AM5 % - AY5 % coating showed lower weight loss, higher firmness, maintaining the acidity at 0.307 % with respect to the control (0.267 %) and an opacity ($\Delta E 18.57 \pm 0.2$) that may be related to moisture loss due to the passage of light. Likewise, they retained their firmness, and weight loss during the 8 days. Therefore, this formulation can be an alternative to conserve the post-harvest life of cladodes.

Keywords: Filmogenic solutions, coatings, tension, elongation, and weight loss.

1. Introducción

Opuntia ficus-indica es la cactácea conocida como nopal verdura, nopalitos o cladodios (Villegas, 1997; Kiesling, 1999). Es cultivada en África, Asia, Europa, Oceanía y América (Casas & Barbera, 2002). En México, se cultiva las variedades de *Opuntia xocostle*, *Opuntia megacantha*, *Opuntia streptacantha* y *Opuntia ficus-indica*. Además, está última variedad de *Opuntia* tiene una producción anual de 868,956 toneladas, principalmente en los Estados de Morelos, Ciudad y Estado de México; con un consumo anual per cápita de 6.3 kilogramos. En 2022, Morelos fue el estado

predominante con una derrama de 1,287 millones de pesos por su comercialización (SIAP, 2022). El estado de México, Otumba concentra el 57 % de la producción estatal, ocupando el tercer lugar como productor de nopal verdura en México (Sánchez *et al.*, 2023). Así mismo, estos cladodios se consumen en guisos o ensaladas debido a su versatilidad, calidad nutritiva y aplicación medicinal. Rodríguez & Cantwell, (1987) y Hernández *et al.*, (2022) reportaron que, 100 g de cladodios contiene 91.7 g de agua, 1.1 g de proteína, 0.2 g de lípidos, 1.3 g de ceniza, 1.1 g de fibra cruda, 4.6 g de carbohidratos complejos, 0.82 g de azúcares simples, 189 μ g de carotenos y 12.7 mg de ácido ascórbico. Además, poseen

*Autor para la correspondencia: plopezor@ipn.mx

Correo electrónico: plopezor@ipn.mx (Pedro López-Ordaz), estudillojenifer@gmail.com (Jenifer Estefanía Jiménez-Estudillo), jyanezfe@ipn.mx (Jorge Yáñez-Fernández), lcorzo@ipn.mx (Luis Jorge Corzo-Ríos), iarzate@ipn.mx (Israel Arzate-Vázquez).

propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, hipoglucemiantes, antimicrobianas y neuroprotectoras (Aragona *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2021). Actualmente, los cladodios son exportados a Japón, Italia, Turquía, Canadá y Estados Unidos. Sin embargo, después de ser cosechados son altamente perecederos debido a su rápida deshidratación. Por lo que, pierden su turgencia y deterioro fisiológico a partir de los 4 días sin desespinarlos. Una vez desespinado los cladodios se conservan de 1 a 2 días a temperatura ambiente y 7 días mediante refrigeración a 5 °C (Cantwell *et al.*, 1992; Cantwell, 1995). Este deterioro es causado principalmente por hongos como *Penicillium sp.* y *Alternaria sp.*, quienes ocasionan pérdida de firmeza, color y sabor (Ramayo, *et al.*, 1978a).

Por otra parte, las frutas y hortalizas se pueden proteger y prolongar la vida útil, aplicando recubrimientos comestibles mediante el método de inmersión (Fernández *et al.*, 2017). Las dispersiones filmogénicas forman una capa fina que actúa como una cobertura de la fruta o hortaliza después de ser sumergidas, formando una matriz estructural protectora a base de biopolímeros como almidones y proteínas (Sintonio & Menegalli, 2012). Estas coberturas pueden retardar la madurez, conservar sus propiedades organolépticas y controlar la pérdida fisiológica de peso (PFP), creando una barrera a los gases que regulan la transferencia de O₂, CO₂ y etileno (González *et al.*, 2014; López *et al.*, 2023). Además, estos recubrimientos comestibles pueden actuar como acarreadores de compuestos bioactivos, enzimas, antioxidantes, antimicrobianos e indicadores de pH (Wu *et al.*, 2021). Por otro lado, los polisacáridos como almidón, gomas y celulosas, lípidos (grasas vegetales y animales) y proteínas (caseína, colágeno y gelatina) son las macromoléculas más utilizadas para la elaboración de estas coberturas comestibles (Cui *et al.*, 2021). Estos polisacáridos y proteínas forman estructuras cohesivas que controlan el intercambio de gases, disminuyendo el crecimiento microbiano y la inocuidad en los alimentos (Valdés *et al.* 2017). En la actualidad, disminuir las pérdidas postcosecha es de gran interés en el ámbito económico. Por tal razón, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de los recubrimientos de dispersiones filmogénicas de almidón de maíz (AM) y yuca (AY) como polisacáridos base y albumina de huevo en cladodios frescos.

2. Materiales y Metodología

Los cladodios fueron adquiridos en la central de abastos de Ecatepec, Estado de México. Estos cladodios fueron lavados y desinfectados antes de ser utilizados. Por otro lado, para la formulación y elaboración de las coberturas comestibles se utilizó almidón de maíz (Sigma Aldrich, USA), almidón de yuca (Bulk Superfoods, México), albumina de huevo (Molinos B & B, Monterrey, Nuevo León) y glicerol anhidro (J.T. Baker, USA).

2.1. Preparación filmogénica

Para llevar a cabo la solución filmogénica, primeramente, se disolvió 1 gramo de albúmina de huevo en 100 mL de agua a 9 °C. Por otro lado, se dispersó el almidón de maíz y yuca al 1, 3 y 5% en combinación con el glicerol al 2 % a 80-90°C

hasta llegar al punto de retrogradación, 20 minutos aproximadamente.

2.1.1. Determinación de pH

Se tomaron muestras por triplicado para determinar el pH de la solución filmogénica utilizando un potenciómetro (PHS-3C HNOTEK, China).

2.2. Película comestible

Para la elaboración de las películas comestibles. Las soluciones filmogénicas se agitaron a temperatura ambiente. Posteriormente, se añadió la albúmina al 1 % a la solución filmogénica y se homogenizó durante 15 minutos. Finalmente, se vertieron las mezclas en placas de Petri, las cuales se llevaron a estufa a 40°C durante 24 horas.

2.2.1. Humedad

Se determinó la humedad conforme a la metodología reportada por Vargas *et al.*, (2024). Se pesaron y se colocaron muestras de 2 cm x 2 cm en un horno a 105°C durante 1hr. Finalmente, se distribuyeron en un desecador.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100, \quad (1)$$

Donde W_1 peso inicial y W_2 peso final.

2.2.2. Espesor de las películas comestibles

Una vez formadas las películas, se procedió a medir su espesor en 12 posiciones aleatorias mediante un micrómetro (Mitutoyo digital H-2781, Japón) y posteriormente se promediaron los espesores.

2.2.3. Permeabilidad al vapor de agua

Se seleccionó una película de cada formulación y se colocó sobre una celda con agua, evaluándose la pérdida de peso a través del tiempo de acuerdo con la metodología descrita por Oregel *et al.*, (2016).

$$PVA = \frac{WTV \cdot L}{A \cdot T \cdot \Delta P}, \quad (2)$$

Donde PVA es la permeabilidad al Vapor de Agua (g/msPa), WTV la transmisión de vapor agua, L el espesor de la película (m), A es el área de transferencia de masa (m²), T el tiempo (s) y ΔP es el diferencial de presión parcial

2.3. Propiedades mecánicas

Se evaluó la tensión, elongación y punción como propiedades mecánicas de las películas comestibles de acuerdo con la metodología descrita por Vargas *et al.*, (2024). Para estas propiedades se utilizó un texturómetro TA-XT2i (Texture Technologies Corp, New York). El equipo se programó con una fuerza inicial de 0.29 N a una velocidad de 0.1 mm/s y 0.01 N de sensibilidad. Para evaluar la tensión se usaron muestras de 2.5 cm x 10 cm.

$$RT = \frac{C}{A}, \quad (3)$$

Donde, RT es la resistencia a la tensión en la ruptura, C es la carga máxima y A es el área trasversal inicial (espesor por el ancho de la película) en mm².

Para la elongación se utilizaron muestras de un tamaño de 2 cm x 5 cm.

$$f = \frac{F}{A}, \quad A = e * a, \quad \% \text{Elongación} = \frac{\Delta L}{L_0} * 100, \quad (4)$$

Donde f es esfuerzo (MPa), F es la carga máxima para romper la muestra (N), A el área de la muestra (m²), e es el espesor de la muestra (m), a es el ancho de la misma (m), ΔL la longitud de la película hasta la ruptura (mm) y L₀ es la longitud inicial de la muestra (mm).

Para la punción se tomaron muestras de 2.5 cm de diámetro y se fijaron en una palca de orificio proyectándose una fuerza inicial de 0.20 N, a una velocidad de 2 mm/s y 0.01 N de sensibilidad.

2.4. Recubrimiento comestible

El recubrimiento comestible se aplicó a través del método de inmersión, sumergiendo los cladodios en cada una de las soluciones filmogénicas. El recubrimiento se aplicó a los cladodios una sola vez a partir del día 1 y se monitoreo diariamente durante 8 días a temperatura ambiente.

2.4.1. Pérdida de peso

La pérdida de peso se obtuvo de acuerdo con la AOAC (1994), conforme a (5).

$$\% \text{Pérdida de peso} = \frac{W_0 - W_f}{W_f}, \quad (5)$$

Donde W₀ corresponde al peso inicial, mientras que W_f es el peso final de los cladodios. Los pesos se realizaron durante los 8 días a temperatura ambiente.

2.4.2. Determinación de color

Se monitoreo el color a los cladodios durante los 8 días. Para esta determinación se utilizó un colorímetro (CHN CS-10, Taiwan). El diferencial de color (ΔE) se determinó mediante (6).

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}, \quad (6)$$

Donde ΔE* es la diferencia total de color, ΔL* la luminosidad, Δa* son las coordenadas rojo/verde (+a = rojo, -a = verde) y b* son las coordenadas amarillo/azul (+b = amarillo, -b = azul)

2.4.3. Firmeza

Se determinó, la firmeza de los cladodios tomando el promedio de 5 lecturas en la parte media, utilizando un penetrómetro manual (Firmness, Tester, USA).

2.4.4. Acidez

Se determinó diariamente la acidez a los cladodios durante 8 días de acuerdo con lo reportado por la AOAC (1990). Primero, se tomaron muestras de los cladodios recubiertos y sin recubrir. Segundo, se trituraron y posteriormente, se centrifugaron. El sobrenadante obtenido se utilizó para realizar una titulación con NaOH 0.01 N y fenolftaleína. Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido málico.

$$\% \text{Acidez} = \frac{A * B * C}{D} * 100, \quad (7)$$

Donde A es la cantidad de NaOH gastado (mL), B es la normalidad de NaOH (0.1 N), C es el peso equivalente expresado en gramos de ácido málico (g) y D es el peso de la fruta (g).

2.5. Análisis estadístico

Los resultados de este trabajo fueron expresados con sus promedios y sus desviaciones estándar, respectivamente. Se ejecutó un Análisis de Varianza de una Vía (ORIGIN Software v. 9.1, USA) y se realizó una prueba comparativa múltiple de Tukey con una P<0.05.

3. Resultados y discusión

El porcentaje de humedad de las películas disminuyó de 45.76, 33.75, 31.23, 30.38 y 15.65 % para las formulaciones AM3 %, AM5 %, AY5 %, AM1 % - AY5 % y AM5 % - AY5 %, respectivamente, manteniendo un pH entre 8.36 a 9.43. Esto se debe a que a mayor concentración de almidón incrementa su capacidad de retención de agua, así como su espesor, formando una red de cadenas poliméricas (López *et al.*, 2023). Los espesores de las películas variaron de 0.110 ± 0.02 a 0.270 ± 0.07. Así mismo, se observaron ligeros cambios de color de 8.04 ± 0.04 a 10.68 ± 0.02 (Tabla 1). Estos resultados muestran una correlación directa en donde al incrementar la concentración de almidón se observa un incremento en la opacidad debido a su semi cristalinidad y retrogradación de la amilosa (Acosta *et al.*, 2006).

Por otro lado, los resultados de permeabilidad al vapor de agua se muestran en la Tabla 1, en donde la película comestible AM5 % - AY 5 % presentó la menor permeabilidad al vapor de agua (4.29x10⁻¹¹ ± 0.03). Anchundia *et al.*, (2016) reportan que, permeabilidades bajas al vapor de agua, reducen la pérdida de peso en frutas y hortalizas. Esto se debe a que la permeabilidad al vapor de agua depende del arreglo intermolecular de los almidones y la albúmina, que aunado al glicerol forma cadenas lineales poliméricas permitiendo el paso de moléculas de oxígeno, disminuyendo la velocidad de transmisión de vapor de agua (López *et al.*, 2023). Vázquez-Luna *et al.*, (2019) reportaron, valores de permeabilidad al vapor de agua similares a este trabajo en películas de almidón de maíz nanoestructurado (1.624x10⁻¹⁰ a 3.033x10⁻¹⁰ g/msPa). También, Anchundia *et al.*, (2016) reportan, permeabilidades similares en películas con almidón de plátano (2.41x10⁻¹¹ a 4.03x10⁻¹¹ g/msPa).

Tabla 1: Espesor, color (ΔE) y permeabilidad al vapor de agua (PVA) de las películas comestibles.

Formulación	Espesor (mm)	ΔE^*	PVA (gm/sm ² Pa)
AM3 %	0.110 ± 0.02	8.04 ± 0.04	3.04x10 ⁻¹¹ ±0.04
AM5 %	0.184 ± 0.02	8.28 ± 0.02	1.12x10 ⁻¹⁰ ±0.03
AY5 %	0.106 ± 0.01	9.29 ± 0.02	5.73x10 ⁻¹¹ ±0.02
AM1 % -AY5 %	0.113 ± 0.01	10.56 ± 0.02	1.04x10 ⁻¹⁰ ±0.04
AM5 % -AY5 %	0.270 ± 0.07	10.68 ± 0.02	4.29x10 ⁻¹¹ ±0.03

3.2. Propiedades mecánicas de las películas comestibles

La película comestible elaborada a través de la solución filmogénica AM1 % - AY5 % al incrementar AY mejora la elongación (76.15 ±0.4) y resistencia a la punción (6.5 N). Ancos *et al.*, (2015), reportaron que, almidones de papa y maíz forman películas más estables, mientras que la yuca al contener 69.37 % de amilopectina y 30.63 % de amilosa, produce películas flexibles y con baja permeabilidad al agua. Sin embargo, la película comestible formada mediante la solución filmogénica AM5 % - AY5 % presentó mayor tensión (4.3 MPa) debido a su mayor concentración de sólidos, formando una estructura quebradiza y menos elástica.

Otálora, *et al.*, (2023) observaron que, películas de almidón de yuca en un 60 a 70 % tienen una tensión de 0.33 hasta 1.1 MPa y 0.22 a 0.25 % de elongación. Sin embargo, estos resultados mostraron diferentes valores a los reportados en este trabajo (0.683 MPa y 76.15 %) (Tabla 2). Esto puede ser debido a la combinación de almidones y albúmina que pueden formar redes moleculares. Estas redes están cohesionadas debido a la interacción entre ambas moléculas, lo cual, coadyuva a integrar una fuerte unión que contribuye a la formación de estructuras estables y organizadas, proporcionando buenas propiedades mecánicas (Algecira & Saavedra, 2010).

Tabla 2: Propiedades mecánicas de las películas comestibles.

Formulación	Tensión (Mpa)	Elongación (%)	Punción (N)
AM3 %	0.322 ± 0.01	33.62±0.4	0.699 ± 0.04
AM5 %	0.644 ± 0.03	43.51±0.3	4.806 ± 0.02
AY5 %	0.356 ± 0.01	55.69±0.2	5.561 ± 0.02
AM1 % -AY5 %	0.683 ± 0.03	76.15±0.4	6.775 ± 0.02
AM5 % -AY5 %	4.310 ± 0.21	17.43±0.3	3.954 ± 0.02

3.3. Pérdida de peso

En la Figura 1 se muestra que los cladodios recubiertos con las formulaciones AM1 % - AY5 % y AM5 % - AY5 % mostraron menor pérdida de peso comparado con los cladodios sin recubrir (Blanco). Esto puede ser que, a mayor concentración de sólidos incrementa el espesor de los recubrimientos, lo cual causa bajas permeabilidades manteniendo la pérdida de peso entre 77 % a 80 % durante 8 días.

3.4. Acidez

Los cladodios sin recubrimiento (Blanco) al inicio del monitoreo contenían 0.391 % de acidez, después de 8 días mostraron una disminución a 0.267 % (Tabla 3). Sin embargo,

los cladodios recubiertos con la formulación AM1 % - AY5 % y AM5 % - AY5 % mantuvieron 0.341 %, 0.307 % de acidez respectivamente, comparado con el blanco (Tabla 3). Sin embargo, Casas & Barbera, (2002) reportaron que, los cladodios presentan mayor concentración de ácido málico de 0.82 a 1.2 % por la mañana, mientras por la tarde disminuye a 0.33 a 0.53 %, esto es provocado por el metabolismo del ácido crasuláceo y edad de los cladodios. Por lo cual, son factores que pueden provocar cambios en la cuantificación de acidez en los cladodios. Sin embargo, el recubrimiento AM5 % - AY5 % proporciona una mayor opacidad de ΔE 18.57 ± 0.2 (Tabla 3); que disminuye el paso de luz, evitando una deshidratación y pérdida de peso a través de ruptura de tejido celular en los cladodios.

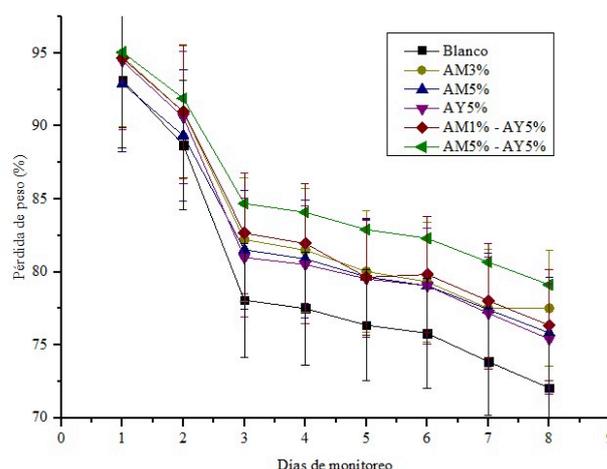


Figura 1: Pérdida de peso de cladodios recubrimientos.

Tabla 3: Evaluación del % de acidez y color (ΔE) en los cladodios con diferentes formulaciones durante 8 días.

Formulación	Acidez (%)	ΔE^*
Sin recubrimiento	0.267 ± 0.006	53.77 ± 0.3
AM 3 %	0.293 ± 0.004	25.95 ± 0.4
AM 5 %	0.306 ± 0.005	50.93 ± 0.5
AY 5 %	0.320 ± 0.005	22.76 ± 0.4
AM 1 % - AY 5 %	0.341 ± 0.006	24.74 ± 0.3
AM 5 % - AY 5 %	0.307 ± 0.004	18.57 ± 0.2

3.5. Firmeza

Los cladodios recubiertos con la formulación AM5 % - AY5 % muestran mayor firmeza (Figura 2 y Figura 3d) comparado con los cladodios sin recubrir (Figura 3b) durante los 8 días de monitoreo. Bessa *et al.*, (2015) reportaron que, guayabas recubiertas con almidón de maíz y sorbitol a 22°C mantuvieron su firmeza debido a que los recubrimientos forman una barrera alrededor de las guayabas, obstaculizando la entrada de O₂ y la salida de CO₂, lo cual reduce su metabolismo y actividad enzimática.

Conclusiones

La película comestible elaborada con AM5 % - AY5 % mostró tener mayor espesor, opacidad, tensión y menor permeabilidad al vapor de agua. Por otro lado, esta dispersión filmogénica aplicado a los cladodios como recubrimiento mostró menor pérdida de peso, mayor acidez y firmeza comparado con los cladodios control durante 8 días. Por lo tanto, esta formulación podría ser una alternativa a futuro para preservar frutas y hortalizas.

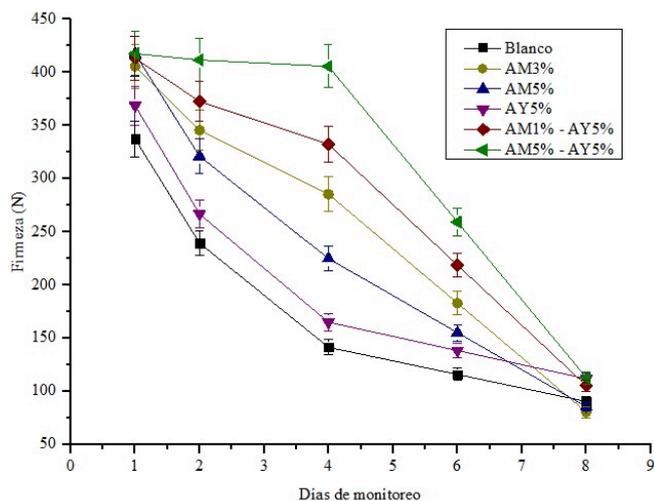


Figura 2: Pérdida de firmeza en cladodios recubiertos.

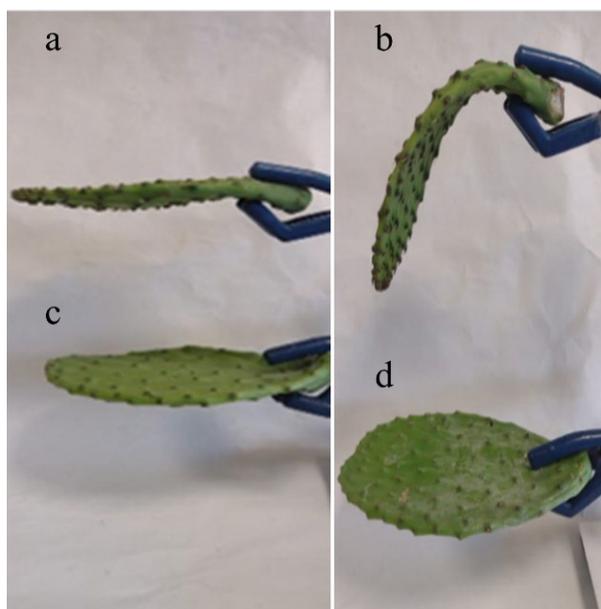


Figura 3: Firmeza a) Cladodio control día 1 b) Cladodio control día 8; c) cladodio recubierto con AM5 %-AY5 % día 1 y d) día 8 a temperatura ambiente.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo económico al proyecto 2542765 de la estancia posdoctoral modalidad académica 2022 y a la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México, por el apoyo financiero al proyecto SIP 20240729.

Referencias

Acosta, H. A., Villada, H. S., & Prieto, P. A. (2006). Envejecimiento de almidones termoplásticos agrios de yuca y nativos de papa por microscopía de fuerza atómica. *Información tecnológica*, 17(3), 71-78. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000300011>.

Algecira N., & Saavedra, N. (2010). Evaluación de películas comestibles de almidón de yuca y proteína aislada de soja en la conservación de fresas, *Nova*, 8(14), 171-182. DOI: <https://doi.org/10.22490/24629448.448>

Anchundia, K., Santacruz, S., & Coloma, J. (2016). Instituto Mexicano del Seguro Social (2018). Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*). *Revista Chilena de Nutrición*, 43(4), 9. DOI: 10.4067/s0717-75182016000400009

Ancos, B., González, D., Colina, C., Sánchez, C. (2015). Uso de películas/recubrimientos comestibles en los productos de IV y V gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(1): 8-17.

AOAC, (1994). *Official Methods of Analysis*, 16 ed. USA.

AOAC, (1990). *Official methods of analysis*. Assoc Anal Chem, 62, 2742-2744.

Aragona, M., Lauriano, E.R., Pergolizzi, S., Faggio, C., (2018). *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller as a source of bioactivity compounds for health and nutrition. *Natural Product Research*. 32(17), 2037–2049. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1365073>

Bessa, R. A., De Oliveira, L. H., Arraes, D. D., Batista, E. S., Nogueira, D. H., Silva, M. S., & Loiola, A. R. (2015). Filmes de amido e de amido/zeólita aplicados no recobrimento e conservação de goiaba (*Psidium guajava*). *Revista Virtual de Química*, 7(6), 2190-2201.

Casas, A., & Barbera, G. (2002). Mesoamerican domestication and diffusion. *Cacti: Biology and uses*, pp.143–162.

Cui, C., Ji, N., Wang, Y., Xiong, L., & Sun, Q. (2021). Bioactive and intelligent starch-based films: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 116, 854-869.

Cantwell, M., Rodríguez-Félix, A. & Robles-Contreras, F. (1992). Postharvest physiology of prickly pear cactus stems. *Scientia Hortic*, 50: 1-9.

Cantwell, M. (1995). Postharvest management of fruits and vegetable stems. *FAO Plant Production and Protection Paper* (FAO). No. 132.

Otálora, C. M., Álvarez, E., Flores, S., Gerschenson, L. N. & Bengochea, C. (2023). Effect of plasticizer composition on the properties of injection molded cassava starch-based bioplastics. *Food Packaging and Shelf Life*, 40, 101218. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101218>

Fernández, N., Echeverría, D. C., Mosquera, S. A., & Paz, S. P. (2017). Estado actual del uso de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 15(2), 134-141. DOI: [http://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(15\)134-141](http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(15)134-141)

González, A., Olguín, N., Loayza, E y Severich, E. (2014). Almidón nativo y modificado. Obtención, cuantificación, modificación y usos. Universidad autónoma Gabriel Rene Moreno.

Hernández, E., de los Angeles Aguilera, M., Contreras, M., Pérez, E., & Rodríguez, M. E. (2022). Nopal cladodes (*Opuntia ficus indica*): Nutritional properties and functional potential. *Journal of Functional Foods*, 95, 105183.

Kiesling, R. (1999). Domesticación y distribución de *Opuntia ficus indica*. *J. Profess. Assoc. Cact. Ddevelop*, 3: 50-59.

López, P., Yáñez, J., Vargas, E. A., Martínez, F. J., Castillo, J. M., Totosaus, A., Rodríguez, M. E. & García, I. (2023). Caracterización fisicoquímica de películas comestibles a base de almidón de maíz (zea mays) y harina de yuca (*Manihot esculenta crantz*). *Mexican Journal of Technology and Engineering Vol. 2*, No. 1. DOI: <https://doi.org/10.61767/mjte.002.1.3043>

Oregel-Zamudio, E., Aguilar, C., Oyoque G., Angoa, V. & Mena, H. (2016). Caracterización fisicoquímica de películas comestibles a base de cera de candelilla. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17: 1-7.

Ramayo, L., Saucedo, C., & Lakshminarayana. (1978a). Causas de altas pérdidas en nopal hortaliza (*Opuntia inermis* Coulter) almacenado por su refrigeración y su control. *Chapingo Nueva Época*, 10:33-36 p.p.

Rodríguez, A. & Cantwell, M. (1987). Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plant Foods for Human Nutrition*, 38, 83-93. <http://doi:10.1007/bf01092314>.

Sánchez, D.F., Reyes, A. S., Navarro, H., Pérez, M.A., & Almaguer, G. (2023). Características y retos del sistema de cultivo nopal verdura en Cuautlancingo, Otumba. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(2), 211-222.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2022). *Panorama Agroalimentario 2022*.

Silva, M.A., Goncalves, T., Pereira, P., Ramalho, R., Vicente, F., Oliveira, M.B., Costa, H.S. (2021). *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.: A Multi-Benefit Potential to Be Exploited. A review. *Molecules* 26, 951. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26040951>

- Sintonio, K., & Menegalli, F.C. (2012). Cubiertas y películas comestibles aditivos bioactivos para la conservación de la fruta. *Publicaciones e investigación*, 6, 12-22. DOI: <https://doi.org/10.22490/25394088.1103>
- Valdés, A.; Ramos, M.; Beltrán, A.; Jiménez, A.; Garrigós, M.C. (2017). State of the Art of Antimicrobial Edible Coatings for Food Packaging Applications. *Coatings*. (Switzerland) 7(4) 56:1-23. <https://doi.org/10.3390/coatings7040056>
- Vázquez, A., Santiago, M., Rivadeneyra, E., & Díaz, R. (2019). Películas comestibles a base de almidón nanoestructurado como material de barrera a la humedad. *CienciaUAT*, 13 (2), 152-164.
- Villegas, M. (1998). Los nopales (*Opuntia spp*) recursos y símbolos tradicionales de Mexico.
- WU, F.; Misra, M., Mohanty, A. K. (2021). Challenges and new opportunities on barrier performance of biodegradable polymers for sustainable packaging. *Progress in Polymer Science*, Vol. 117, p. 101395.

Vargas, M., F., Aguilar, M. A., Ronquillo, E., Jaime, M. R. & Von Borries, E. (2024). Preparation and characterization of gelatin-carboxymethylcellulose active film incorporated with pomegranate (*Punica granatum L.*) peel extract for the preservation of raspberry fruit. *Food Hydrocolloids*, 150, 109677. DOI: [10.1016/j.foodhyd.2023.109677](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109677)