

EFFECTO DE UN RECUBRIMIENTO BIOACTIVO DE BIOPOLÍMEROS NATURALES EN AGUACATE HASS MÍNIMAMENTE PROCESADO

EFFECT OF A NATURAL BIOPOLYMER-BASED BIOACTIVE COATING ON MINIMALLY PROCESSED HASS AVOCADO

Génesis Cantillo Holguín¹, Gustavo Martínez Valenzuela²

{gcantilloh@unemi.edu.ec¹, gmartinezv3@unemi.edu.ec²}

Fecha de recepción: 17/06/2026 / Fecha de aceptación: 02/07/2026 / Fecha de publicación: 08/07/2026

RESUMEN: El aguacate Hass mínimamente procesado pierde estabilidad con rapidez después del corte, principalmente por la exposición del tejido al oxígeno, la pérdida de humedad, el ablandamiento, el pardeamiento y el riesgo de contaminación microbiana. En este trabajo se evaluó un recubrimiento comestible elaborado con mucílago de chía, pectina extraída del albedo de limón real y componente de arándano, aplicado sobre aguacate Hass durante 10 días de almacenamiento. Se trabajó con un diseño completamente al azar en arreglo factorial 2×2 , con pectina al 5 y 10% y componente de arándano al 0,5 y 1%, considerando tres repeticiones por tratamiento. La pectina obtenida registró pH 2,37, cenizas de 4,83%, índice de metoxilo de 13,8% y grado de esterificación de 80,9%, valores acordes con una pectina de alto metoxilo. En pH, pérdida de peso y firmeza no se encontraron diferencias significativas entre formulaciones ($p > 0,05$), por lo que las concentraciones ensayadas no produjeron respuestas físicas diferenciadas. La formulación con 10% de pectina y 0,5% de componente de arándano alcanzó las mejores calificaciones sensoriales: color 3,13; olor 4,30; sabor 3,30; y textura 3,67. Esta misma formulación mantuvo recuentos de aerobios mesófilos, mohos y levaduras inferiores a 10 UFC/g hasta el día 10. Los resultados sugieren un desempeño sensorial y microbiológico favorable; sin embargo, al no incluirse un testigo sin recubrimiento dentro del análisis comparativo, no es posible afirmar de manera causal una extensión de vida útil.

Palabras clave: aguacate Hass; biopolímeros vegetales; mucílago de chía; pectina cítrica; recubrimiento comestible; vida útil

ABSTRACT: Minimally processed Hass avocado is highly unstable after cutting because tissue disruption increases oxygen exposure and favors moisture loss, softening, browning, and microbial contamination. This study evaluated an edible coating prepared with chia mucilage, pectin extracted from real lemon albedo, and a blueberry component, applied to Hass avocado during 10 days of storage. A completely randomized 2×2 factorial design was used, with pectin

¹Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-2995-6212>, 0996784949

²Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), Universidad Agraria del Ecuador (UAE), <https://orcid.org/0000-0002-0424-1632>, 0987761909

at 5 and 10% and the blueberry component at 0.5 and 1%, with three replicates per treatment. The extracted pectin showed pH 2.37, 4.83% ash, 13.8% methoxyl content, and 80.9% esterification, values consistent with high-methoxyl pectin. No significant differences were observed among formulations for pH, weight loss, or firmness ($p > 0.05$), indicating that the tested concentrations did not generate differentiated physical responses. The formulation containing 10% pectin and 0.5% blueberry component achieved the highest sensory scores: color 3.13, aroma 4.30, flavor 3.30, and texture 3.67. This formulation also kept mesophilic aerobic bacteria, molds, and yeasts below 10 CFU/g through day 10. The results indicate favorable sensory and microbiological performance; however, since an uncoated control was not included in the comparative analysis, a causal shelf-life extension cannot be claimed.

Keywords: *Hass avocado; plant biopolymers; chia mucilage; citrus pectin; edible coating; shelf life*

INTRODUCCIÓN

La demanda de alimentos frescos, prácticos y listos para consumir ha impulsado el desarrollo de productos de IV gama. En este grupo se incluyen frutas y hortalizas sometidas a selección, lavado, pelado, corte, fraccionamiento y envasado, operaciones que buscan mantener la apariencia y las propiedades del alimento fresco, pero que también incrementan su susceptibilidad al deterioro. Cuando el tejido vegetal se corta, se rompen barreras naturales, se expone la superficie interna al oxígeno y se favorecen procesos como pérdida de agua, pardeamiento enzimático, respiración acelerada y crecimiento de microorganismos alterantes. Por ello, la conservación de frutas mínimamente procesadas exige estrategias capaces de mantener calidad e inocuidad durante el almacenamiento (1,2).

En el aguacate Hass, esta problemática adquiere especial importancia por su composición y comportamiento poscosecha. Su textura cremosa, su contenido de lípidos insaturados y su valor comercial lo convierten en una materia prima atractiva; sin embargo, después del corte se vuelve una matriz sensible a la deshidratación, al oscurecimiento de la pulpa y al ablandamiento. Estos cambios se relacionan con la degradación de la pared celular, la oxidación de compuestos fenólicos y la continuidad de la maduración. Además, la superficie expuesta puede actuar como punto de entrada y proliferación de microorganismos si no se aplican condiciones adecuadas de manejo. En este contexto, los recubrimientos elaborados con biopolímeros naturales han mostrado utilidad para conservar atributos fisicoquímicos y reducir pérdidas de calidad en aguacate y otros productos frescos (3).

Una alternativa tecnológica para estos productos es el uso de recubrimientos comestibles. Estas matrices forman una capa delgada sobre la superficie del alimento y pueden funcionar como barrera parcial frente al vapor de agua, oxígeno y dióxido de carbono. Su efecto no depende solo de cubrir el tejido, sino de la composición del polímero, la forma de aplicación, la interacción con compuestos activos y las condiciones de almacenamiento (1,4,5,15,16). Además, pueden incorporar antioxidantes, antimicrobianos o extractos vegetales, lo que permite diseñar sistemas con función protectora y, al mismo tiempo, reducir la dependencia de materiales sintéticos (6,7).

El mucílago de chía (*Salvia hispanica*) es un hidrocoloide vegetal con interés para la formulación de recubrimientos. Se libera al hidratar la semilla y está constituido principalmente por polisacáridos de alto peso molecular, capaces de aportar viscosidad y formar redes estructurales. Estas propiedades permiten su empleo en emulsiones, encapsulación, películas y recubrimientos, ya que contribuye a estabilizar sistemas dispersos y a proteger compuestos sensibles (8). En la presente investigación, su inclusión se justifica por la capacidad de mejorar la adherencia y la estructura de la matriz aplicada sobre el aguacate.

La pectina también cumple un papel relevante en este tipo de formulaciones. Este polisacárido aniónico se encuentra en la pared celular de frutas y hortalizas, con alta presencia en cáscaras y albedos de cítricos. Su capacidad gelificante, filmógena y estabilizante depende del grado de esterificación, del índice de metoxilo, de la acidez y de las condiciones de extracción. Cuando se incorpora a matrices comestibles, puede mejorar la cohesión y favorecer la formación de películas continuas. La obtención de pectina a partir del albedo de limón real aporta, además, un enfoque de aprovechamiento de subproductos vegetales, coherente con procesos agroindustriales orientados a la valorización de residuos. Reportes recientes indican que la combinación de pectina con otros hidrocóloides puede contribuir a la conservación de aguacate, especialmente en pérdida de peso, firmeza y estabilidad fisicoquímica (9,11).

El componente de arándano se incorporó por su relación con compuestos fenólicos, entre ellos antocianinas, cuya actividad antioxidante y antimicrobiana ha sido descrita en estudios recientes (14). Aun así, su respuesta dentro de un recubrimiento no puede asumirse de manera aislada, porque depende de la concentración utilizada, de la matriz polimérica y del alimento sobre el que se aplica (12,13,17,18). En productos como el aguacate, también debe considerarse el impacto sensorial, ya que una dosis elevada puede modificar el aroma o el sabor natural de la fruta.

Desde esta perspectiva, la combinación de mucílago de chía, pectina del albedo de limón real y componente de arándano plantea una alternativa de conservación para aguacate Hass mínimamente procesado. Cada componente cumple una función específica: el mucílago aporta viscosidad y soporte estructural; la pectina favorece la cohesión y la formación de película; y el componente de arándano contribuye con metabolitos de interés funcional. La formulación se orienta a disminuir el deterioro poscorte, conservar la aceptación sensorial y apoyar la estabilidad microbiológica durante el almacenamiento.

La hipótesis planteó que un recubrimiento comestible formulado con biopolímeros vegetales y componente de arándano podía contribuir a mantener la calidad fisicoquímica, sensorial y microbiológica del aguacate Hass mínimamente procesado. En función de ello, el objetivo fue evaluar el potencial biotecnológico de dicho recubrimiento durante 10 días de conservación. Para cumplirlo, se caracterizó la pectina extraída, se prepararon formulaciones con diferentes niveles de pectina y componente de arándano, y se valoraron pH, pérdida de peso, firmeza, aceptación sensorial y recuentos microbiológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se estructuró en cuatro fases. Primero se acondicionaron las materias primas; luego se obtuvo y caracterizó la pectina del albedo de limón real; posteriormente se preparó el recubrimiento con mucílago de chíá, pectina, cloruro de calcio, glicerol y componente comercial de arándano grado alimenticio; y, por último, se evaluó el comportamiento del aguacate Hass mínimamente procesado. El limón real fue recolectado en el recinto La Esmeralda, cantón Montalvo, provincia de Los Ríos; la chíá se adquirió en el cantón Milagro, provincia del Guayas; y el componente de arándano correspondió a un insumo comercial apto para uso alimentario. El albedo se deshidrató a 60 °C durante 24 h hasta peso constante, se molió y se tamizó. La extracción de pectina se realizó por hidrólisis ácida con HCl 0,003 N a pH 2,6, bajo reflujo durante 45 min y agitación a 600 rpm. Después, la pectina se precipitó con etanol al 96%, se secó a 50 °C durante 10 h y se trituró. La caracterización incluyó pH, acidez libre, cenizas por AOAC 75(6) 1016-1022, índice de metoxilo y grado de esterificación.

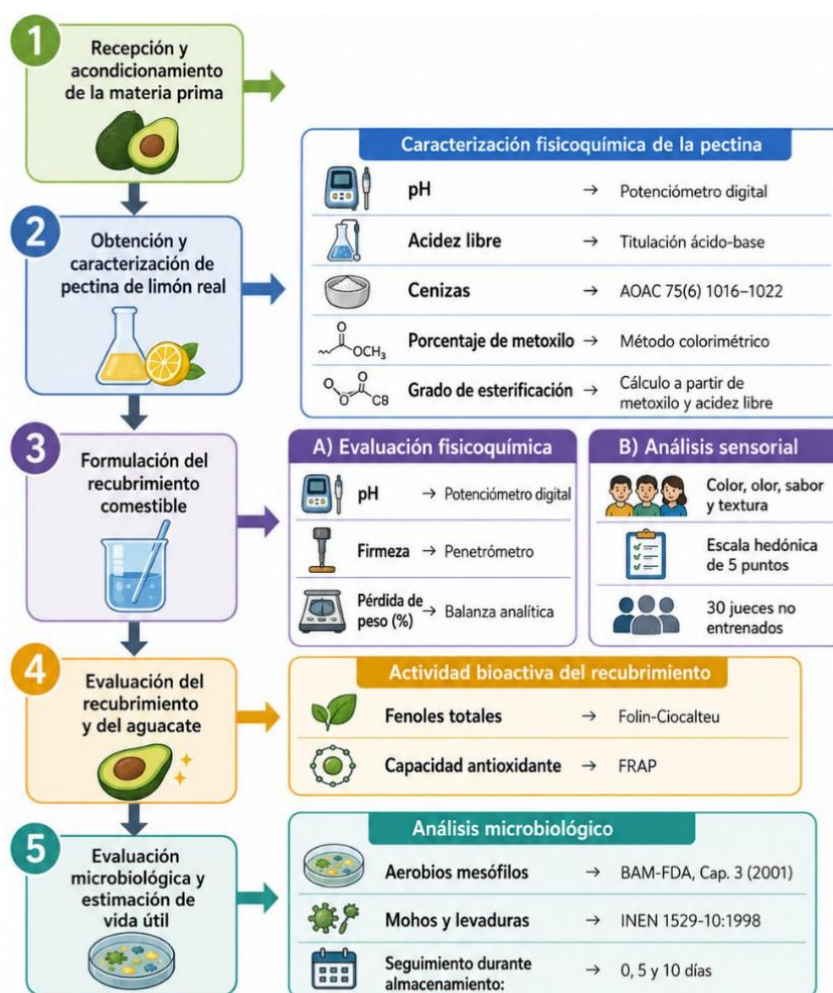


Figura 1. Esquema metodológico para la formulación y evaluación del recubrimiento comestible aplicado en aguacate Hass mínimamente procesado.

Se aplicó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2×2 . Los factores fueron concentración de pectina del albedo de limón real (5 y 10%) y concentración del componente de arándano (0,5 y 1%), con cuatro tratamientos y tres repeticiones. El mucílago se preparó a partir de 50 g de semillas de chía hidratadas en 500 mL de agua destilada durante 30 min; luego se realizó molienda en tres ciclos de 15 s y centrifugación a 5000 rpm por 30 min a 25 °C. Para elaborar el recubrimiento, se disolvió CaCl_2 al 1% en agua destilada a 50 °C, se añadieron mucílago, pectina y componente de arándano según el tratamiento, se agitó a 600 rpm durante 30 min, se incorporó glicerol al 0,2% y se dejó enfriar a 40 °C. Las porciones de aguacate se colocaron en fundas tipo ziploc con cierre hermético, sin inyección de gases ni atmósfera modificada activa; por tanto, el sistema se manejó como envasado cerrado con atmósfera pasiva. El ensayo se extendió por 10 días. La bitácora original registró temperatura ambiente para la evaluación fisicoquímica y refrigeración para el análisis microbiológico, pero no reportó humedad relativa. Se midieron pH, pérdida de peso y firmeza con penetrómetro NEWTRY GY-3 y pistón de 11 mm. La aceptación sensorial se evaluó con 30 jueces no entrenados, porciones aproximadas de 20 g y escala hedónica de cinco puntos. Los aerobios mesófilos se determinaron por BAM-FDA Cap. 3 (2001) y mohos y levaduras por NTE INEN 1529-10:1998, en los días 0, 5 y 10. Los datos se analizaron con ANOVA en InfoStat versión estudiantil; las variables cuantitativas se compararon con Duncan ($p < 0,05$) y las sensoriales con Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS

La pectina obtenida del albedo de limón real mostró características apropiadas para su uso como biopolímero en matrices comestibles. El índice de metoxilo fue 13,8% y el grado de esterificación alcanzó 80,9%, por lo que se clasifica como pectina de alto metoxilo. Esta condición es relevante porque este tipo de pectina puede formar estructuras gelificadas bajo condiciones específicas de pH y sólidos solubles. El contenido de cenizas fue 4,83%, valor inferior al límite referencial de 10% usado para pectinas comerciales, lo que sugiere una fracción mineral residual aceptable.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de la pectina obtenida del albedo de limón real.

Parámetro	Resultado	Unidad	Interpretación técnica
pH	2,37	-	Carácter ácido compatible con extracción por hidrólisis ácida
Acidez libre	0,31	meq/g	Valor próximo a pectinas de gelificación lenta
Cenizas	4,83	%	Dentro de referencia comercial (<10%)
Índice de metoxilo	13,8	%	Pectina de alto metoxilo
Grado de esterificación	80,9	%	Alto grado de esterificación; potencial filmógeno/gelificante

El pH del aguacate recubierto se mantuvo relativamente estable al inicio y aumentó hacia el día 10. Los valores iniciales estuvieron entre 6,35 y 6,38, mientras que al cierre del almacenamiento se ubicaron entre 6,60 y 6,67. Como no se observaron diferencias estadísticas relevantes entre tratamientos, la matriz mucílago-pectina no produjo una acidificación ni una alcalinización marcada del tejido. Este comportamiento es favorable porque el recubrimiento no modificó bruscamente un parámetro relacionado con maduración y aceptación del producto.

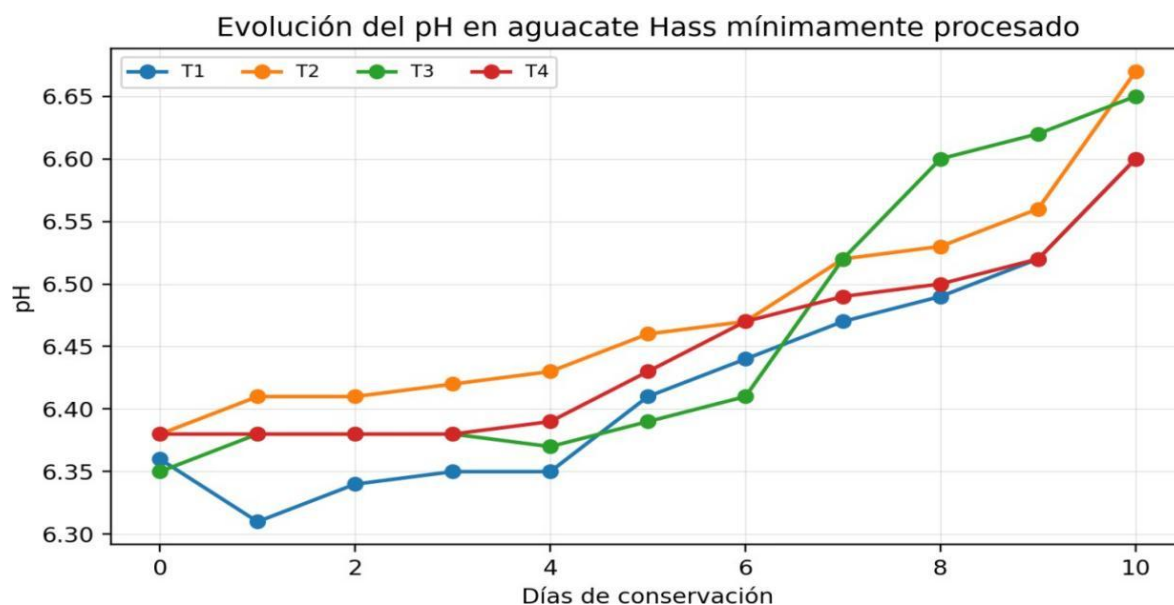


Figura 2. Evolución del pH del aguacate Hass mínimamente procesado con recubrimientos bioactivos durante 10 días de conservación.

La pérdida de peso aumentó de forma gradual en todas las formulaciones. Al día 10, los valores estuvieron entre 8,28% y 8,46%. Debido a que las diferencias globales no fueron significativas ($p > 0,05$), estos datos deben leerse como una respuesta física equivalente dentro de las concentraciones ensayadas. En consecuencia, no se atribuye superioridad técnica a un tratamiento específico para esta variable.

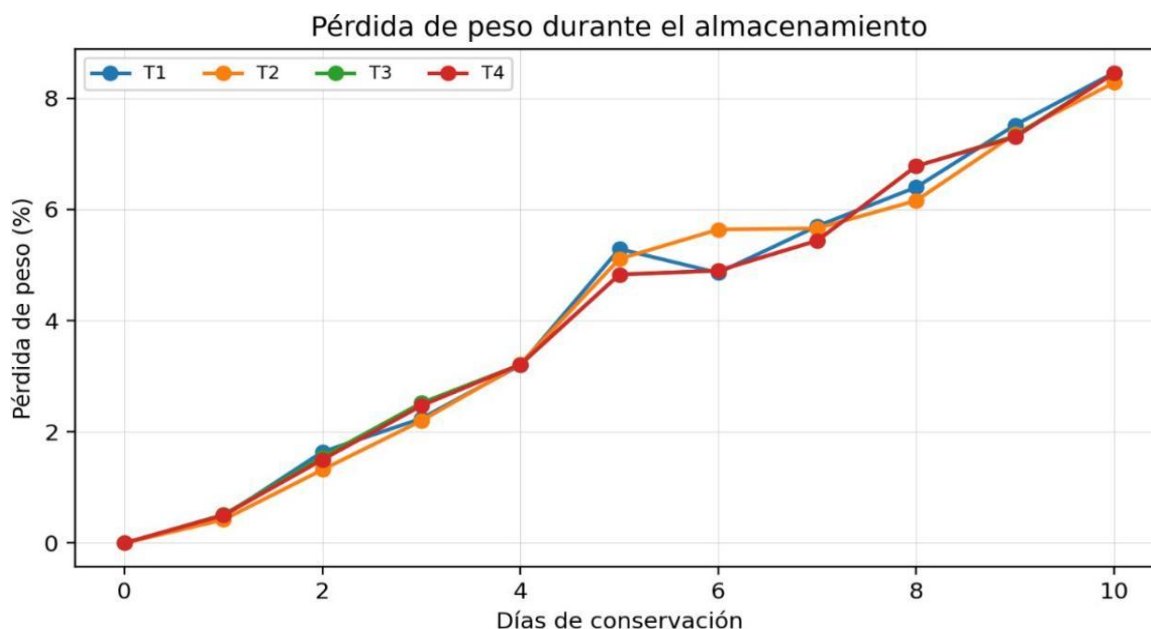


Figura 3. Pérdida de peso del aguacate Hass recubierto durante el almacenamiento.

La firmeza disminuyó conforme avanzó el almacenamiento. Los valores iniciales, entre 1,4 y 1,6 N, descendieron hasta 0,2 N al día 10. Esta reducción corresponde al ablandamiento propio del aguacate cortado, asociado con maduración y desestructuración de la pared celular. Al no encontrarse diferencias significativas ($p > 0,05$), la variación de pectina y componente de arándano no generó un efecto diferencial sobre la firmeza en el rango estudiado.

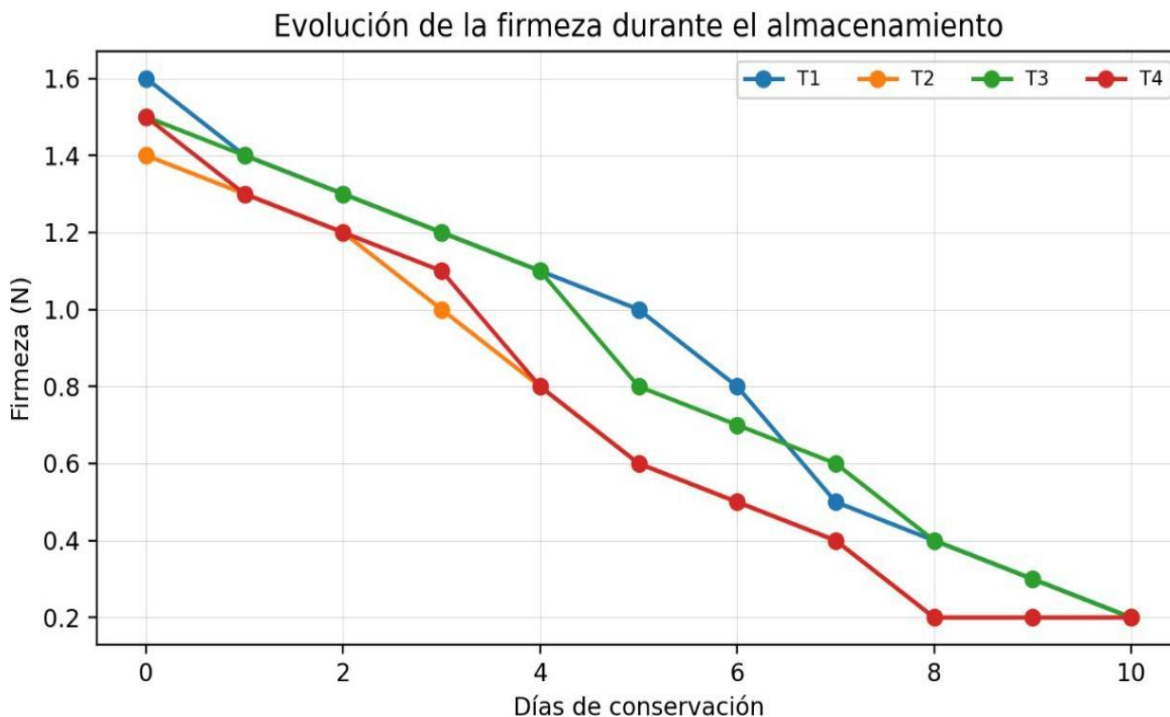


Figura 4. Evolución de la firmeza del aguacate Hass durante 10 días de conservación.

En la evaluación sensorial se observaron diferencias entre tratamientos. La formulación T3, preparada con 10% de pectina y 0,5% de componente de arándano, alcanzó las mayores puntuaciones: color 3,13; olor 4,30; sabor 3,30; y textura 3,67. Estos valores indican mejor aceptación relativa frente a las demás formulaciones, especialmente en olor y textura.

La respuesta sensorial sugiere que el incremento de pectina, combinado con una menor concentración del componente de arándano, favoreció la percepción global del producto. En cambio, las formulaciones con 1% del componente de arándano redujeron la aceptación, posiblemente por una intensidad aromática menos compatible con una matriz grasa y de sabor característico como el aguacate.

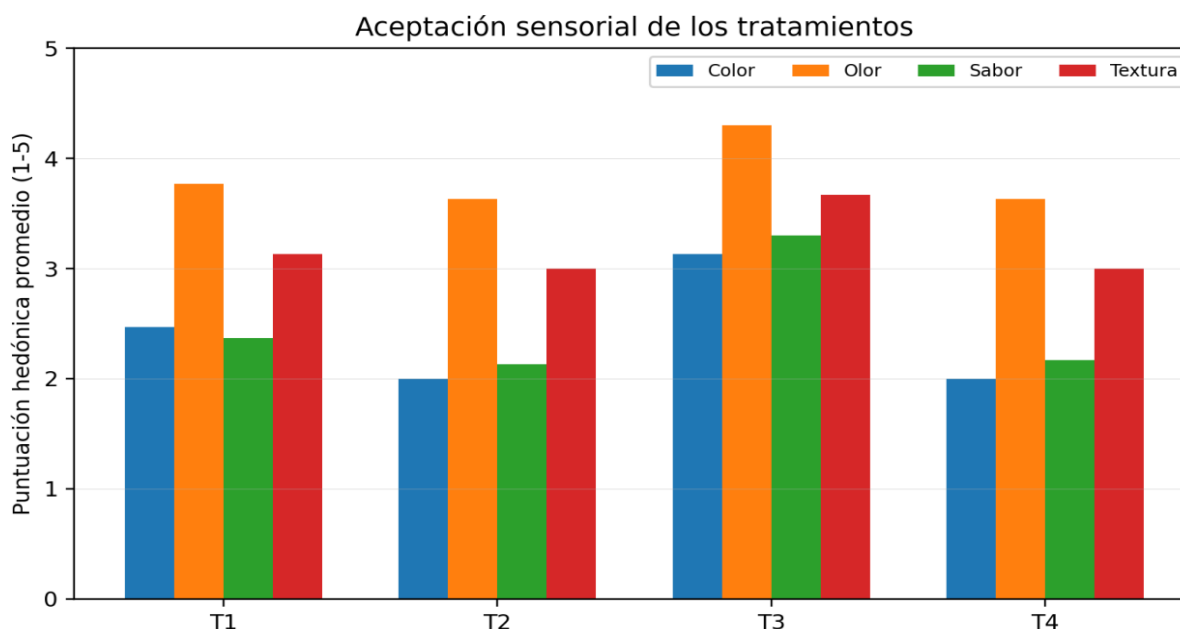


Figura 5. Puntuaciones sensoriales promedio de los tratamientos evaluados en escala hedónica de 1 a 5.

El tratamiento T3 mantuvo recuentos menores a 10 UFC/g para aerobios mesófilos, mohos y levaduras durante los 10 días de conservación. Este resultado muestra estabilidad microbiológica bajo las condiciones evaluadas. Sin embargo, como no se realizó caracterización cromatográfica del componente de arándano ni una comparación microbiológica completa con un testigo sin recubrimiento dentro del manuscrito, el efecto debe interpretarse como desempeño favorable de la formulación y no como demostración exclusiva del efecto antimicrobiano del arándano.

Tabla 2. Resultados microbiológicos del tratamiento T3 durante el almacenamiento.

Parámetro	Día 0	Día 5	Día 10	Límite permisible referencial	Unidad
Aerobios mesófilos	<10	<10	<10	1×10^3	UFC/g
Mohos y levaduras	<10	<10	<10	15×10^4	UFC/g

DISCUSIÓN

La pectina recuperada del albedo de limón real presentó 13,8% de metoxilo y 80,9% de esterificación, perfil que corresponde a una pectina de alto metoxilo. Estos resultados son coherentes con su posible función estructurante y filmógena en recubrimientos activos (9–11). El contenido de cenizas, de 4,83%, indica una fracción mineral moderada. Para comparar con mayor precisión esta pectina frente a una comercial, sería conveniente incorporar en estudios posteriores el rendimiento de extracción, masa equivalente, ácido anhidrogalaacturónico, viscosidad y propiedades mecánicas de la película.

Durante el almacenamiento, el pH aumentó de 6,35–6,38 a 6,60–6,67, la pérdida de peso alcanzó 8,28–8,46% y la firmeza descendió hasta 0,2 N. Estos cambios son compatibles con la maduración

residual, la actividad metabólica del tejido cortado y la degradación de componentes de la pared celular. Desde el punto de vista estadístico, modificar la pectina entre 5 y 10% y el componente de arándano entre 0,5 y 1% no diferenció la respuesta física del sistema. Por ello, el análisis de estas variables debe enfocarse en el comportamiento general de la matriz y no en una ventaja física particular de una formulación. Estudios con recubrimientos de almidón, mucílago y pectina en aguacate han mostrado que la eficacia de barrera depende no solo de la concentración de los polímeros, sino también de la continuidad de la película, la adherencia al tejido y el almacenamiento (3). En el presente caso, los resultados indican que variar únicamente las concentraciones evaluadas no fue suficiente para mejorar de forma diferenciada la función de barrera.

La formulación con 10% de pectina y 0,5% de componente de arándano presentó la mayor aceptación sensorial. Por tanto, su interés tecnológico se apoya principalmente en la respuesta hedónica y en la estabilidad microbiológica observada, más que en diferencias fisicoquímicas. La menor concentración del componente de arándano pudo integrarse mejor al perfil del aguacate, mientras que el nivel de 1% habría generado una nota aromática más perceptible. Este aspecto es importante porque los recubrimientos activos no solo deben conservar el producto, sino también mantener una experiencia sensorial aceptable para el consumidor.

Los recuentos inferiores a 10 UFC/g en T3 durante los 10 días de evaluación sugieren un buen comportamiento microbiológico. Este resultado puede relacionarse con la acción conjunta de una matriz polisacáridica que cubre la superficie del alimento y un componente vegetal rico en metabolitos fenólicos. La literatura indica que algunos compuestos fenólicos y aceites esenciales pueden interferir en membranas microbianas y procesos oxidativos (14,17,18). Aun así, en este estudio no se identificaron ni cuantificaron los compuestos activos del arándano; por ello, la interpretación debe mantenerse como efecto global de la formulación.

La limitación principal del estudio fue la ausencia de un testigo sin recubrimiento integrado plenamente al análisis estadístico del manuscrito, así como de un control de matriz sin componente de arándano. También sería necesario reportar con mayor detalle la humedad relativa, las mediciones instrumentales de color, la concentración real de compuestos fenólicos y el comportamiento del producto bajo refrigeración controlada. Estas mejoras permitirían estimar con mayor solidez la vida útil y separar el efecto de la barrera polimérica del efecto asociado al componente bioactivo.

CONCLUSIONES

La pectina extraída del albedo de limón real presentó características fisicoquímicas favorables para su uso como componente estructural en recubrimientos comestibles. El pH obtenido fue de 2,37, valor ácido relacionado con el proceso de hidrólisis empleado durante la extracción. El contenido de cenizas alcanzó 4,83%, porcentaje inferior al límite referencial de 10% considerado para pectinas comerciales, lo que sugiere una presencia moderada de material mineral residual. Asimismo, el índice de metoxilo fue de 13,8% y el grado de esterificación de 80,9%, resultados

que permiten clasificarla como una pectina de alto metoxilo, con capacidad potencial para formar matrices gelificadas y películas continuas aplicables en alimentos mínimamente procesados.

Durante los 10 días de almacenamiento, las formulaciones aplicadas al aguacate Hass no mostraron diferencias significativas en pH, pérdida de peso ni firmeza ($p > 0,05$). El pH presentó un incremento gradual, desde valores iniciales entre 6,35 y 6,38 hasta valores finales entre 6,60 y 6,67 al día 10. La pérdida de peso también aumentó progresivamente y alcanzó valores entre 8,28% y 8,46%, sin diferencias relevantes entre tratamientos. En cuanto a la firmeza, se observó una disminución desde 1,4–1,6 N hasta 0,2 N al finalizar el almacenamiento, comportamiento asociado al ablandamiento natural del aguacate después del corte, producto de la maduración y la pérdida progresiva de integridad del tejido vegetal.

La formulación T3, elaborada con 10% de pectina y 0,5% de componente de arándano, presentó el mejor comportamiento sensorial y microbiológico. Este tratamiento obtuvo las mayores puntuaciones en color (3,13), olor (4,30), sabor (3,30) y textura (3,67), en una escala hedónica de cinco puntos aplicada a 30 jueces no entrenados. Además, mantuvo recuentos de aerobios mesófilos, mohos y levaduras por debajo de 10 UFC/g durante los días 0, 5 y 10 de almacenamiento. Estos resultados permiten considerar a T3 como una formulación promisorio para conservar aguacate Hass mínimamente procesado. No obstante, debido a la ausencia de un testigo sin recubrimiento y de un control de matriz sin componente bioactivo, se recomienda validar estos hallazgos en estudios posteriores con control de temperatura, humedad relativa, caracterización química del arándano y evaluación instrumental del color.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Miteluț AC, Popa EE, Drăghici MC, Popescu PA, Popa VI, Bujor OC, et al. Latest developments in edible coatings on minimally processed fruits and vegetables: a review. *Foods*. 2021;10(11):2821. doi:10.3390/foods10112821.
2. Pham TT, Nguyen LLP, Dam MS, Baranyai L. Application of edible coating in extension of ruit shelf life: review. *AgriEngineering*. 2023;5(1):520-536. doi:10.3390/agriengineering5010034.
3. Choque-Quispe D, Diaz-Barrera Y, Solano-Reynoso AM, Choque-Quispe Y, Ramos-Pacheco BS, Ligarda-Samanez CA, et al. Effect of the application of a coating native potato starch/nopal mucilage/pectin on physicochemical and physiological properties during storage of Fuerte and Hass avocado (*Persea americana*). *Polymers*. 2022;14(16):3421. doi:10.3390/polym14163421.
4. Kumar L, Ramakanth D, Akhila K, Gaikwad KK. Edible films and coatings for food packaging applications: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2022;20:875-900. doi:10.1007/s10311-021-01339-z.
5. Iversen LIL, Rovina K, Vonnice JMM, Matanjun P, Erna KH, Nur'Aqilah N, et al. The emergence of edible and food-application coatings for food packaging: a review. *Molecules*. 2022;27(17):5604. doi:10.3390/molecules27175604.
6. Pillai ARS, Eapen AS, Zhang W, Roy S. Polysaccharide-based edible biopolymer-based coatings for fruit preservation: a review. *Foods*. 2024;13(10):1529.

- doi:10.3390/foods13101529.
7. Kumar N, Upadhyay A, Shukla S, Bajpai VK, Kieliszek M, Yadav A. Next generation edible nanoformulations for improving post-harvest shelf-life of citrus fruits. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2024;18:1825-1856. doi:10.1007/s11694-023-02287-8.
 8. Fernandes SS, Cardoso PS, Egea MB, Quintal-Martínez JP, Segura-Campos MR, Otero DM. Chia mucilage carrier systems: a review of emulsion, encapsulation, and coating and film strategies. *Food Research International*. 2023;172:113125. doi:10.1016/j.foodres.2023.113125.
 9. Dirpan A, Deliana Y, Ainani AF, Irwan, Bahmid NA. Exploring the potential of pectin as a source of biopolymers for active and intelligent packaging: a review. *Polymers*. 2024;16(19):2783. doi:10.3390/polym16192783.
 10. Rawat S, Pavithra T, Sunil CK. Citrus byproduct valorization: pectin extraction, characterization, and research advances in biomaterial derivation for applications in active film packaging. *Discover Food*. 2024;4:149. doi:10.1007/s44187-024-00238-w.
 11. Xiang T, Chen Q, Li Y, Wang X, Zhang H. Research progress and application of pectin: a review. *Journal of Food Science*. 2024;89(11):6985-7007. doi:10.1111/1750-3841.17438.
 12. Kaur R, Kaur M, Gill BS. A comprehensive review on the application of essential oils as bioactive compounds in nano-emulsion based edible coatings of fruits and vegetables. *Applied Food Research*. 2022;2(1):100042. doi:10.1016/j.afres.2022.100042.
 13. Aitboulahsen M, Zantar S, Laglaoui A, Chairi H, Arakrak A, Bakkali M, et al. Edible coatings based on plant components for active packaging of fresh/fresh-cut fruits. *South African Journal of Botany*. 2023;161:395-403. doi:10.1016/j.sajb.2023.08.039.
 14. Gonçalves AC, Nunes AR, Meirinho S, Ayuso-Calles M, Roca-Couso R, Rivas R, et al. Exploring the antioxidant, antidiabetic, and antimicrobial capacity of phenolics from blueberries and sweet cherries. *Applied Sciences*. 2023;13(10):6348. doi:10.3390/app13106348.
 15. Moradinezhad F, Ansari K. Edible coatings to prolong the shelf life and improve the quality of subtropical fresh/fresh-cut fruits: a review. *Horticulturae*. 2025;11(6):577. doi:10.3390/horticulturae11060577.
 16. Ma M, Liu Y, Zhang S, Yuan Y. Edible coating for fresh-cut fruit and vegetable preservation: biomaterials, functional ingredients, and joint non-thermal technology. *Foods*. 2024;13(23):3937. doi:10.3390/foods13233937.
 17. Divyashri G, Swathi R, Krishna Murthy TP, Anagha M, Sindhu O, Sharada B. Assessment of antimicrobial edible coatings derived from coffee husk pectin and clove oil for extending grapes shelf life. *Discover Food*. 2024;4. doi:10.1007/s44187-024-00236-y.
 18. Pié-Amill A, Colás-Medà P, Viñas I, Falcó I, Alegre I. Efficacy of an edible coating with carvacrol and citral in frozen strawberries and blueberries to control foodborne pathogens. *Foods*. 2024;13(19):3167. doi:10.3390/foods13193167.
 19. Li M, Yang Z, Zhai X, Li Z, Huang X, Shi J, et al. Incorporation of *Lactococcus lactis* and chia mucilage for improving the physical and biological properties of gelatin-based coating: application for strawberry preservation. *Foods*. 2024;13(7):1102. doi:10.3390/foods13071102.

20. Bizymis AP, Tzia C, Goula AM. Development of functional composite edible films or coatings for fruits preservation with addition of pomace oil-based nanoemulsion for enhanced barrier properties and caffeine for enhanced antioxidant activity. *Molecules*. 2024;29(16):3754. doi:10.3390/molecules29163754.