

Manejo de cosecha y tecnología poscosecha

Artículo de investigación científica y tecnológica

Efecto de diferentes formulaciones de recubrimiento con proporción de mezcla polisacárido/proteína para la conservación de lulo (*Solanum quitoense* L)

Effect of different coating formulations with polysaccharide/protein mixture ratio for the preservation of lulo (*Solanum quitoense* L)

Jheín Fiorela Benavides Caicedo ¹ Angie Paola Bastidas Legarda ¹
David Fernando López Enriquez ¹ Oswaldo Osorio Mora ^{1*}

¹ Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

*Autor de correspondencia: Oswaldo Osorio Mora. Universidad de Nariño, calle 18 #50-02, Ciudadela Universitaria Torobajo, Pasto, Colombia.
osorio_oswaldo@udenar.edu.co

Recibido: 01 de diciembre del 2021
Aprobado: 30 de marzo del 2023
Publicado: 29 de abril del 2023

Editor temático: Amparo Rosero,
(Corporación Colombiana de
Investigación Agropecuaria
[AGROSAVIA]), Córdoba, Colombia.

Para citar este artículo: Benavides Caicedo, J. F., Bastidas Legarda, A. P., López Enriquez, D. F., & Osorio Mora, O. (2023). Efecto de diferentes formulaciones de recubrimiento con proporción de mezcla polisacárido/proteína para la conservación de lulo (*Solanum quitoense* L). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1), e2857.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2857

Resumen: el sector hortofrutícola enfrenta problemáticas relacionadas con el mal manejo poscosecha, lo que genera altos porcentajes de pérdidas. El lulo (*Solanum quitoense*), fruto andino altamente apetecible en el mercado nacional e internacional, presenta una fisiología climática que acelera su metabolismo y disminuye su vida útil, por tal motivo, se ha impulsado el desarrollo de recubrimientos comestibles a partir de materiales biopoliméricos. El objetivo de la investigación fue comparar el efecto de diferentes formulaciones de recubrimientos a base de polisacáridos (pectina o hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC)) y proteína (gelatina) sobre la pérdida de peso (%), índice de color y firmeza (N) en lulo. Los frutos fueron seleccionados, acondicionados y distribuidos en nueve (9) tratamientos con proporciones 75/25 %, 50/50 %, 25/75 % y 100 % del total de biopolímeros (3 % p/v) y frutos sin recubrimiento como control. Todos se almacenaron durante 15 días en condiciones ambientales ($18,84 \pm 1,07$ °C y $51,33 \pm 4,55$ % de humedad relativa (HR)). Los resultados indicaron que T2 (50/50 % pectina/gelatina) presentó la menor pérdida de peso ($9,654 \pm 0,9$ %) para el último día de evaluación y se redujo en 16,40 % respecto al control, preservó el color ($9,909 \pm 0,3$) y mantuvo la firmeza del fruto ($26,879 \pm 4,0$ N). Lo anterior permitió evidenciar un mejor efecto sinérgico entre la proteína y el polisacárido sobre las propiedades del fruto, convirtiéndose así en una alternativa viable y aplicable para la conservación y su contribución en la disminución de las pérdidas poscosecha.

Palabras clave: calidad poscosecha, firmeza, índice de color, maduración, pérdida de peso.

Abstracts: The fruit and vegetable sector faces problems related to poor postharvest handling, which generates high percentages of losses. Lulo (*Solanum quitoense*), a highly desirable Andean fruit in the national and international market, has a climacteric physiology that accelerates its metabolism and decreases its shelf life; for this reason, the development of edible coatings from biopolymeric materials has been promoted. The objective of the research was to compare the effect of different coating formulations based on polysaccharides (pectin or hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)) and protein (gelatin) on weight loss (%), color index and firmness (N) in lulo. The fruits were selected, conditioned and distributed in nine (9) treatments with proportions 75/25 %, 50/50 %, 25/75 % and 100 % of total biopolymers (3 % w/v) and uncoated fruits as control. All were stored for 15 days under ambient conditions (18.84 ± 1.07 °C and 51.33 ± 4.55 % relative humidity (RH)). The results indicated that T2 (50/50 % pectin/gelatin) presented the lowest weight loss (9.654 ± 0.9 %) for the last day of evaluation and was reduced by 16.40 % with respect to the control, preserved color (9.909 ± 0.3) and maintained fruit firmness (26.879 ± 4.0 N). This showed a better synergistic effect between the protein and the polysaccharide on fruit properties, thus becoming a viable and applicable alternative for conservation and its contribution to reducing postharvest losses.

Keywords: postharvest quality, firmness, color index, ripening, weight loss.



Introducción

En el campo hortofrutícola, las pérdidas poscosecha se convierten en un factor vital que afecta su economía y comercialización. Se estima que en países desarrollados, entre el 5 % y el 25 % del total de frutas y vegetales cosechados se pierden debido a varios factores y, en países en vías de desarrollo, se puede alcanzar hasta un 80 %, dependiendo del tipo de producto y la región de cultivo (Aguilar et al., 2012); así, la problemática del sector está ligada a múltiples factores relacionados con aspectos tecnológicos, fitosanitarios y de comercialización, los cuales amenazan su sostenibilidad (Angulo, 2008).

Los recubrimientos comestibles se han desarrollado con el objetivo de incrementar el tiempo de vida útil y garantizar la calidad del producto, prolongando la vida poscosecha de frutas y hortalizas. Un recubrimiento se define como una cubierta de material comestible que se aplica sobre un alimento, mejorando su apariencia y siendo una efectiva barrera a la transmisión de gases, vapores y solutos (Vishwasrao & Ananthanarayan, 2016). Actualmente, se ha buscado obtener recubrimientos comestibles con mejores propiedades mecánicas y de barrera, sin embargo, y en vista de que los materiales elaborados con un solo componente presentan propiedades deficientes, es necesario emplear mezclas (León-Leyva et al., 2018). Cabe resaltar que la combinación de distintos componentes permite aprovechar no solamente las propiedades, sino también las ventajas, lo que facilita la obtención de recubrimientos con buenas propiedades funcionales, mecánicas, de barrera y conservación, asimismo, la importancia de la elección de recubrimientos compuestos considerando los principales factores de deterioro de las frutas y las propiedades que aporta cada uno de los componentes de los recubrimientos.

Los recubrimientos se elaboran a partir de polisacáridos, proteínas y lípidos, los polisacáridos contienen en su estructura grupos hidroxilos de carácter hidrofílico, con buena barrera a los gases, pero con una pobre barrera contra la pérdida de la humedad (Fernández et al., 2015; Valencia-Chamorro & Torres-Morales, 2016), las proteínas también tienen un carácter hidrofílico que reduce la permeabilidad ante el intercambio gaseoso de oxígeno y el dióxido de carbono, buenas propiedades mecánicas y con una barrera deficiente ante la pérdida de humedad (Valencia-Chamorro & Torres-Morales, 2016; Solano et al., 2018), por su parte, los lípidos se caracterizan por ser hidrofóbicos y no poliméricos, presentando excelentes propiedades de barrera frente a la humedad, sin embargo, su falta de cohesividad e integridad estructural hace que presenten malas propiedades mecánicas y pueden reducir la deshidratación, mejorar el brillo y la apariencia de muchos de los alimentos (Fernández et al., 2015).

Así, la aplicación de los recubrimientos permite crear una atmósfera modificada en el interior que reduce la velocidad de respiración y, por tanto, retrasa el proceso de senescencia (envejecimiento celular) y, además, crea una barrera a la transferencia al vapor de agua, retrasando el deterioro de la fruta (Falconí, 2016) si se aplican directamente sobre el alimento por inmersión en la solución filmogénica, lo que permite una cubierta homogénea. Los estudios relacionados en la conservación de frutas han aumentado en los últimos años, más aún si son mínimamente procesados. La mezcla de almidón, pectina y quitosano en mango (*Mangifera indica*) ha demostrado buenos resultados, ayudando a mantener la vida útil y la calidad de la fruta por más tiempo (Bello-Lara et al., 2016). También se han elaborado formulaciones a partir de mezclas de

almidón de maíz acetilado y gelatina para obtener películas y recubrimientos comestibles con mejores propiedades mecánicas y de barrera (León-Leyva et al., 2018).

Por otra parte, el lulo (*Solanum quitoense*), también conocido como naranjilla o tomate chileno, es una fruta nativa de los Andes, cultivada y consumida principalmente en Ecuador, Colombia y América Central (Acosta et al., 2009). Esta es una de las frutas exóticas más apetecidas en los mercados nacionales e internacionales (Andrade et al., 2015) gracias a su palatabilidad y valor nutricional (Legiscomex, 2013), además, es de las frutas tropicales más utilizadas en procesos de transformación agroindustrial. Pese a sus ventajas, el lulo es un fruto climatérico (Ramírez et al., 2018), el cual presenta altas tasas de intensidad respiratoria y producción de etileno, especialmente durante su etapa de madurez fisiológica, alcanzando prontamente la senescencia (Fernández et al., 2008). Los principales factores para determinar la calidad de la fruta son la pérdida de peso, la firmeza y el color, los cuales están relacionados con la madurez y son necesarios para evaluar el tiempo de vida útil poscosecha.

Por tales razones, el objetivo de esta investigación fue comparar el efecto sobre la pérdida de peso (%), el índice de color (IC) y firmeza (N) en lulo (*Solanum quitoense*) tras aplicar diferentes formulaciones de mezcla polisacárido (pectina o HPMC) y proteína (gelatina). Como hipótesis de estudio se planteó: la aplicación de recubrimientos de la mezcla polisacárido-proteína con diferentes proporciones (25/75 %, 50/50 % y 75/25 %) confiere mejor conservación de la calidad poscosecha del lulo que la aplicación de polisacáridos y proteína por sí solos y un tratamiento control, ya que se ha recomendado en varios estudios la combinación de materiales poliméricos en la elaboración de recubrimientos para mejorar las propiedades reológicas, mecánicas, de permeabilidad, etc. Se esperan obtener resultados favorables para las diferentes mezclas, un recubrimiento comestible compuesto con mejores propiedades y características, además que su efecto sobre la calidad de la fruta sea mejor que la aplicación de biopolímeros por sí solos.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en el laboratorio de Investigación en Conservación y Calidad de Alimentos del Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario (Gaida) de la Universidad de Nariño, Pasto (Nariño, Colombia) (ubicado a 2527 m s.n.m.).

Material vegetal

Se seleccionó el lulo (*Solanum quitoense* L) de la variedad Castilla, procedente del departamento de Nariño. Los lulos fueron clasificados en un tamaño uniforme, sin daños mecánicos, ni contaminaciones fúngicas, en estado de maduración 3 según la NTC 5093 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2002), los frutos se sometieron a limpieza mediante retiro de tricomas (pelusa) con ayuda de material abrasivo, lavado y desinfección con agua clorada a 100 ppm y posterior secado al medioambiente.

Reactivos

Para la elaboración del recubrimiento se utilizó HPMC marca Sigma-Aldrich; pectina cítrica comercial, ácido esteárico y glicerol USP, suministrados por Merquímicos (Pasto, Colombia), se usó gelatina comercial en polvo sin sabor, cera de abeja blanca suministrada por laboratorios San Jorge Ltda. (Bogotá, Colombia) y Tween 80 marca Merck.

Recubrimientos comestibles

Los recubrimientos se prepararon según lo descrito por Fagundes et al. (2015) con algunas modificaciones. Se tomó como base 3 % p/v de polímeros totales, se preparó una solución del polisacárido en agua destilada que se calentó hasta $87,5 \pm 3,54$ °C y, a continuación, la solución se redujo hasta $39 \pm 1,41$ °C y se añadió la gelatina, aparte se fundió la cera de abeja (40 % en base al total de polímeros) y ácido esteárico, estos en relación 5:1 (cera/ácido esteárico) y sobre la cera fundida se incorporó la solución inicial preparada manteniendo agitación constante, finalmente se adicionó tween 80 (1,5 % p/v) y glicerol (1 % p/v). Se homogenizó la mezcla durante 3 minutos a 12.000 rpm (D160 marca DLab) y se redujo hasta 25 °C en baño maría por 25 minutos, para asegurar la hidratación completa de los biopolímeros y se almacenó a condiciones ambientales durante 24 horas, previo a la aplicación sobre el fruto. Luego se aplicó el recubrimiento mediante inmersión del fruto en la mezcla por 30 segundos para garantizar que se cubriera toda la superficie de este y posteriormente se drenó el exceso, dejando escurrir el sobrante del recubrimiento por 2 minutos y se secó a temperatura ambiente $18,84 \pm 1,07$ °C por 5 horas, aproximadamente, sobre unas canastillas de aluminio que permitan una mejor aireación. Finalmente, se almacenó a condiciones ambientales del lugar de estudio ($18,84 \pm 1,07$ °C y $51,33 \pm 4,55$ % HR).

Propiedades fisicoquímicas

Con la aplicación de los diferentes recubrimientos preparados, se realizó la medición de las variables: pérdida de peso (%), firmeza (N) e IC, cada 3 días durante 15 días de evaluación.

Pérdida de peso (%)

Se determinó por gravimetría y la aplicación de la ecuación 1 (Salcedo, 2014):

$$\% PP = \frac{P_0 - P_f}{P_0} * 100 \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde: P_0 : peso de frutos a tiempo inicial y P_f : peso de frutos medidos al día.

Firmeza

Se determinó con un texturómetro (LS1SH Lloyd), según la metodología descrita por Trujillo y Suarez (2010) con un punzón cilíndrico de punta esférica de 5 mm como aditamento y velocidad de precarga de 5 mm/s. Los resultados se expresaron en Newton (N).

Color

El color superficial del fruto se evaluó mediante un colorímetro (CM-5, Konica Minolta) con observador de 10 °, iluminante D65 y área de medición de 3 mm, obteniendo los parámetros del sistema CIELab, donde: L*: luminosidad, a*: cambio de color del rojo al verde y b*: cambio de color de azul a amarillo. Mediante la ecuación 2 se calculó el IC (Katiusca et al., 2013).

$$IC = \frac{1000 * a}{L * b} \quad (\text{ecuación 2})$$

Para el análisis del IC, se tomó como referencia la escala propuesta por Vignoni et al. (2006).

- Si IC* es negativo (-40 a -20), su valor relaciona los colores que van desde el azul-violeta al verde profundo.
- Si IC* es negativo (-20 a -2), su valor relaciona los colores que van del verde profundo al verde amarillento.
- Si IC* está entre -2 a +2, representa el amarillo verdoso.
- Si IC* es positivo (+2 a +20), se relaciona con los colores que van desde el amarillo pálido al naranja intenso.
- Si IC* es positivo (+20 a +40), se relaciona con los colores que van desde el naranja intenso al rojo profundo.

Diseño experimental

Se estableció un diseño completamente al azar, distribuido en nueve tratamientos (tabla 1), se siguió la metodología establecida por Pinotti et al. (2007) con las proporciones 75/25 %, 50/50 %, 25/75 % polisacárido/proteína y 100 % biopolímero (HPMC, pectina o gelatina) y frutos sin recubrimiento como control. Como variables de respuesta se consideraron: pérdida de peso (%), firmeza (N) e IC y se analizaron los resultados mediante la metodología de análisis de varianza Anova al 95 % de confiabilidad por comparación de medias, mediante la prueba de LSD de Fisher para los diferentes tratamientos y se empleó el programa Statgraphics Centurion XV.

Tabla 1. Matriz experimental para la formulación del recubrimiento

Tratamiento	Polisacárido		Proteína
	HPMC	Pectina	Gelatina
T0	0 %	0 %	0 %
T1	0 %	75 %	25 %
T2	0 %	50 %	50 %
T3	0 %	25 %	75 %
T4	75 %	0 %	25 %
T5	50 %	0 %	50 %
T6	25 %	0 %	75 %
T7	100 %	0 %	0 %
T8	0 %	100 %	0 %
T9	0 %	0 %	100 %

Nota aclaratoria: estos porcentajes se toman en relación con el total de biopolímeros (3 % p/v).

Fuente: Elaboración propia

Resultados y discusión

Las propiedades físicas y fisicoquímicas del lulo (*Solanum quitoense*) en estado 3 de maduración empleados para el desarrollo de la investigación se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Propiedades físicas y fisicoquímicas de lulo (*Solanum quitoense*) en estado de maduración 3, evaluadas antes de la aplicación del recubrimiento

Propiedades	Resultados
Diámetro ecuatorial (mm)	69,1 ± 0,13
Diámetro axial (mm)	68,2 ± 0,17
Peso (g)	166,52 ± 12,33
Índice de color (IC)	8,97 ± 0,61
Sólidos solubles totales (SST) (°Bx)	8,64 ± 0,25
pH	3,20 ± 0,04
Acidez total titulable (ATT) (% ácido cítrico)	3,27 ± 0,11
Firmeza (N)	105,48 ± 11,02
Humedad (%)	88,01 ± 0,49
Actividad de agua (Aw)	0,94 ± 0,01

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados, el valor promedio obtenido para el diámetro axial y ecuatorial, el peso, el pH (3,20 ± 0,04), los sólidos solubles (8,64 ± 0,25 °Bx) y la acidez total titulable (3,27

$\pm 0,11$ %), se encuentran dentro de los rangos conforme a la NTC 5093. En cuanto al IC, se obtuvo un valor promedio de $8,97 \pm 0,61$, el cual indica un tono de color cercano al cambio entre verde y naranja; los valores de las propiedades fisicoquímicas determinan las características organolépticas, los sabores dulces y los ácidos propios del fruto. Es importante indicar que el contenido de sólidos solubles en los frutos de lulo mantiene una relación inversa con la acidez titulable, pues conforme incrementa la concentración de azúcares también existe un comportamiento de disminución de ácidos orgánicos, debido a los procesos de maduración (Alvarado et al., 2011). Así, los frutos presentaron firmeza de $105,48 \pm 11,02$ N y humedad de $88,01 \pm 0,49$ %, esta última inferior a la reportada por Arango et al. (1998) de 92 %, correspondiente a la parte comestible del fruto y que difiere para este caso, ya que se tomó parte de la pulpa y la cáscara y, finalmente, una actividad acuosa de $0,94 \pm 0,01$ %, la cual indica un alto contenido de agua del fruto con mayor susceptibilidad al ataque de microorganismos durante su periodo poscosecha.

Evaluación del efecto de los recubrimientos sobre las propiedades fisicoquímicas de lulo

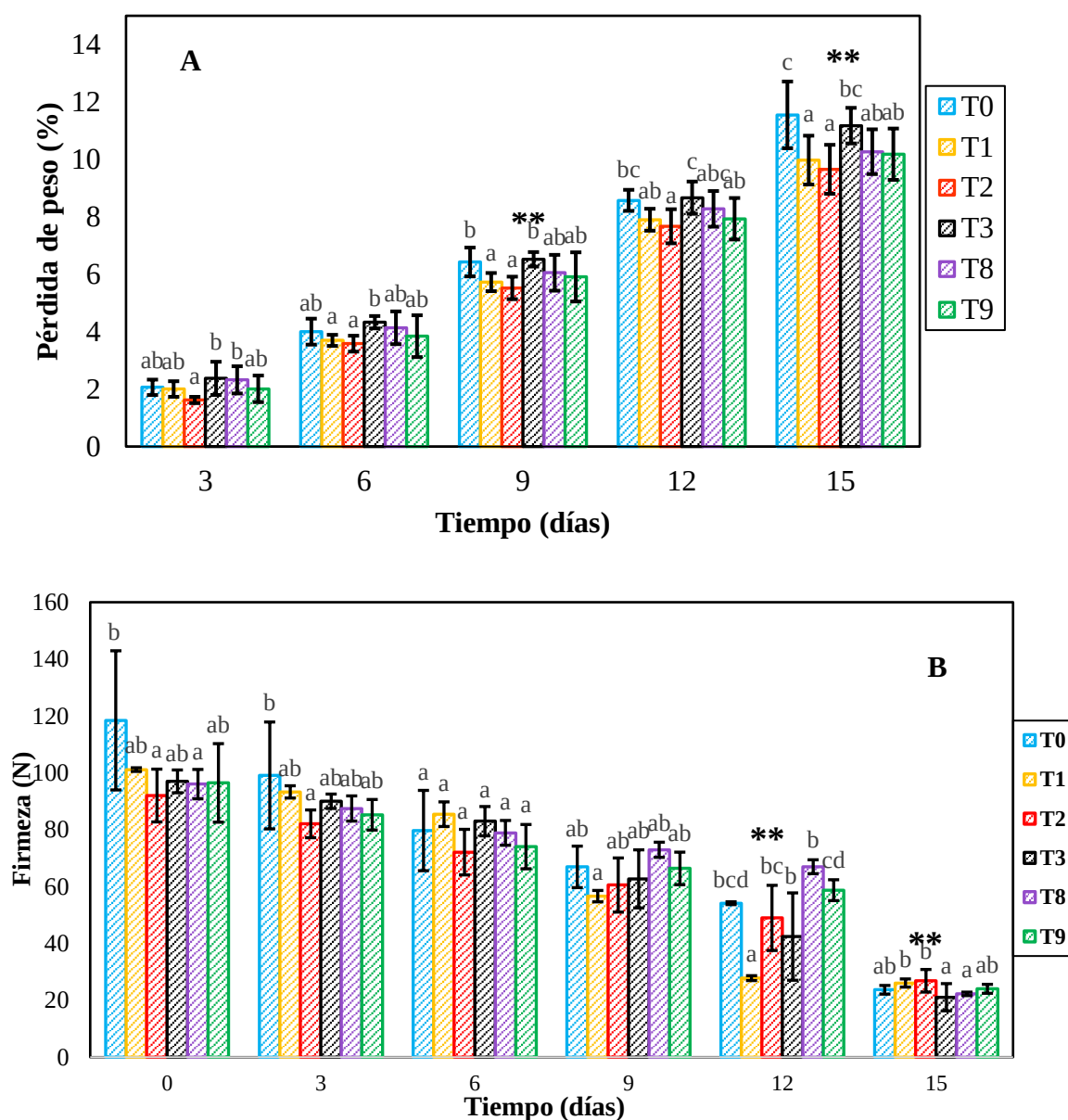
El análisis y el seguimiento se realizaron de manera independiente para cada mezcla polisacárido/proteína sobre las variables de respuesta.

Mezclas pectina-gelatina (PG)

Se evaluó el comportamiento de algunas propiedades fisicoquímicas del lulo (*Solanum quitoense*) con la aplicación de diferentes formulaciones de recubrimiento con mezclas pectina/gelatina (PG): pérdida de peso (%), firmeza (N) (figuras 2A y 2B) e IC (tabla 3) durante un periodo de almacenamiento de 15 días en condiciones ambientales ($18,84 \pm 1,07$ °C y $51,33 \pm 4,55$ % HR).

El comportamiento de la pérdida de peso aumentó para todos los tratamientos evaluados, la mayoría de las frutas contiene entre 80 % - 95 % de agua y después de cosechadas siguen transpirando y respirando, por lo cual, pierden parte del contenido de agua de los tejidos vivos, resultando en pérdidas de peso, marchitamiento y calidad de las frutas (Forero et al., 2016), dichas variaciones están relacionadas con el proceso de transpiración, caracterizado por la pérdida de agua de los tejidos de los frutos, la relación entre el área superficial y el volumen, su estado de madurez, la temperatura o la humedad relativa que les rodea (Angós & Guevara, 2017).

El tratamiento T3 generó un incremento de la pérdida de peso de los frutos tratados, sobrepasando al tratamiento T0. No obstante, el tratamiento T2 a partir del día 3 presentó una menor pérdida de peso con respecto a T0 y demás tratamientos, similar a los resultados obtenidos por Muñoz et al. (2017), quienes evaluaron el jobo (*Spondias mombin*) con la aplicación de recubrimiento comestible a base de pectina, donde se observaron diferencias en cuanto a la pérdida de peso entre tratamientos con y sin recubrimiento.



Figuras 2. Comportamiento de la pérdida de peso (%) (2A) y firmeza (N) (2B) del lulo (*Solanum quitoense*), bajo la aplicación de recubrimientos con diferentes proporciones de mezcla pectina-gelatina durante un periodo de almacenamiento 15 días

Nota aclaratoria: las barras verticales representan la desviación estándar, **: (P < 0,05), las diferencias significativas entre tratamientos y las letras diferentes en el mismo punto de tiempo representan medias que son significativamente diferentes de otras.

Fuente: Elaboración propia

La pérdida de peso se considera como parámetro de calidad en las frutas, por tal motivo, pérdidas de peso superiores al 8 % generarían alteraciones irreversibles de la calidad sensorial y comercial. Según Magaña et al. (2013), en la mayoría de las especies vegetales, una pérdida de peso superior

al intervalo entre 6 % y 8 % produce una alteración irreversible de la calidad sensorial, incidiendo en su calidad comercial, además y según Del Ángel (2019), la deshidratación provoca que los frutos luzcan arrugados y marchitos, generando un aspecto poco agradable al consumidor.

Para este caso, se observó que los tratamientos T3, T0 y T8 presentaron pérdidas de peso superiores al 8 % a partir de día 12, mientras que T1, T2 y T9 se mantuvieron con valores inferiores, por ende, se continuó la evaluación hasta el día 15, donde todos los tratamientos superaron el punto crítico. De acuerdo con lo anterior, se podría inferir que a partir de este momento y bajo estas condiciones, el lulo comienza su deterioro.

Tras un análisis de resultados para el último día de evaluación se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas ($P\text{-valor} < 0,05$) (tabla 5) entre la media de pérdida de peso de los tratamientos con respecto al control T0, sin embargo, esto no se reflejó durante los primeros días. A pesar de no presentarse diferencias entre T1 y T2, este último se redujo en un 16,40 % respecto al control y se identificó que T1 y T2 provocan una disminución lenta en la pérdida de peso en los frutos tratados respecto a T0, actuando de mejor manera que cada biopolímero por sí solo, indicando además que el recubrimiento puede funcionar como una alternativa para evitar la pérdida de agua en lulo, tal como lo reporta Garnica et al. (2016), donde tras aplicar un recubrimiento comestible a partir de almidón de yuca en lulo con dos concentraciones (3 % y 4 %), se presentó un porcentaje de pérdida de peso de 4,83 %, a pesar de no mostrar diferencias significativas entre ellos.

De igual manera, Barrazueta et al. (2018) estudiaron el efecto de recubrimientos comestibles a partir de pectina y gelatina de manera separada al 3 % en fresas, bajo dos temperaturas de almacenamiento (ambiente y refrigeración), e indicaron en sus resultados que el recubrimiento a partir de gelatina presentó un porcentaje de pérdida de peso más bajo en refrigeración, esto se debe a que la gelatina es una sustancia hidrocoloide y, entre las características más importantes, están su solubilidad en agua y la habilidad que tiene para formar geles termorreversibles (Sheron-Rodríguez, 2017), las cuales le permiten actuar como barrera ante el agua y oxígeno, limitando la pérdida de agua y la oxidación de grasas, que al final extienden la vida útil del producto (Krochta & De Mulder-Johnson, 1997).

Así también, Bello-Lara et al. (2016) han argumentado en su estudio que la menor pérdida de peso (3,51 %) se presentó tras la aplicación de un recubrimiento almidón-quitosano al 1 % en mango 'Ataulfo' con respecto a los demás tratamientos, aunque no se presentaron diferencias estadísticamente significativas, la mezcla de los polisacáridos sí disminuyó la pérdida de peso, debido al aprovechamiento de las propiedades de cada compuesto, tal como se evidenció en los resultados obtenidos.

Para la firmeza, se presentó un comportamiento decreciente en los frutos evaluados (figura 2B), con valores altos durante los primeros días y decrecientes hasta el día final, fenómeno presentado para todos los tratamientos; dado que el lulo es una fruta climatérica, el proceso de maduración continúa después de la recolección, esto genera una disminución de la firmeza como consecuencia, quizás, de una mayor actividad de desdoblamiento de almidones en azúcares, lo que conlleva a la degradación de las paredes celulares, debido a la solubilización de sustancias pécticas, afectando la elasticidad de la fruta (Torres et al., 2015) y la intervención de las enzimas

poligalacturonasa y celulasa en los procesos y cambios bioquímicos (Casierra-Posada et al., 2004). Por tal razón, se observa que T0 a partir del día 3 disminuye considerablemente la firmeza frente a los demás tratamientos, mientras que los frutos tratados lo presentan a partir del día 9, sin embargo, cabe mencionar que T2 y T8 conservaron mejor la firmeza hasta el final y se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos para los días 12 y 15.

A pesar de que T2 presentó la media más alta al día 15 (26,879 N), no se observaron diferencias estadísticas con T1, ambos tratamientos conservaron la firmeza del fruto cercana a la reportada por Ospina et al. (2007), quienes obtuvieron que la fuerza de firmeza para frutos en estado pinton fue de 15,7 N, pero para frutos completamente maduros fue de 14,4 N. La influencia de la concentración de la gelatina en la retención de la firmeza se atribuye a lo descrito por Bósquez et al. (2003), quienes consideraron que un polímero de cadena lineal poco compacto forma un recubrimiento de baja funcionalidad, mientras que un polímero con elevado número de ramificaciones incrementa el nivel de cohesividad de los recubrimientos a medida que aumenta su concentración en la dispersión. Este efecto repercute en la funcionalidad de los recubrimientos al inducir la formación de estructuras resistentes que favorecen la conservación de la firmeza.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se evidenció cómo la combinación de pectina y gelatina permitió mantener la firmeza durante los días de evaluación con bajos porcentajes de pérdidas, en comparación con los tratamientos solo de pectina o gelatina y el control, dando lugar al efecto sinérgico PG. Maftoonazad y Ramaswamy (2019) observaron en frutos de lima que la aplicación de recubrimientos a base de pectina contribuye en la disminución de las actividades de pectin-esterasa y poligalacturonasa, debido al bajo régimen de concentración de oxígeno y dióxido de carbono, por lo tanto, la degradación de las protopectinas insolubles, el ácido péptico y la pectina más soluble puede retrasarse, permitiendo la retención de la firmeza. También se observó que T3, el tratamiento con menor porcentaje de pectina, presentó la menor firmeza, debido a una mayor pérdida de agua por transpiración, lo que aceleró su ablandamiento con respecto a los demás tratamientos evaluados. Con respecto al color, el cambio que acompaña a la maduración en muchos frutos es uno de los criterios de calidad más importantes utilizados por los productores y consumidores para juzgar el momento de la cosecha y la calidad comercial (Fagundes et al., 2015).

Tabla 3. IC determinado sobre el lulo (*Solanum quitoense*) bajo la aplicación de recubrimientos con diferentes proporciones de mezcla pectina-gelatina durante 15 días de evaluación

Tratamientos	Días					
	0	3	6	9	12	15
T0	8,165±0,443 ^a	9,022±0,314 ^a	9,486±0,487 ^a	9,838±0,486 ^b	10,187±0,722 ^b	10,647±0,664 ^b
T1	7,896±1,055 ^a	8,486±0,914 ^a	8,493±1,098 ^a	8,787±1,082 ^a	9,233±0,807 ^a	10,156±0,199 ^{ab}
T2	8,668±1,032 ^a	8,991±1,011 ^a	9,125±0,874 ^a	9,457±0,64 ^{ab}	9,694±0,615 ^{ab}	9,909±0,282 ^a
T3	8,234±1,26 ^a	8,907±0,775 ^a	8,942±0,859 ^a	9,680±0,604 ^{ab}	10,458±0,695 ^b	11,224±0,382 ^c
T8	7,654±0,859 ^a	8,772±0,583 ^a	9,049±0,502 ^a	9,471±0,575 ^{ab}	9,876±0,754 ^{ab}	10,372±0,544 ^{ab}
T9	7,807±0,325 ^a	8,487±0,485 ^a	8,916±0,656 ^a	9,068±0,708 ^{ab}	9,996±0,551 ^{ab}	10,279±0,123 ^{ab}

Nota aclaratoria: los valores en la misma columna seguidos por letras diferentes son significativamente diferentes.

Fuente: Elaboración propia

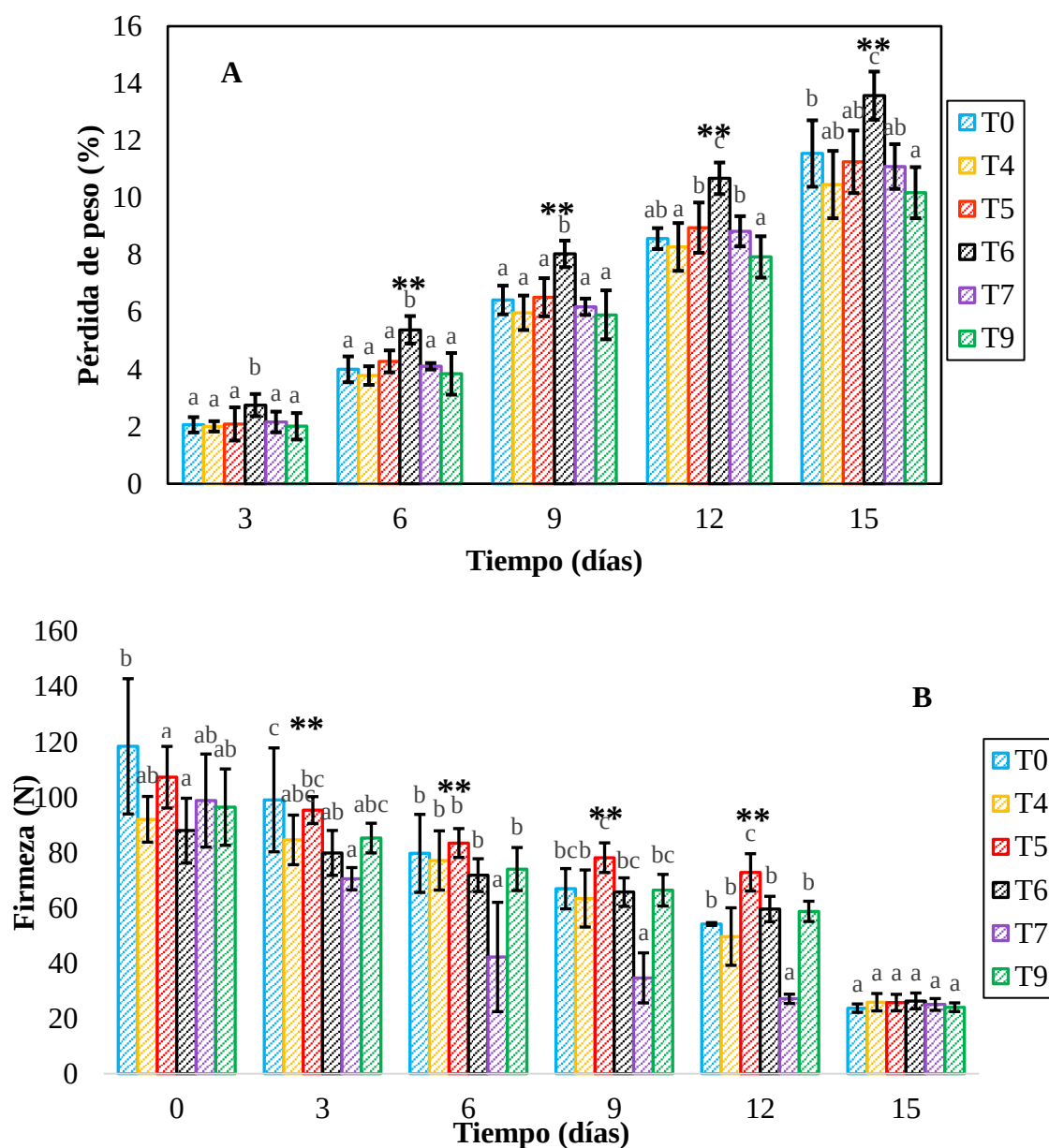
El color superficial en los frutos es un atributo de calidad, como consecuencia de la presencia de pigmentos en los tejidos, el cual además permite generar e inducir una expectativa de sabor, gusto y palatabilidad al consumidor (Zaccari et al., 2017).

El IC presentó una notable variación desde el día inicial hasta el final para todos los tratamientos (tabla 3), el menor cambio en el IC se presentó para el tratamiento T2 y, además, se evidenciaron diferencias significativas para el último día de evaluación (P-valor < 0,05) (tabla 5) entre las medias de IC de los tratamientos frente al control. T1, T2 y T9 al presentar las medias más bajas, preservaron el color inicial del fruto; por su parte, Castro y Gonzales (2010) reportaron que los frutos de la uchuva con aplicación de recubrimientos comestibles a partir de gelatina permitieron conservar el color durante el tiempo de evaluación, debido a que los recubrimientos crearon una microatmósfera alrededor del fruto, actuando como barrera al intercambio gaseoso y evitando la oxidación de los carotenoides (compuestos estables al calor, pero susceptibles a la oxidación), sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos, se encontró que T2, T1 y T9 mantuvieron un IC bajo y cuando se aplicó el tratamiento T3, este presentó un efecto contrario, incrementando el IC y además presentó tonalidades marrones en la superficie del fruto, generando un aspecto poco agradable al consumidor, situación que pudo deberse a la interacción del recubrimiento con el fruto y las condiciones de almacenamiento, provocando desórdenes fisiológicos como presencia de áreas pardas endógenas, decoloración interna y superficial (Corpoica, 2002; García & García, 2001) o acelerando el desarrollo de enfermedades como podredumbre bacteriana y antracnosis, que se asocian con las características evidenciadas durante la valoración.

Cabe mencionar que, durante la evaluación, todos los tratamientos se mantuvieron en el rango +2 - +20 (figura 1) para el fruto con una coloración del amarillo pálido al naranja intenso (Vignoni et al. (2006)). García et al. (2011) reconocieron que el aspecto de color se constituye como una de las principales características que determinan la calidad de un fruto u hortaliza y se utiliza frecuentemente como un índice de frescura, palatabilidad y valor nutricional del producto, ya que se relaciona con la intensidad del sabor y la dulzura, siendo el más importante en la aceptabilidad del producto.

Mezclas HPMC-gelatina (HG)

Se evaluó el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas del lulo (*Solanum quitoense*) con la aplicación de diferentes formulaciones de recubrimiento con mezclas HPMC/gelatina (HG): pérdida de peso (%), firmeza (N) (figuras 3A y 3B) e IC (tabla 4), durante un periodo de almacenamiento de 15 días en condiciones ambientales ($18,84 \pm 1,07$ °C y $51,33 \pm 4,55$ % HR).



Figuras 3. Comportamiento de la pérdida de peso (%) (3A) y firmeza (N) (3B) del lulo (*Solanum quitoense*), bajo la aplicación de recubrimientos con diferentes proporciones de mezcla HPMC-gelatina durante un periodo de almacenamiento 15 días

Notas aclaratorias: las barras verticales representan la desviación estandar, **: ($P < 0,05$), las diferencias significativas entre tratamientos y las letras diferentes en el mismo punto de tiempo representan que medias son significativamente diferentes de otras.

Fuente: Elaboración propia

La pérdida progresiva de masa durante el almacenamiento es causada principalmente por la pérdida de agua a través de la transpiración del fruto, debido a la diferencia en la presión de vapor de agua entre la atmósfera y la superficie del fruto (Murmu & Mishra, 2017). Se presenta el comportamiento creciente de pérdida de peso en función del tiempo para las tres proporciones de mezcla HG (figura 3A) evaluadas, pese a ello, T6 mantuvo porcentajes superiores a T0; asimismo, se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas (P -valor $< 0,05$) entre la media de T6 con los demás tratamientos entre los días 6, 9, 12 y 15 (tabla 5) y se destaca que T4 y T9 presentaron la menor pérdida de peso, siendo T9 el que presentó el mejor comportamiento con respecto a los demás tratamientos a partir del día 9, sin embargo, no se identificaron diferencias significativas para el día 15 con los tratamientos, a excepción del T6.

Cabe mencionar que al tratarse de una fruta climatérica y estar relacionada con otros factores, la pérdida de peso se da debido a procesos naturales como la transpiración; el objetivo de aplicar recubrimientos es para que actúen como una barrera al vapor de agua y gases como el CO_2 y el O_2 . Fagundes et al. (2014) afirman que la aplicación de recubrimiento comestible puede tener efectos significativos (o no) sobre la pérdida de peso de frutos, dependiendo de las características intrínsecas tanto del recubrimiento como de la fruta. Además, la transferencia de masa influye sobre la calidad de la piel de la fruta y las propiedades físicas del recubrimiento (Formiga et al., 2019).

Además, los recubrimientos basados en HPMC dependen claramente del producto y el cultivo (Fagundes et al., 2015). En 2009, Valencia-Chamorro et al. (2009) evaluaron recubrimientos a partir de HPMC en naranjas “Valencia”, evidenciando un incremento en la pérdida de peso; sin embargo, Valencia et al (2010) su estudio realizado en mandarina “Ortanique” presentó una reducción significativa en la pérdida de peso. Por su parte, la HPMC también produce películas que poseen buenas propiedades de barrera a gases, sin embargo, su naturaleza hidrofílica hace que las películas formen barreras ineficientes a la humedad (Villegas & Albarracín, 2016), lo que ocasiona la deshidratación de los frutos.

Los resultados obtenidos con respecto al comportamiento de la firmeza durante 15 días de evaluación bajo tres proporciones de mezcla HG es decreciente (figura 3B), presentándose valores altos de firmeza durante los primeros días, sin embargo, a partir del día 3 empiezan a disminuir. El efecto de los recubrimientos sobre la conservación de la firmeza de la fruta está generalmente relacionado con su control en la pérdida de peso y la modificación de la atmósfera interna de la fruta, como por ejemplo, un cambio en la tasa de respiración (Fagundes et al., 2015). En los tratamientos entre los días 0 al 12 de evaluación, se presentaron diferencias significativas, sin embargo, no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas (P -valor $< 0,05$) entre la media de los tratamientos (tabla 5) para el día 15, aún así se pudo observar que los tratamientos aplicados presentaron un mayor valor de firmeza respecto al control. La firmeza es un atributo primario de calidad relacionado con la vida poscosecha y, en consecuencia, a la aceptación del producto por parte del consumidor. La conservación de la firmeza en la fruta recubierta puede estar relacionada con la baja concentración de O_2 disponible, lo que inhibiría la actividad de las enzimas involucradas en la pared celular, los procesos de degradación y la solubilización de pectinas (Formiga et al., 2019). Además, se tiene en cuenta que la firmeza varía a medida que avanza el proceso de maduración en las frutas (Cuatin & López, 2016).

Tabla 3. IC determinado sobre el lulo (*Solanum quitoense*) bajo la aplicación de recubrimientos con diferentes proporciones de mezcla HPMC-gelatina durante 15 días de evaluación

Tratamientos	Días					
	0	3	6	9	12	15
T0	8,165±0,443 ^a	9,022±0,314 ^a	9,486±0,487 ^{ab}	9,838±0,486 ^{ab}	10,187±0,722 ^a	10,647±0,664 ^{ab}
T4	8,043±1,482 ^a	8,567±1,562 ^a	9,067±1,369 ^{ab}	9,734±1,162 ^{ab}	10,223±0,774 ^a	10,807±0,258 ^b
T5	8,560±0,791 ^a	9,252±0,6 ^a	9,579±0,287 ^{ab}	10,052±0,405 ^b	10,615±0,414 ^a	10,796±0,323 ^b
T6	8,469±0,722 ^a	9,273±0,533 ^a	9,918±0,452 ^b	10,402±0,381 ^b	10,659±0,494 ^a	11,444±0,281 ^c
T7	8,200±0,715 ^a	9,036±0,468 ^a	9,433±0,375 ^{ab}	9,749±0,158 ^{ab}	10,164±0,473 ^a	10,322±0,258 ^a
T9	7,807±0,325 ^a	8,487±0,485 ^a	8,916±0,656 ^a	9,068±0,708 ^a	9,996±0,551 ^a	10,279±0,132 ^a

Nota aclaratoria: los valores en la misma columna seguidos por letras diferentes son significativamente diferentes.

Fuente: Elaboración propia

Para los tratamientos HG, se evidenció una variación en el IC de los lulos evaluados (tabla 4) durante el tiempo de medición para todos los tratamientos, el menor cambio se reflejó en T5 a partir del día 3 con respecto a T0, tratamiento que permitió preservar mejor el color de los frutos tratados y disminuir el cambio de color de un amarillo pálido a un naranja intenso, no obstante, los cambios generados en el color fueron superiores a los presentados para la mezcla PG con iguales proporciones. Estos tratamientos tampoco presentaron diferencias estadísticas significativas entre los días 0 y 12, pero sí para el día 15 (P-valor < 0,05) (tabla 5). Por su parte, T9 presentó la media más baja, manteniendo el color superficial de la fruta y T6 mostró el mayor cambio de color durante el periodo de evaluación, exhibiendo tonalidades marrones en la superficie del fruto al igual que en la mezcla pectina-gelatina con iguales proporciones.

Los recubrimientos comestibles a base de HPMC tienen muy buenas propiedades como barrera a los gases, especialmente al oxígeno, generando ambientes con baja concentración de O₂ para los frutos y haciendo que la maduración de la fruta se retrase, debido a la inhibición de la expresión de genes relacionados con la senescencia. Por lo tanto, se minimiza la oxidación y, en consecuencia, la degradación de clorofilas y carotenoides (Formiga et al., 2019).

Análisis comparativo de los polímeros

El hecho de mezclar diferentes polímeros se da con el fin de mejorar las propiedades de los recubrimientos y, de esta manera, disminuir los costos de producción, ya que algunos polímeros son más costosos y difíciles de adquirir. También es importante resaltar que esta fruta andina no ha sido tan estudiada en el ámbito poscosecha, la mayoría de los trabajos se enfocan en cosecha, precosecha, propiedades morfológicas, fisicoquímicas y comportamiento agronómico de todo tipo de especies e injertos, por tal razón, la información encontrada de esta fruta es escasa para la parte de poscosecha y la mayoría de comparaciones con los resultados que se han obtenido se han hecho con otro tipo de frutas climatéricas.

A continuación se presenta el análisis comparativo (tabla 5) entre todos los tratamientos sobre las variables de respuesta.

Tabla 4. Variables de respuesta de pérdida de peso (%), IC y firmeza (N), evaluadas sobre el lulo (*Solanum quitoense*) bajo diferentes tratamientos para el día 15 de evaluación

Tratamiento	Pérdida de peso (%)	Índice de color (IC)	Firmeza (N)
T0	11,549 ± 1,2 ^d	10,647 ± 0,7 ^{bc}	23,709 ± 1,5 ^{abc}
T1	9,975 ± 0,9 ^{ab}	10,156 ± 0,2 ^a	26,089 ± 1,4 ^c
T2	9,654 ± 0,9^a	9,909 ± 0,3^a	26,879 ± 4,0^c
T3	11,175 ± 0,6 ^{cd}	11,225 ± 0,4 ^{de}	21,084 ± 4,8 ^a
T4	10,463 ± 1,2 ^{abcd}	10,807 ± 0,3 ^{cd}	25,868 ± 3,1 ^c
T5	11,260 ± 1,1 ^{cd}	10,796 ± 0,3 ^{cd}	25,732 ± 3,0 ^{bc}
T6	13,573 ± 0,8 ^e	11,444 ± 0,3 ^e	26,320 ± 2,9 ^c
T7	11,094 ± 0,8 ^{bcd}	10,322 ± 0,3 ^{ab}	25,049 ± 2,1 ^{bc}
T8	10,267 ± 0,8 ^{abc}	10,372 ± 0,5 ^{abc}	22,279 ± 0,6 ^{ab}
T9	10,180 ± 0,9 ^{abc}	10,279 ± 0,1 ^{ab}	24,049 ± 1,6 ^{abc}

Nota aclaratoria: los valores en la misma columna seguidos por letras diferentes son significativamente diferentes.

Fuente: Elaboración propia

Se evidenció que el tratamiento T6 presentó la mayor pérdida de peso con $13,573 \pm 0,8$ %, que se justifica en un aumento en la permeabilidad al vapor de agua por el incremento de la concentración de gelatina, gracias a que esta contiene una amplia gama de aminoácidos hidrófilos, por lo que las películas con una mayor cantidad de gelatina pueden absorber más moléculas de agua del medioambiente, cuyo carácter higroscópico conduce a una alta afinidad por las moléculas de agua, dando como resultado una mayor difusión de agua (Al-hassan & Norziah, 2012) y T2 presentó la menor pérdida de peso ($9,654 \pm 0,9$ %), además, se afirma que los polisacáridos como la pectina forman geles con alta humedad, lo que les confiere el poder actuar como sacrificantes de agua, inhibiendo la deshidratación de los productos recubiertos (Sharma et al., 2019). El T2 también presentó el menor cambio en el IC, un cambio de color más lento en las muestras recubiertas que podría atribuirse a la baja tasa de respiración, que a su vez retrasó la maduración y la senescencia (Kathiresan & Lasekan, 2019) y el mayor valor de firmeza al día 15 con respecto a los demás tratamientos. Así, los polisacáridos como la pectina son capaces de constituir una matriz estructural, permitiendo obtener recubrimientos comestibles con propiedades mecánicas moderadas (Eum et al., 2009).

Además, los tratamientos T1 y T2 influyeron más en la disminución de la pérdida de peso al trabajarse en combinación que al emplearse los biopolímeros por sí solos, Perdonés et al. (2012) indicaron que una de las funciones de la pectina es lograr mantener la vida útil por la disminución de pérdida de peso, la preservación de color, el aroma, el sabor y el valor nutricional de los alimentos. También los polímeros como los polisacáridos y las proteínas forman redes moleculares cohesionadas por una alta interacción entre sus moléculas, estas les confieren buenas propiedades mecánicas y de barrera a gases (O_2 y CO_2), conservando la calidad del fruto

(Fernández et al., 2015). Por su parte, Cuatín y López (2016) indicaron que la aplicación de recubrimientos no solamente se limita a la pérdida cuantitativa de agua, sino también se relaciona con la apariencia del fruto (arrugamiento), la textura y la calidad nutricional; los resultados de la investigación se soportan en la anterior información, ya que los recubrimientos pectina-gelatina presentaron un leve arrugamiento de la epidermis durante los días de evaluación, con respecto a los recubrimientos de HPMC-gelatina, en los cuales a partir del tercer día de evaluación se evidenció un arrugamiento del fruto debido a la deshidratación de los mismos (Del Ángel, 2019). Al tener en cuenta las propiedades evaluadas y su influencia sobre los frutos durante el periodo de evaluación, se seleccionó como mejor recubrimiento al T2.

Caracterización del recubrimiento seleccionado

La combinación de diversos polisacáridos, proteínas y lípidos permite aprovechar las propiedades de cada compuesto y la sinergia entre los componentes implementados, ya que las propiedades mecánicas y de barrera dependen de los compuestos que integran la matriz polimérica y su compatibilidad (Quintero et al., 2010).

En la tabla 6 se presentan los resultados obtenidos de las propiedades evaluadas al recubrimiento seleccionado T2. Además, no existen estudios reportados sobre recubrimientos combinando estos biopolímeros, por ende, no se cuenta con un patrón de comparación.

Tabla 5. Pruebas de caracterización del recubrimiento seleccionado con la proporción de mezcla 50/50 % pectina-gelatina

Propiedades	Resultado
Densidad	1,005 $\pm$ 0,002 g/mL
Viscosidad	458,97 $\pm$ 31,74 cP
pH	4,81 $\pm$ 0,08
Turbidez	300 $\pm$ 1,53 NTU
Grosor	0,136 $\pm$ 0,01 mm
Actividad de agua (Aw)	0,496 $\pm$ 0,01 %
Humedad (H)	29,05 $\pm$ 1,88 %
Porcentaje de elongación	22,955 $\pm$ 1,98 %
Resistencia a la tracción	5,758 $\pm$ 0,64 MPa

Fuente: Elaboración propia

La viscosidad permite determinar la capacidad de impregnación de los recubrimientos a los frutos al momento de aplicarse y su capacidad para taponar poros y formar una capa continua. Según esto, se midió la viscosidad de la mezcla seleccionada a 20 °C, 30 RPM y aguja RV-04, donde se obtuvo: 458,97 $\pm$ 31,74 cP, similar a lo reportado por Del Ángel (2019) en la interacción de pectina-quitano, indicando además que a menor velocidad (RPM) trabajada, la viscosidad aumenta, lo que permitió una aplicación fácil y homogénea sobre el fruto; adicionalmente, se destaca la adición de gelatina, ya que esto provocó la disminución de la viscosidad con respecto a recubrimientos solo con pectina o gelatina. En esta valoración, la densidad fue de 1,005 $\pm$ 0,002 g/mL, similar a la densidad del agua, donde Cuatín y López (2016) indicaron que un

recubrimiento al ser más denso puede funcionar como barrera impermeabilizante contra el agua, ya que existe un compuesto hidrofóbico en la formulación y se reporta una turbidez de $300 \pm 1,53$ NTU, esta es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión (Villanueva & Ávila, 2019) y que debido a las interacciones polímero-polímero entre los grupos hidrofóbicos, estas generan un incremento en la viscosidad y turbidez, ocasionando opacidad de la solución en altas concentraciones, lo cual indicaría que a mayor turbidez, mayor presencia de sólidos en suspensión, y un pH de $4,81 \pm 0,08$, indicando un recubrimiento ácido que es favorable para la conservación de los frutos, además de inhibir el crecimiento microbiano.

En esta evaluación, se obtuvieron películas a partir de la mezcla seleccionada con un espesor de $0,136 \pm 0,01$ mm, humedad de $29,05 \pm 1,88$ % y $0,496 \pm 0,01$ % de actividad de agua (tabla 6). En otras investigaciones, López et al. (2019) y Sánchez et al. (2015) reportaron datos de $0,14 \pm 0,03$ mm (130 ± 10 μ m) de espesor en las películas a partir de pectina, similares a los datos obtenidos de $0,136 \pm 0,005$ mm en este artículo, y se intuye que el aumento en esta propiedad se debe a factores como el método de preparación, una mayor concentración de pectina y un incremento de lípidos en la película (Lozano et al., 2016). En otro estudio realizado por López et al. (2019), se obtuvo una humedad del $6,79 \pm 0,96$ % y actividad de agua (A_w) de $0,32 \pm 0,02$, resultados inferiores a los obtenidos en el presente estudio de $0,496 \pm 0,01$ % A_w y $29,05 \pm 1,88$ % H, esto debido a la presencia de la gelatina, ya que contiene aminoácidos hidrófilos, por lo que las películas pueden absorber más moléculas de agua del medioambiente, aumentando la humedad de la película, así también se han obtenido películas de pectina con humedades muy bajas de $11,18 \pm 0,70$ %, recomendando que esta propiedad dé como resultado entre 5 % y 10 %, debido a que a mayor humedad aumenta la permeabilidad al vapor de agua (Sánchez et al., 2015). La permeabilidad está ligada al contenido de humedad y la actividad de agua del material, asimismo, estas propiedades juegan un papel importante en la degradación, la estabilidad y las propiedades mecánicas del material (López et al., 2019), propiedades relacionadas con la estructura química del recubrimiento o la película.

La resistencia a la tracción (MPa) es la máxima resistencia que presenta la película al estiramiento, mientras la elongación (%) mide la capacidad de estiramiento o la flexibilidad que tiene la película, en ambas, se miden hasta que la película se rompe (Solano et al., 2018). La evaluación mecánica del material elaborado con la mejor formulación indicó una elongación del $22,955 \pm 1,98$ % y resistencia a la tracción de $5,758 \pm 0,64$ MPa, donde en estudios realizados por López et al. (2019) se obtuvieron resultados para elongación y fuerza de tracción en los rangos de $4,315 \pm 0,86$ - $38,077 \pm 4,18$ % y $3,08 \pm 0,38$ - $15,79 \pm 2,36$ MPa, respectivamente. Se evidenció que los resultados obtenidos están dentro de los rangos mencionados, sin embargo, cabe anotar que la variabilidad puede estar asociada con las diferentes concentraciones evaluadas de pectina y su mezcla con una proteína (gelatina); de igual manera, León-Leyva et al. (2018) afirman que la resistencia a la ruptura de las películas a partir de almidón y gelatina aumentó a medida que se incrementó el porcentaje de proteína, generando un mayor número de interacciones entre los grupos hidroxilo del almidón y las cadenas proteicas, ya que altas concentraciones de proteína favorecen y mejoran las interacciones entre los componentes de una matriz polimérica, obteniendo películas resistentes, producto de la cercanía de sus cadenas.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en la investigación mostraron que el tratamiento T2 conservó las propiedades en términos de reducción de la pérdida de peso (16,40 %) e IC (6,935), manteniendo la firmeza en 11,76 %, respecto al control, durante el periodo almacenamiento. Por lo tanto, el recubrimiento comestible se convierte en una alternativa de conservación de frutas frescas, retardando el proceso de senescencia del fruto.

Los recubrimientos con mayor proporción de gelatina (75 %) en las mezclas tuvieron un efecto negativo en la conservación de los frutos tratados, estos provocaron una acelerada pérdida de peso y arrugamiento, además de incitar la aparición de tonalidades marrones en los frutos, producto de la alta higroscopicidad de la gelatina y las alteraciones en los procesos fisiológicos del fruto.

Se recomienda realizar otras pruebas de caracterización como la microscopía electrónica de barrido (*SEM*), permeabilidad al vapor de agua y gases que permitan observar a mayor detalle el comportamiento del recubrimiento como película y su efecto sobre la fruta y otras propiedades físicas y químicas de esta; de tal manera que se contribuya en la conservación de la calidad y su implementación en el sector hortofrutícola.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Convocatoria 818 de 2018 Colciencias, proyecto 80740- 215-2019, “Desarrollo y evaluación de recubrimientos comestibles y biopelículas adaptables a empaques para prolongar la vida útil de frutas andinas: Lulo (*Solanum quitoense*) y Uchuva (*Physalis peruviana* L.), producidas en el departamento de Nariño”, por el apoyo financiero para esta investigación.

Contribución de los autores

Jhein Fiorela Benavides Caicedo: diseño de metodologías, evaluación, seguimiento y registro de información en laboratorio, análisis de información y elaboración de manuscrito; Angie Paola Bastidas Legarda: diseño de metodologías, evaluación, seguimiento y registro de información en laboratorio, análisis de información y elaboración de manuscrito; David Fernando López Enríquez: supervisión de actividades, análisis de información y elaboración de manuscrito; Oswaldo Osorio Mora: elaboración de proyecto para acceso a recursos económicos, análisis de información y elaboración de manuscrito.

Implicaciones éticas

El presente artículo fue obtenido como resultado del proyecto “denominado “Desarrollo y evaluación de recubrimientos comestibles y biopelículas activas adaptables a empaques para prolongar la vida útil de frutas andinas: Lulo (*Solanum quitoense*) y Uchuva (*Physalis peruviana* L.)

producidas en el departamento de Nariño” aprobado y financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología e innovación y la Gobernación de Nariño a través de la convocatoria 818 del 2018.

Conflicto de interés

Los autores manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Financiación

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y a la Gobernación de Nariño por su financiación a través del proyecto 80740-215-2019 aprobado en la Convocatoria 818-2018 I+D+i NARIÑO.

Referencias

- Acosta, O., Pérez, A., & Vaillant, F. (2009). Chemical characterization, antioxidant properties, and volatile constituents of naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) cultivated in Costa Rica. *Sociedad Latinoamericana de Nutrición*, 59(1), 88-94. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2009/1/art-14/>
- Aguilar, M., San Martín, E., Espinoza, N., Sánchez, M., Cruz, A., & Ramírez, M. (2012). Caracterización y aplicación de películas a base de gelatina-carboximetilcelulosa para la preservación de frutos de guayaba. *Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales A.C.* 25 (1), 1-7. <https://www.redalyc.org/pdf/942/94224536001.pdf>
- Al-Hassan, A. A., & Norziah, M. H. (2012). Películas comestibles de almidón y gelatina: Permeabilidad al vapor de agua y propiedades mecánicas afectadas por plastificantes. *Food Hydrocolloids*, 26(1), 108-117. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.04.015>
- Alvarado, D., Márquez, L., Pretell, C., & Minchon, C. (2011). Influencia del empaque, temperatura y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de granadilla. *UCV - Scientia*, 3(1), 101-109. <https://revistas.ucv.edu.pe/index.php/ucv-scientia/article/view/887>
- Andrade, M. J., Moreno, C., Guijarro, M., & Concellón, A. (2015). Caracterización de la naranjilla (*Solanum quitoense*) común en tres Estados de Madurez. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha*, 16(2), 215-221. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81343176010.pdf>
- Angós, I., & Guevara, J. (2017). *Mejora de la conservación poscosecha de la naranjilla (Solanum quitoense Lam.) mediante atmósferas modificadas* (tesis de pregrado). Universidad técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/26604>
- Angulo, R. (2008). El cultivo de lulo. Colciencias, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.
- Arango, H., Vélez, C., & Vaillant, F. (1998). Estudio sobre el comportamiento poscosecha del lulo (*Solanum quitoense* Lam.). (Ponencia). Bogotá, Colombia: Corpoica. <https://repositorio.agrosavia.co/handle/20.500.12324/21338>
- Barrazueta, S. G., Falconí, J. F., Navarro, M. N., Oleas, J. M., & Mendoza, G. (2018). Physicochemical properties and application of edible coatings in strawberry *Fragaria x*

- Ananassa) preservation. *Facultad Nacional de Agronomía*, 71(3), 8631-8641. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v71n3.73548>
- Bello-Lara, J. E., Balois-Morales, R., Juárez-López, P., Alia-Tejaca, I., Peña-Valdivia, C. B., Jiménez-Zurita, J. O., Sumaya-Martínez, M. T., & Jiménez-Ruiz, E. I. (2016). Coatings based on starch and pectin from 'Pear' banana (*Musa ABB*), and chitosan applied to postharvest 'Ataulfo' mango fruit. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 22(3), 209-218. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2015.09.037>
- Bósquez, M. E., Guerrero, L. I., & Verdun, E. J. (2003). Moisture barrier properties and morphology of mezquite gum-candelilla wax based coating. *Food Research International*, 36, 885-893. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(03\)00097-8](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(03)00097-8)
- Casierra-Posada, F., García, E., & Lüdders, P. (2004). Determinación del punto óptimo de cosecha en el lulo (*Solanum quitoense* Lam. var. quitoense y septentrionale). *Agronomía Colombiana*, 22(1), 32-39. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180317823005>
- Castro, H., & González, B. (2010). Recubrimiento comestible en la conservación de uchuva (*Physalis peruviana* L. var. Colombia). *Revista de La Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 91(19), 16-34.
- Corpoica. (2002). *El Cultivo del Lulo. Manual Técnico*. (1era edición). Manizales, Colombia: Corpoica.
- Cuatin, L., & López, D. (2016). Evaluación de un recubrimiento comestible a base de proteínas de suero y cera de abeja sobre la calidad fisicoquímica y organoléptica de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Acta Agronómica*, 65(4), 326-333. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n4.50191>
- Del Ángel, F. (2019). *Películas para recubrimiento de alimentos base pectina, alginato y quitosano* (tesis de maestría). Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, División de Estudios de Posgrado e Investigación. <https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/5092/1/PEL%C3%8DCULAS%20P%20ARA%20RECUBRIMIENTO%20DE%20ALIMENTOS%20BASE%20PECTINA%20CALGINATO%20Y%20QUITOSANO.pdf>
- Eum, H., Hwang, D., Linke, M., & Lee, S. (2009). Influence of edible coating on quality of plum (*Prunus salicina* Lindl. cv. 'Sapphire'). *European Food Research and Technology*, 229, 427-434. <https://doi.org/10.1007/s00217-009-1054-8>
- Fagundes, C., Palou, L., Monteiro, A., & Pérez, M. (2014). Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible coatings on gray mold development and quality attributes of cold-stored cherry tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 92, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.01.006>
- Fagundes, C., Palou, L., Monteiro, A. R., & Pérez, M. B. (2015). Hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible coatings formulated with antifungal food additives to reduce alternaria black spot and maintain postharvest quality of cold-stored cherry tomatoes. *Scientia Horticulturae*, 193, 249-257. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.027>
- Falconí, J. F. (2016). *Empleo de recubrimientos comestibles en la conservación de Fragaria xananassa (Fresa)* (trabajo de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6109>
- Fernández Valdés, D., Bautista Baños, S., Fernández Valdés, D., Ocampo Ramírez, A., García Pereira, A., & Falcón Rodríguez, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una

- alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3), 52-57.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542015000300008
- Fernández, J. P., Obando-Ulloa, J. M., Martínez, J. A., Moreno, E., García-Mas, J., & Monforte, A. J. (2008). Climateric or non-climateric behavior in melon fruit 2. Linking climateric pattern and main postharvest disorders and decay in a set of near-isogenic lines. *Postharvest Biology and Technology*, 50, 125-134.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.04.007>
- Forero, N., Gutiérrez, S., Sandoval, R., Camacho, J., & Meneses, M. (2016). Evaluación poscosecha de las características del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) cubierto con hoja de plátano. *Temas Agrarios* 19(1), 73-85. <https://doi.org/10.21897/rta.v19i1.726>
- Formiga, A. S., Pinsetta, J. S., Pereira, E. M., Cordeiro, I. N., & Mattiuz, B. H. (2019). Use of edible coatings based on hydroxypropyl methylcellulose and beeswax in the conservation of red guava 'Pedro Sato'. *Food Chemistry*, 290, 144-151.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.142>
- García, M., & García, H. (2001). *Manejo Cosecha y Poscosecha de Mora, Lulo y Tomate de Árbol*. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.
<http://hdl.handle.net/20.500.12324/12834>
- García-Taín, Y., García-Pereira, A., Hernández-Gomez, A., & Pérez-Padrón, J. (2011). Estudio de la variación del Índice de Color durante la conservación de la piña variedad *Cayena Lisa* a temperatura ambiente. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(4).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542011000400002
- Garnica, K., Patarroyo, K., Ramírez, D., Pérez, H., & Perez, C. (2016). Efecto del uso de almidón de yuca en diferentes concentraciones como recubrimiento para almacenamiento de lulo (*Solanum quitoense*). XII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola. Bogotá, Colombia. 570-575. www.researchgate.net/publication/326169669
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2002). NTC 5093. Bogotá, Colombia. <https://docplayer.es/35497189-Norma-tecnica-colombiana-5093.html>
- Kathiresan, S., & Lasekan, O. (2019). Effects of glycerol and stearic acid on the performance of chickpea starch-based coatings applied to fresh-cut papaya. *CyTA - Journal of Food*, 17(1), 365-374. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1585959>
- Katiusca, J., Cerquera, N., & Gutierrez, N. (2013). Determinación del color del exocarpio como indicador de desarrollo fisiológico y madurez en la guayaba pera (*Psidium guajava* cv . Guayaba pera), utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes. *Revista EIA, Escuela de Ingeniería de Antioquia*, 10(19), 79-89.
<http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n19/n19a07.pdf>
- Krochta, J., & De-Mulder Johnson C. (1997). Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food Technology*, 51(2), 61-74.
<http://ucanr.edu/datastoreFiles/608-247.pdf>
- Legiscomex. (2013). *Inteligencia de mercados - Exportación de frutas exóticas colombianas*. Legiscomex. <https://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/exportaciones-estudio-frutas-exoticas.pdf>
- León-Leyva, A. P., Camacho-Hernández, I. L., Zazueta-Morales, J. J., Calderón-Castro, A., Fitch-Vargas, P. R., Jacobo-Valenzuela, N., Sánchez-Chilero, M. A., & Aguilar-

- Palazuelos, E. (2018). Desarrollo y caracterización de películas comestibles elaboradas a partir de almidón acetilado por extrusión y gelatina. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3, 714-720. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume3/4/10/117.pdf>
- López, D. F., Osorio, O., & Checa, O. E. (2019). Propiedades mecánicas de un material de pectina para revestimiento de fibras naturales utilizadas en aplicaciones agrícolas. *Información Tecnológica*, 30(3), 189-198. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000300189>
- Lozano, M., Valle, S., Aguirre, E., Lobato, C., & Huelitl, F. (2016). Películas basadas en emulsiones de pectina de frutos de tejocote (*Crataegus* spp.) y cera de candelilla: caracterización y aplicación en *Pleurotus ostreatus*. *Agrociencia*, 50(7), 849-866. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952016000700849&script=sci_arttext&tlng=es
- Maftoonazad, N., & Ramaswamy, H. S. (2019). Application and Evaluation of a Pectin-Based Edible Coating Process for Quality Change Kinetics and Shelf-Life Extension of Lime Fruit (*Citrus aurantifolium*). *Coatings*, 9, 285. <https://doi.org/10.3390/coatings9050285>
- Magaña, W., Sauri, E., Corrales, J., & Saucedo, C. (2013). Variaciones bioquímicas-fisiológicas y físicas de las frutas de pitahaya (*Hylocereus undatus*) almacenadas en ambiente natural. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha*, 14(1), 21-30. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81327871005.pdf>
- Muñiz, D. B., Wong, J. E., Aguilar, P., & Rojas, R. (2017). Aplicación de recubrimientos comestibles a base de pectina, glicerol y cera de candelilla en frutos cultivados en la Huasteca Potosina. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 4(10), 20-28. https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Ciencias_Naturales_y_Agropecuarias/vol4num10/Revista_de_Ciencias_Naturales_y_Agropecuarias_V4_N10_3.pdf
- Murmu, S. B., & Mishra, H. N. (2017). Engineering evaluation of thickness and type of packaging materials based on the modified atmosphere packaging requirements of guava (*Cv. Barunipur*). *LWT - Food Science and Technology*, 78, 273-280. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.043>
- Ospina, D. M., Ciro, H. J., & Aristizábal, I. D. (2007). Determinación de la fuerza de la fractura superficial y fuerza de firmeza en frutas de lulo (*Solanum quitoense* x *Solanum birtum*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 60(2), 4163-4178. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24465>
- Perdones, A., Sánchez, L., Chiralt, A., & Vargas, M. (2012). Effect of chitosan-lemon essential oil coatings on storage-keeping quality of strawberry. *Postharvest Biology and Technology*, 70, 32-41. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.04.002>
- Pinotti, A., García, M. A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. E. (2007). Study on microstructure and physical properties of composite films based on chitosan and methylcellulose. *Food Hydrocolloids*, 21(1), 66-72. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.02.001>
- Quintero, C., Falguera, V., & Muñoz, H. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Tumbaga*, 5, 93-118. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3628239.pdf>
- Ramírez, F., Kallarackal, J., & Davenport, T. (2018). Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) reproductive physiology: A review. *Scientia Horticulturae*, 238, 163-176. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.046>

- Salcedo, A. M. (2014). Evaluación de absorbedores de etileno compuestos por mezclas de permanganato de potasio y vermiculita como retardantes de madurez de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Bogotá, Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/52474/01107522.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, D., Contreras, J., Nevárez, G., & Aguilar, C. (2015). Caracterización de películas comestibles a base de extractos pécticos y aceite esencial de limón Mexicano. *CYTA - Journal of Food*, 13(1), 17-25. <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.904929>
- Sharma, H., Shami, V., Samsher, C., Vipul, S., & Er, K. (2019). Importance of edible coating on fruits and vegetables: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 8(3), 4104-4110. <https://www.phytojournal.com/archives/2019/vol8issue3/PartBI/8-3-524-110.pdf>
- Sheron-Rodríguez, F. (2017). Efecto de los recubrimientos a base de quitosano en la calidad del melón (*Cucumis melo* L.) mínimamente procesado. [Tesis de grado, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga].
- Solano, L. G., Alamilla, L., & Jiménez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados artículo de revisión. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 21(2), 30-42. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>
- Torres, R., Andrade, R., Tirado, D., & Acevedo, D. (2015). Influencia del grado de madurez en la firmeza del plátano hartón (*Musa AAB Simmonds*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 18(2), 563-567. <https://doi.org/10.31910/rudca.v18.n2.2015.187>
- Trujillo, Y., & Suarez, J. (2010). Evaluación del proceso de maduración del lulo (*Solanum quitoense* Lam) variedad Castilla. *Revista @limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 8(1), 58-66. https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/471
- Valencia, S., Vásquez, W., Pólit, P., Muñoz, F., Rúales, J., Alvarado, J., & Mirari, A. (2010). Seminario - Taller de nuevas tendencias en la poscosecha de frutas y hortalizas. Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología, Quito, Ecuador.
- Valencia-Chamorro, S., & Torres-Morales, J. (2016). Recubrimientos comestibles aplicados en productos de IV y V gamma. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha*, 17(2), 162-174. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81349041004.pdf>
- Valencia-Chamorro, S. A., Pérez-Gago, M. B., Del Río, M. A., & Palou, L. (2009). Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)-lipid edible composite coatings on postharvest decay development and quality attributes of cold-stored 'Valencia' oranges. *Postharvest Biology and Technology*, 54(2), 72-79. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.06.001>
- Vignoni, Lucía A., Césari, Ricardo M., Forte, Marcela., & Mirábile, Mónica L. (2006). Determinación de Índice de Color en Ajo Picado. *Información Tecnológica*, 17(6), 63-67. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000600011>

- Villanueva, M., & Ávila, J. (2019). *Análisis de calidad del agua (turbiedad y color) de un sistema de filtración de flujo ascendente construido con materiales granulares para bajantes de agua lluvia* (trabajo de investigación). Universidad Católica de Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/4f3bca11-9c40-4482-a601-f58492ae378f/full>
- Villegas, C., & Albarracín, W. (2016). Aplicación y efecto de un recubrimiento comestible sobre la vida útil de la mora castilla (*Rubus glaucus* benth). *Vitae, Revista de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*, 23(4), 202-209. <http://dx.doi.org/10.17533/udea.vitae.v23n3a06>
- Vishwasrao, C., & Ananthanarayan, L. (2016). Postharvest shelf-life extension of pink guavas (*Psidium guajava* L.) using HPMC-based edible surface coatings. *Journal of Food Science and Technology*, 53(4), 1966-1974. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2164-x>
- Zaccari, F., Del Puerto, M., Vignale, B., & Pritsch, C. (2017). Parámetros colorimétricos y contenido de pigmentos en cinco colores de cáscaras de fruto de guayabo (*Acca sellowiana* Berg Burret). *Revista Agrociencia Uruguay*, 21(2), 23-30. <https://doi.org/10.31285/AGRO.21.2.4>