



Aplicación De Un Recubrimiento Comestible A Base De Goma Guar Para Mejorar La Tolerancia Al Frio De Tomate Chonto (*Solanum Lycopersicum*) Durante El Almacenamiento

Application Of Guar Gum- Based Edible Coating To Improve Chilling Tolerance Of Tomato Chonto (*Solanum Lycopersicum*) During Storage

¹*Diana Carolina Arango González, ¹*Nidia Casas Forero*

¹Programa de Bioingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad El Bosque. Carrera 9 N° 131A – 2, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: darangog@unbosque.edu.co;  <https://orcid.org/0009-0003-2561-6530> ; Correo electrónico: ncasasf@unbosque.edu.co;  <https://orcid.org/0000-0001-9468-5087>

Recibido: abril 23 de 2024; Aprobado: junio 15 de 2024

RESUMEN

El almacenamiento bajo condiciones de refrigeración es una práctica común para prolongar la vida útil del tomate, sin embargo, puede resultar en daños por frío que afectan su apariencia y calidad. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de un recubrimiento comestible de goma guar (0.75% y 1.5%) como una posible alternativa para proteger al tomate “chonto” contra el daño por frío durante el almacenamiento a 10 ± 1 °C durante 45 días. Los resultados de las propiedades mecánicas y de barrera de las películas indican que los recubrimientos a base de goma guar al 1,5% presentan una mayor viscosidad, un 9,42% menos en la tasa de permeabilidad al vapor de agua y una microestructura más lisa y homogénea, con respecto a los recubrimientos de goma guar al 0,75%. En la aplicación de los recubrimientos en la superficie del tomate, los muestras con goma guar al 1,5% exhiben un mejor cubrimiento de la piel y requiere de menos inmersiones para una aplicación homogénea. Asimismo, esta formulación de

recubrimiento permitió reducir el daño por frío en un 59% y alargar la vida poscosecha de los tomates en un 80% respecto a los tomates sin recubrimiento. Entonces, esto sugiere que los recubrimientos a base de goma guar podrían ser un método efectivo para mantener la calidad del tomate durante su almacenamiento en frío.

Palabras clave: almacenamiento en frío, calidad, daño por frío, goma guar, tomate

Correspondencia autor: Correo electrónico: ncasasf@unbosque.edu.co;

ABSTRACT

Storage under refrigerated conditions is a common practice to extend the shelf life of tomatoes, however, it can result in chilling injury that affects their appearance and quality. Therefore, the objective of this study was to evaluate the impact of a guar gum-based edible coating (0.75% and 1.5%) as a possible alternative to protect “chonto” tomato against chilling damage during storage at 10 ± 1 °C. for 45 days. The results of the mechanical and barrier properties of the films indicate that the 1.5% guar gum-based coatings have a higher viscosity, 9.42% lower water vapor permeability rate and a smoother and more homogeneous microstructure compared to the 0.75% guar gum coatings. In the application of the coatings on the tomato surface, the 1.5% guar gum samples exhibit better skin coverage and require less dipping for homogeneous application. Likewise, this coating formulation made it possible to reduce chilling injury by 59% and extending postharvest life of the tomatoes by 80% compared to tomatoes without coating. Thus, it was suggested that guar gum-based coatings could be an effective method to maintain tomato quality during cold storage.

Keywords: cold storage, chilling injury, gum guar, quality, tomato.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es una de las hortalizas más comercializadas en todo el mundo, y su producción en 2021 alcanzó los 189 millones de toneladas (FAO, 2023). El tomate es una excelente fuente de nutrientes como proteínas, minerales, vitaminas, fibra, ácidos grasos monoinsaturados, carotenoides, licopeno y fitoesteroles que ayudan a reducir el riesgo de cáncer, enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas (Ali et al., 2021; Rai et al., 2022). El tomate presenta un comportamiento climatérico, es decir, continúa madurando después de la cosecha.

En este proceso de maduración, el fruto experimenta cambios fisiológicos y bioquímicos que pueden impactar como el incremento en la tasa de respiración, producción de etileno y crecimiento microbiano, alta tasa de pérdida de agua, cambios en el color de la piel de verde a rojo, degradación del almidón, ablandamiento y formación del aroma característico (Yadav et al., 2022; Kou et al., 2021). Como resultado de estos cambios, el tomate puede tener una vida útil de unos 7 días, que podría ampliarse cuando se almacena en condiciones de refrigeración a casi 14 a 20 días (Yadav et al., 2022).

Sin embargo, estas bajas temperaturas (7 a 13 °C) pueden causar daño por frío a la fruta, y los síntomas de este daño aparecen después de que el tomate se transfiere a almacenamiento a bajas temperaturas durante el proceso de comercialización (Duong et al., 2022). Los síntomas típicos incluyen picado de la superficie con la formación de manchas marrones y agujero, maduración no uniforme, decoloración, pérdida de frescura, desarrollo de mal sabor y aumento de la infección por hongos (Rai et al., 2022). Estos cambios se han asociado con una mayor permeabilidad de la membrana celular por efecto de la temperatura (Biswas et al., 2016). Por tanto, para reducir la aparición de estos daños por frío y preservar la calidad del fruto, se han evaluado diferentes alternativas, entre ellas la aplicación de recubrimientos comestibles.

Los recubrimientos comestibles (RC) representan una estrategia eficaz para proteger los frutos del ambiente externo mediante la aplicación de una capa delgada. Esta capa controla la migración de gases, solutos y humedad, así como la biosíntesis de etileno, reduciendo la tasa de respiración y mitigando los efectos del frío en el tejido (Yadav et al., 2022). Su formulación puede

incluir una variedad de componentes, como proteínas (gluten, gelatina), lípidos (aceites y ceras), polisacáridos (almidones, gomas y derivados de celulosa) y agentes plastificantes (sorbitol y glicerol) (Naeem et al., 2018).

Entre los polisacáridos utilizados en la formulación de RC, la goma guar (GG) destaca por su capacidad para hidratarse fácilmente en agua, generando soluciones viscosas que permiten su aplicación en el tejido de las frutas. Además, exhibe bajas tasas de transferencia de gas y presenta

propiedades ópticas y mecánicas favorables (Rastegar & Atrash, 2021). Actualmente, hay poca información disponible asociada sobre el uso de este polisacárido en la obtención de RC para reducir el daño por frío en el tomate durante su almacenamiento en refrigeración. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo, fue evaluar si un recubrimiento obtenido con goma guar tiene potencial para utilizarse como RC para proteger al tomate “chonto” del daño por frío y extender su vida útil.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de los RC

Se prepararon dos RC mediante la combinación de Goma Guar (0,75 y 1,5%) con glicerol (0,3%) empleando el método de casting. Las concentraciones de goma guar fueron establecida de un trabajo previo de Arango (2023) y los RC se prepararon siguiendo la metodología descrita por Chacón et al (2017). En resumen, la goma guar se mezcló en agua destilada a 60°C por 30 min con agitación constante (800 rpm), luego, se incorporó el plastificante, manteniendo la agitación por 30 min. Para la formación de las películas se colocaron las soluciones de los RC en moldes. Luego, el

disolvente se evaporó durante 14 horas a 20°C seguido de 12 horas a 50°C.

Caracterización de los RC. Para la caracterización de los RC se realizaron las siguientes pruebas:

- La viscosidad de las soluciones de RC se midió con un viscosímetro MRC Vis-8 con aguja 02 a una velocidad de 30rpm y los resultados se expresaron en mPa.
- El ángulo de contacto del RC en la piel del tomate, se determinó empleando la metodología descrita por Arango (2023), la cual consiste en colocar una gota de 40µL de la solución del RC sobre la piel del tomate (20 mm x 20 mm). Luego, se

captura una fotografía de la gota con una cámara de 12mpx y la imagen se analizó con el software ImageJ y se obtuvieron los valores del ángulo de contacto.

- Los parámetros de color CIELab (L*: luminosidad, a*: verde-rojo, b*: azul-amarillo) se midieron utilizando un colorímetro NH300 con iluminante D65 y un ángulo de 10°. El índice de color (IC*) se calculó como:

$$IC^* = \frac{a^* \cdot 1000}{(L^* \cdot b^*)}$$

Si el IC* esta entre -40 y -20, se relaciona con colores que van del azul-violeta al verde profundo. Si el IC* esta entre -20 y -2, el color esta entre verde profundo y verde amarillento. Si el IC* está entre -2 y +2, representa amarillo verdoso. Si el IC* esta entre +2 y +20, representa colores que van de amarillo pálido al naranja intenso. Y finalmente, si el IC* entra entre +20 y +40, la muestra tiene colores que van del naranja intenso al rojo profundo (Vignoni et al., 2006).

- El espesor de los RC se midió con un calibrador digital (Stainless Hardened 150mm±0,02mm). Se tomaron cinco mediciones por cada muestra de RC de 3cm x 3cm.
- La permeabilidad se determinó por el método gravimétrico basado en la norma

ASTM E96-92, llenando las celdas de agua y midiendo diariamente la cantidad de agua perdida. Las condiciones de los ensayos fueron: 20°C y 60 ± 2% de HR.

- Las propiedades mecánicas de los RC se evaluaron mediante pruebas de resistencia a la tracción y porcentaje de elongación a una velocidad de 5 mm/s. Las muestras de RC fueron cortadas en forma de corbatín (30 mm X 70 mm) y fueron estabilizadas durante 24 horas a una HR de 33% antes de la medición.
- La evaluación de la morfología de la superficie de los RC se realizó en una Microscopía electrónica de barrido empleando un microscopio LYRA3 TESCAN con un voltaje de aceleración de 5 kV. Las muestras fueron recubiertas con una fina capa de oro, y se fijaron en el soporte con ayuda de cinta adhesiva en forma horizontal.

Evaluación del RC aplicado en el tomate

Se seleccionaron 90 tomates en estado 4-5 de madurez fisiológica, sin daños mecánicos y sin picaduras. Los frutos fueron lavados y desinfectados y se dejaron secar por completo para que no interfiriera en la adhesión del RC. Los tomates se dividieron en tres grupos: Control (sin RC), T1 - GG 0,75% y T2 - GG 1,5%. 30 tomates que corresponden a la muestra control fueron

sumergidos en agua destilada por 1 minuto de acuerdo con el procedimiento establecido por Ruelas et al., (2017). Otros 30 tomates fueron sumergidos en la solución de GG 0,75% (T1) durante tres minutos, seguido de un minuto de escurrimiento. Finalmente, los otros 30 tomates fueron sumergidos cada uno en la solución de GG 1,5% (T2) durante dos minutos, seguido de un minuto de escurrimiento.

Después de aplicar los tratamientos, las muestras de tomate se dejaron secar y fueron almacenados a $10 \pm 1^\circ\text{C}$ y 85% de humedad relativa, de acuerdo con la metodología descrita por Jaramillo et al. (2016). La calidad de los tomates se evaluó en términos de porcentaje de pérdida de peso, daño por frío, color, firmeza, sólidos solubles totales, pH y acidez titulable, para lo cual, las muestras de tomate se retiraron de refrigeración cada 7 días y se dejaron a temperatura de ambiente durante 3 días, día en el cual se realiza la evaluación. Por tanto, se realizaron las pruebas de calidad, los días: 10, 17, 24, 31, 38 y 45 de almacenamiento. A continuación, se describen cada uno de los ensayos de calidad realizados:

- El porcentaje de pérdida de peso se calculó a partir del peso de los tomates en

el día cero (P_i) y para cada día de evaluación (P_f)

$$\% \text{Pérdida peso} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

- El daño por frío se determinó de acuerdo con la metodología descrita por Duong et al. (2022), en la cual se establecen cinco rangos asociados con el grado de afectación que posee el fruto y se evalúa de forma visual (ver tabla 1).

Tabla 1. Escala de evaluación de daño por frío.

Valor	Descripción
0	No hay picaduras
1	Ligero (picaduras < 25% de la superficie)
2	Moderado (picaduras presentes entre un 25-50% de la superficie)
3	Moderadamente grave (picaduras presentes entre un 50-75% de la superficie)
4	Grave (picaduras > 75% de la superficie)

A partir de los resultados se calcula el índice de daño por frío aplicado la siguiente ecuación:

$$\% \text{IC} = \frac{\sum(\text{Nivel de IC} * \text{Núm de frutas en el nivel})}{\text{Núm de tomates}}$$

- El color se midió con un colorímetro portátil NH300 y se calculó la diferencia de color:

$$\Delta E = \sqrt{(L_f - L_i)^2 + (a_f - a_i)^2 + (b_f - b_i)^2}$$

donde L_i , a_i y b_i y L_f , a_f y b_f , corresponden a los cambios de L^* , a^* y b^* para el día cero y para cada de almacenamiento, respectivamente. (Golasz, da Silva & da Silva., 2013).

- La firmeza se determinó como la fuerza máxima de compresión (N) empleando un analizador de textura TX-700, bajo las siguientes condiciones de ensayo: embolo de cabeza plana, velocidad de 2 mm/s, distancia de 10 mm y fuerza de 0.005N (Abebe, Tola & Mohammed, 2017).
- Los sólidos solubles totales (SST) se determinaron homogenizando 100g de la fruta por 2 minutos (Zahedi et al., 2019). Se tomó una muestra de jugo la cual se ubicó en el prisma, y se realizó la lectura de los °Brix.
- El pH se midió con un medidor de pH Sartorius 9340.1 Ub-10, para lo cual se pesó 1 g del jugo obtenido en la medición de los °Brix y se diluyó en 50mL de agua destilada. El dato de pH fue tomado después de 10s con la finalidad de que se estabilizara el resultado.

- La acidez titulable se midió a partir de la muestra empleada para la medición de pH. Para lo cual se realizó el proceso de titulación de la muestra con NaOH 0.1N hasta alcanzar un valor de pH igual a 8.1 (pH en el que vira la fenolftaleína). Se registró el volumen de NaOH gastado y se procedió a calcular la acidez de la muestra teniendo en cuenta el factor de acidez del ácido cítrico - 0,064 (Al-Dairi, Pathare & Al-Yahyai, 2021).

$$Acidez (\%) = \frac{Volumen NaOH (mL) * 0.1N * 0.064}{Masa muestra (g)} * 100$$

Análisis estadístico

Los datos fueron reportados como media \pm desviación estándar. El análisis estadístico se realizó con el software Statgraphics Centurion XVI y los resultados se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA), y se utilizó la prueba de Tukey para definir las diferencias entre medias con un nivel de confianza del 95 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los RC. La viscosidad de la solución del RC es un parámetro

importante de calidad, ya que puede influir en el proceso de aplicación del RC afectando la

uniformidad y la adherencia del recubrimiento (Nandi & Guha, 2018).

En la Tabla 2 se presentan los valores de viscosidad, donde se puede evidenciar que las soluciones obtenidas con GG al 1,5% presentan una mayor viscosidad que las soluciones de GG al 0,75%, lo que se puede asociar a la formación de una estructura de gel tridimensional o la inmovilización de las moléculas de agua (Nandi & Guha, 2018). Asimismo, se puede evidenciar que, a mayor concentración del polímero, se presenta una mayor viscosidad.

Tabla 2. Parámetros de calidad de los RC

Parámetro de calidad	Formulación	
	GG 0,75%	GG 1,5%
Viscosidad x10 ³ mPa.s	2,69 ± 0,06 ^b	4,16 ± 0,01 ^a
Ángulo de contacto	74,85 ± 1,50 ^a	69,09 ± 1,40 ^a
L*	93,9±0,9 ^b	95,1±0,6 ^a
a*	-0,68±0,3 ^b	-0,7±0,0 ^a
b*	3,2±0,3 ^a	6,5±0,2 ^b
IC*	-1,7±0,1 ^a	-1,2±0,0 ^b
Espesor (mm)	0,06 ± 0,01 ^a	0,08 ± 0,01 ^a
WVTR (g/m ² ·dx10 ³)	1,38 ± 0,01 ^b	1,25 ± 0,90 ^a
Resistencia a la tracción (MPa)	4,21 ± 1,43 ^a	3,07 ± 1,06 ^a
Porcentaje de elongación (%)	2,19 ± 0,41 ^a	3,09 ± 1,80 ^a

En relación al ángulo de contacto, estos valores pueden oscilar entre 0° que indica una dispersión completa del líquido sobre la superficie sólida, y 180° que indica una ausencia de humectación (Pirozzi et al., 2020). Los ángulos de contacto obtenidos entre el tejido del tomate y la solución del RC oscilaron entre 69,09° y 74,85°, que son <90° (Tabla), lo que sugiere que las formulaciones de GG tienen una alta interacción con la superficie hidrofóbica del tomate, lo que se traduce en que el RC puede adherirse con facilidad a la piel del tomate. A pesar de que no hay diferencias significativas entre los resultados, el ángulo de contacto de GG al 1,5% fue el menor, lo que podría deberse a la concentración del biopolímero, que proporciona más sitios hidrófobos y por lo tanto reduce la atracción de agua (Pirozzi et al., 2020), disminuyendo el ángulo de contacto con la superficie cerosa del tomate.

El comportamiento de los parámetros de color (Tabla) muestran que los RC tienen valores de L* superiores a 90, lo que asocia con una mayor transparencia y brillo (Ruelas et al., 2020). La muestra de GG al 1,5% presenta los mayores valores del parámetro b*, lo que podría indicar que posee un tono más amarillo que el otro RC, y esto puede estar asociado a que tiene la mayor

concentración del biopolímero. Lo anterior concuerda con los datos de índice de color (IC*), que se encuentran en la escala de -2 a +2, indicando que todas las formulaciones poseen un leve color amarillo-verdoso.

En relación al espesor, los RC a base de GG al 1,5% presentan valores mayores (Tabla), lo cual puede deberse a la alta capacidad que posee la GG para retener agua, formando así estructuras más densas y viscosas, y por ende una película más gruesa, lo cual puede estar asociado con la concentración de polímero en la solución (Nandi & Guha, 2018).

La permeabilidad expresada como la tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR) es un parámetro fundamental en los RC, ya que la cantidad de agua que puede ingresar o salir del alimento al ambiente externo por unidad de tiempo, puede influir en la calidad del producto (Sultan et al., 2021). El RC de GG al 1,5% mostró el menor valor de WVTR (**Tabla**), lo cual está relacionado directamente con el espesor, ya que, a mayor espesor, menor permeabilidad (Liyanapathiranage et al., 2023). La permeabilidad al vapor de agua es relevante en el caso del tomate, ya que este fruto es propenso a perder agua durante su almacenamiento debido a su alta tasa de respiración. Por lo tanto, el RC con baja

permeabilidad al vapor de agua puede reducir la evaporación y proteger al tomate contra la deshidratación (Yadav et al., 2022). En este sentido, los RC elaborados con GG al 1,5% podría brindar una mayor protección durante el almacenamiento en refrigeración debido a su baja WVTR.

Las propiedades mecánicas de los RC proporcionan información sobre la resistencia y capacidad para mantener la integridad estructural del producto durante el manejo y el almacenamiento (Suresh, Puspharaj & Subramani, 2022). La resistencia a la tracción representa la máxima fuerza que el RC puede soportar antes de romperse, mientras que el porcentaje de elongación indica la capacidad de deformación del material antes de fracturarse (Sultan et al., 2021).

Como se puede observar en la Tabla , la formulación de GG al 1,5% exhibe una menor resistencia a la tracción que la formulación de GG al 0,75%, lo que podría deberse a la interacción del plastificante con la GG, ya que el glicerol al poseer una estructura molecular pequeña, logra insertarse con facilidad en la red polimérica debilitando las cadenas poliméricas de la GG y como consecuencia se presenta una disminución en la resistencia a la tracción (Nandi & Guha, 2018). Sin embargo, el

porcentaje de elongación de la formulación GG al 1,5% presentó el valor más alto, resultado de la actividad plastificante, que logró mayor flexibilidad y movilidad de la estructura de esta formulación.

Las imágenes obtenidas del análisis de microscopia muestran que los RC exhiben una superficie lisa, homogénea y la presencia de puntos de color blanco, principalmente en el RC de GG 0,75% (

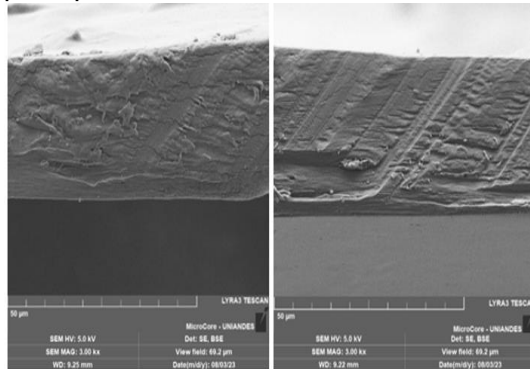


Figura 1). Kumar et al., (2023) obtuvo un resultado similar en su estudio de RC de GG con extracto de menta y ellos asocian los puntos blancos, a que la GG permanece insoluble en el agua y, después del secado se puede visualizar.

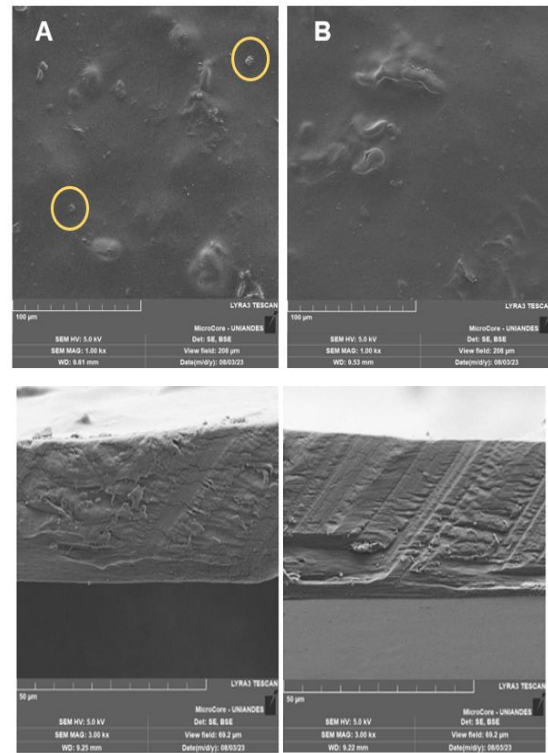


Figura 1. Micrografía SEM de superficie (superior) y sección transversal (inferior) de los RC de GG 0,75% (A) y GG 1,5% (B).

Por otro lado, la sección transversal de ambas muestras presenta una estructura compacta y sin fenómeno de estratificación, lo que puede deberse a las interacciones y el entrelazamiento entre el biopolímero y el plastificante (Ganiari, Choulitoudi & Oreopoulou, 2017).

Evaluación del RC aplicado en el tomate

La apariencia del tomate se ve afectada por la pérdida de peso, lo que se debe principalmente a la pérdida de agua y el proceso de respiración (Suresh, Puspharaj &

Subramani, 2022). En la Figura 2a, se puede visualizar que los tomates control presentan una pérdida de peso más acelerada que los tomates recubiertos, alcanzando una pérdida del 25% a los 45 días de almacenamiento. Lo cual indica que el RC actúa como una barrera semipermeable contra el CO₂ y el O₂, el movimiento de solutos y la humedad, lo que reduce el proceso de transpiración y las tasas de reacción de oxidación (Ali et al., 2010).

Los síntomas de daño por frío en el tomate no son evidentes inmediatamente después de retirarlo de las bajas temperaturas, sino cuando permanecen a temperatura ambiente. Es por ello por lo que los tomates, una vez retirados de refrigeración se mantuvieron tres días a temperatura ambiente.

En la **Figura 2b**, se puede observar que los tomates control presentaron un índice de daño por frío mayor que los tomates con tratamiento. De acuerdo con Mirshekari et al. (2019) se considera un alto daño por frío cuando el IC es mayor a 2,0. Teniendo en cuenta lo anterior, después del almacenamiento, los tomates control exhibieron un promedio de 2,97 de IC, mientras que los tomates con GG al 1,5% exhibieron un promedio de 1,77 de IC,

arrojando así que, este RC logró reducir el daño por frío en el tomate en un 59,6%.

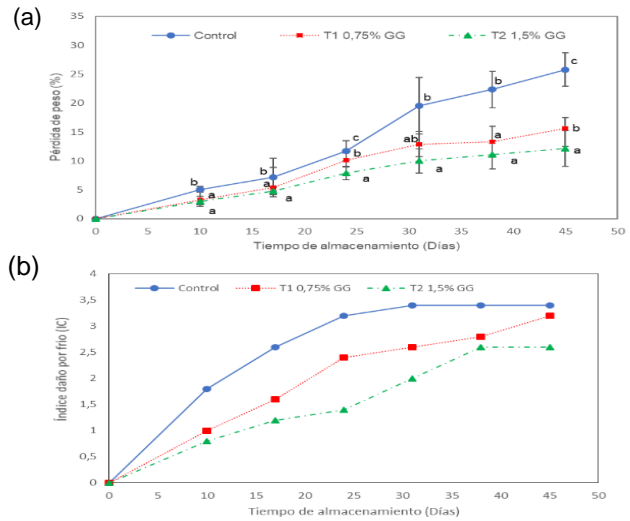


Figura 2. Porcentaje de pérdida de peso (a) e índice de daño por frío (b) durante el almacenamiento

En la Tabla , se observan las imágenes de los cambios del tomate durante el almacenamiento, teniendo en cuenta que las filas de almacenamiento inicial corresponden a cada grupo de cinco tomates antes de entrar a refrigeración (día 0). Todos los frutos presentaron cambios en su apariencia visual externa, pero los tomates con RC sufrieron un cambio menor en comparación con el control. Los tomates de control presentan oscurecimiento de la piel, manchas y arrugamiento, lo que se puede deber a que, durante el enfriamiento, las enzimas polifenoloxidasa actúan sobre los

compuestos fenólicos liberados de la vacuola, provocando así el oscurecimiento de los tejidos y el arrugamiento del pedúnculo, lo cual se puede observar cuando el fruto permanece a temperatura ambiente después del almacenamiento en frío (Najat et al., 2018).

para distinguir las diferencias de color sin la necesidad de un panel de análisis sensorial. Los valores de ΔE entre 0 y 2 son imperceptibles, los valores entre 2 a 3 son apenas perceptibles, los valores entre 3 y 8 son moderadamente perceptibles y los valores superiores a 8 son totalmente perceptibles (Gupta & Gupta, 2011).

La diferencia de color (ΔE) es parámetro útil para evaluar la capacidad del ojo humano

Tabla 3. Aspecto visual de los tomates durante el almacenamiento

Día	Control	T1 0,75% GG	T2 1,5% GG
Día 0			
Día 10			
Día 0			
Día 17			
Día 0			
Día 24			
Día 0			
Día 31			
Día 0			



En la Tabla se encuentran los valores de ΔE de cada grupo de tomates. Se evidencia que los tomates control tienen mayores valores de ΔE ($p < 0,05$), donde hasta el día 38 los tomates con GG al 1,5% presentaron valores menores a 8, por lo que sus cambios de color eran moderadamente perceptibles; mientras las muestras control, a partir del día 10 de almacenamiento los cambios de color fueron totalmente perceptibles

Estos resultados en el color de los tomates control sugieren que el contenido de clorofila de estos es menor en comparación con los tomates recubiertos (Ali et al., 2023). Gracias

a la capa protectora que poseen los tomates recubiertos, la cual crea un obstáculo entre la muestra y el medio ambiente, hay una reducción de absorción de O_2 por los tejidos del fruto, lo que restringe la descomposición del pigmento, preservando así el contenido total de la clorofila (Das et al., 2022). Los resultados obtenidos también sugieren que se ralentizó el proceso de maduración del fruto recubierto al reducirse la tasa de respiración, la emisión de etileno y la descomposición oxidativa de la clorofila, tal como lo reportan Kurumas et al., (2022).

Tabla 4. ΔE de los tomates durante el almacenamiento

Tratamiento	Día 10	Día 17	Día 24	Día 31	Día 38	Día 45
Control	10,68 ± 2,41 ^c	12,15 ± 1,47 ^b	10,67 ± 1,61 ^c	11,66 ± 2,91 ^c	16,03 ± 1,51 ^c	16,63 ± 0,10 ^b
T1 0,75% GG	7,48 ± 2,36 ^b	4,17 ± 1,56 ^a	7,13 ± 1,60 ^b	8,02 ± 2,13 ^b	8,27 ± 1,29 ^b	11,51 ± 2,29 ^a
T2 1,5% GG	3,14 ± 1,02 ^a	4,73 ± 0,71 ^a	5,31 ± 1,71 ^a	6,50 ± 1,55 ^a	5,75 ± 0,97 ^a	11,34 ± 0,56 ^a

En relación a la firmeza del tejido del tomate, el ablandamiento es una consecuencia de la pérdida de turgencia y rigidez de la pared celular por degradación de sus componentes poliméricos y en consecuencia una reducción de la adhesión entre las células (Biswas., 2017). El daño por frío altera las propiedades de textura del tomate, donde se ven involucrados la formación de sales de

pectatos, fuga de iones, pérdida de los componentes del tejido y la alteración del metabolismo de la pared celular lo que conlleva a una pérdida sustancial de firmeza tal como muestra la Figura 3a, donde al final del almacenamiento, los tomates control perdieron un 73.89% de firmeza ($p < 0,05$). Por otro lado, los tomates recubiertos exhiben una menor pérdida de este

parámetro (42,79% a 50,73%), lo que de acuerdo con Asiamah et al., (2023), la capa de RC sobre el tomate mantiene la solubilización y despolimerización de la pectina y con ello evita la pérdida significativa de componentes como la celulosa, la hemicelulosa, pectinas y proteínas estructurales de la pared celular del fruto (Chylińska, Szymańska-Chargot & Zguunek., 2014).

En relación a los sólidos solubles totales, el tomate se caracteriza por ser una fruta climatérica, por lo que el aumento de SST es significativo durante el almacenamiento prolongado. Lo anterior puede deberse a un incremento en la conversión de sacarosa en glucosa y con ellos aumento en el nivel de azúcares (Ali et al., 2023). En la Figura 3b se puede observar un aumento gradual de los SST, siendo este mayor ($p < 0,05$) en el grupo control, que para el día 45 presentaron un aumento del 43,1%.

Por otro lado, los tomates con RC exhibieron un porcentaje menor de aumento (34,04% para tomates con tratamiento T2 y 35,30% para tomates con tratamiento T1), lo que sugiere que la aplicación del RC en el tomate proporciona una barrera semipermeable alrededor del fruto, lo que modifica la atmósfera interna y por ende reduce la disponibilidad de O_2 y eleva el CO_2 lo que

suprime la producción de etileno en el proceso de respiración, el cual disminuye y ralentiza la síntesis y uso de metabolitos, resultado en una menor tasa de SST en comparación con los frutos sin RC a través del tiempo (Ali et al., 2010).

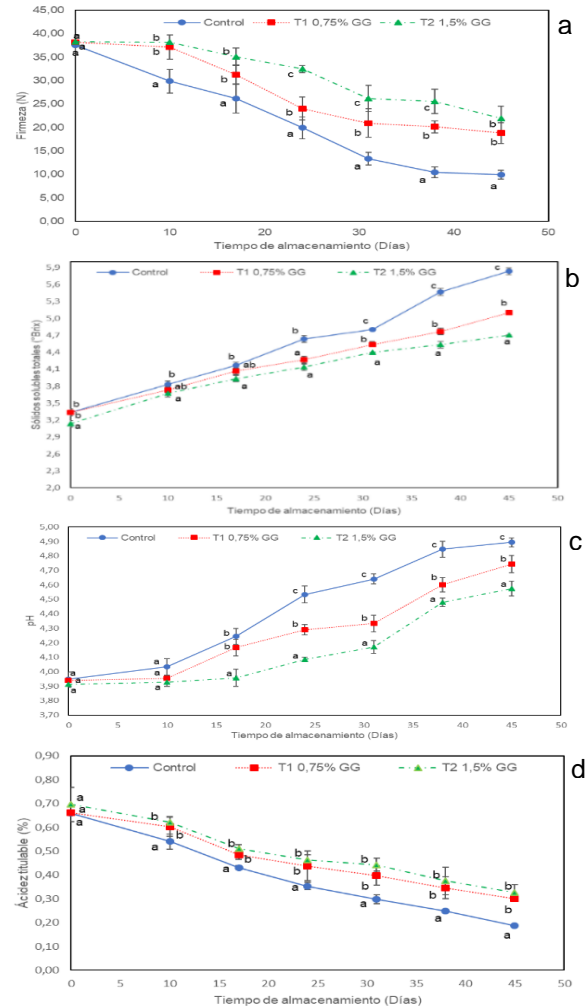


Figura 3. (a) Firmeza, (b) Sólidos solubles totales, (c) pH y (d) Acidez titulable

La acidez del tomate es un indicador clave de su calidad ya que los ácidos orgánicos presentes en el fruto contribuyen significativamente a su sabor y aroma volátiles. El pH durante el almacenamiento aumenta, mientras la acidez titulable disminuye, lo que puede deberse a la oxidación de los ácidos orgánicos durante este tiempo (Tafí et al., 2023). Lo anterior indica que estos resultados son inversamente proporcionales, tal como lo muestra *Figura 3c-d* que corresponden a pH y acidez titulable respectivamente. Los tomates control exhiben valores mayores de pH y valores menores en acidez lo que sugiere que hay una mayor estimulación de la respiración del fruto y con ello una disminución de la producción de compuestos ácidos durante la maduración, lo que disminuye rápidamente los valores de acidez (Tadesse, Ibrahim y Abteu., 2015). Por el contrario, los tomates con RC, aunque también presentan un comportamiento

CONCLUSIONES

El recubrimiento comestible obtenidos a partir de goma guar y glicerol presentan una buena calidad, siendo el RC con una concentración de 1,5% de GG el que presentó mejores características físicas y mecánicas, principalmente exhibió una baja tasa de transmisión al vapor de agua, lo que

similar, sus valores de pH son menores (6,91%) y la acidez titulable es más alta (18,35%) a través del tiempo de almacenamiento, con respecto a las muestras control, indicando así que, durante el proceso de maduración de estos tomates se hizo un menor uso de ácido orgánico para el proceso de respiración (Dehghani, Hosseini y Roustab., 2022).

Al evaluar el efecto global de la aplicación de los RC en el tomate durante el almacenamiento, se puede indicar que ambos RC lograron proteger al tomate frente al daño por frío, sin embargo, los tomates con GG al 1,5% exhibieron menos síntomas de IC y presentan un 80% más de vida útil que los tomates sin RC. Lo anterior indica que la aplicación del RC funciona como una barrera semipermeable y retarda las reacciones bioquímicas y la maduración del fruto.

indicó que podría funcionar adecuadamente durante el almacenamiento en refrigeración. Asimismo, durante la evaluación del recubrimiento aplicado en las muestras de tomate, se observó que el RC con 1,5% de GG proporciona un 27,17% más de protección contra el daño por frío en

comparación con los tomates control, exhibiendo un promedio de índice de daño por frío de 1,77 y esto se traduce en un

aumento de la vida útil de los tomates en aproximadamente un 80% en comparación con las muestras control.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abebe, Z., Tola, Y. B., & Mohammed, A. (2017). Effects of edible coating materials and stages of maturity at harvest on storage life and quality of tomato (*Lycopersicon Esculentum* Mill.) fruits. *African Journal of Agricultural Research*, 12(8), 550-565.
- Al-Dairi, Path, & Al-Yahyai (2021). Chemical and nutritional quality changes of tomato during postharvest transportation and storage. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(6), 401–408. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.05.001>.
- Ali, A., Maqbool, M., Ramachandran, S., & Alderson, P. G. (2010). Gum arabic as a novel edible coating for enhancing shelf-life and improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 58(1), 42–47. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.05.005>
- Ali, Q., Kurubas, M. S., Mujtaba, M., Nazari, A. W., Dogan, A., Kaya, M., Oner, E. T., Yilmaz, B. A., & Erkan, M. (2024). Shelf life of cocktail tomato extended with chitosan, chia mucilage and levan. *Scientia Horticulturae*, 323(May 2023), 112500. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112500>.
- Ali, Q., Kurubas, M. S., & Erkan, M. (2021). Comparison of ethylene sensitivity of three tomato cultivars from different tomato types and effects of ethylene on postharvest performance. *Tarim Bilimleri Dergisi*, 27(4), 476–483. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.715171>
- Biswas, P., East, A. R., Hewett, E. W., & Heyes, J. A. Chilling injury in tomato fruit. (2016). *Horticultural Reviews Volume 44*, 44, 229-278.
- Chylińska, M., Szymańska-Chargot, M. & Zdunek, A. Imaging of polysaccharides in the tomato cell wall with Raman microspectroscopy. *Plant Methods* 10, 14 (2014). <https://doi.org/10.1186/1746-4811-10-14>.

- Das, S. K., Vishakha, K., Das, S., Chakraborty, D., & Ganguli, A. (2022). Carboxymethyl cellulose and cardamom oil in a nanoemulsion edible coating inhibit the growth of foodborne pathogens and extend the shelf life of tomatoes. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 42(May), 102369. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102369>.
- Dehghani, S., Hosseini, E., & Rousta, E. (2022). Shelf-life extension of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) using an edible coating of bitter almond gum-fish gelatin conjugates. *Progress in Organic Coatings*, 170(May), 106980. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.106980>.
- Duong, N. T. C., Uthairatanakij, A., Laohakunjit, N., Jitareerat, P., & Kaisangsri, N. An innovative single step of cross-linked alginate-based edible coating for maintaining postharvest quality and reducing chilling injury in rose apple cv. "Tabtimchan" (*Syzygium samarangense*). (2022). *Scientia Horticulturae*, 292(September 2021).
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021).
- Gupta G, Gupta T. Evaluation of the effect of various beverages and food material on the color stability of provisional materials - An in vitro study. *J Conserv Dent*. 2011 Jul;14(3):287-92. doi: 10.4103/0972-0707.85818. PMID: 22025835; PMCID: PMC3198561.
- Jaramillo, J., Rodriguez, V., Gil, L., Garcia, M., Climaco, J., Quevedo, D., Sanchez, G., Aguilar, P., Pinzon, L., Zapata, M., Restrepo, J., & Guzman, M. Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas. In *Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas*. (2013).
- Kumar, P., Kumar, L., Tanwar, R., Singh, S., & Gaikwad, K. K. Active edible coating based on guar gum with mint extract and antibrowning agents for ber (*Ziziphus mauritiana*) fruits preservation (2023). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(1), 129-142.
- Kurubas M.S, Yildirim I.K, Ali Q, Erkan M. (2022). Maintenance shelf-life quality of cocktail tomatoes by using UV-C illumination and Arabic gum coating. *J. Sci. Food Agric.*, 102, pp. 3897-3907, [10.1002/jsfa.11739](https://doi.org/10.1002/jsfa.11739).

- Liyanapathiranaige, Dassanayake, Gamage, Karri, Manamperi, Evon, Jayakodi, Madhujith and Merah. Recent Developments in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables. (2021). *Journal of Horticultural Research*, 29(2), 127–140.
- Naeem, A., Abbas, T., Ali, T. M., & Hasnain, A. Effect of antioxidant and antibacterial properties of guar gum coating containing spice extracts and its application on tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). (2018). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(4), 2725–2734.
- Nandi, S., & Guha, P. Modelling the effect of guar gum on physical, optical, barrier and mechanical properties of potato starch based composite film. (2018). *Carbohydrate Polymers*, 200(August), 498–507.
- Pirozzi A, Del Grosso V, Ferrari G, Donsì F. Edible Coatings Containing Oregano Essential Oil Nanoemulsion for Improving Postharvest Quality and Shelf Life of Tomatoes. *Foods*. 2020 Nov 4;9(11):1605.
- Rai, Kumari, & Vashistha. Umbrella review on chilling injuries: Post-harvest issue, cause, and treatment in tomato. (2022). *Scientia Horticulturae*, 293, 110710.
- Rastegar, S., & Atrash, S. (2021). Effect of alginate coating incorporated with Spirulina, Aloe vera and guar gum on physicochemical, respiration rate and color changes of mango fruits during cold storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(1), 265–275. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00635-6>
- Ruelas-Chacon, X., Aguilar-González, A., Reyes-Vega, M. de la L., Peralta-Rodríguez, R. D., Corona-Flores, J., Reboloso-Padilla, O. N., & Aguilera-Carbo, A. F. Bioactive protecting coating of guar gum with thyme oil to extend shelf life of tilapia (*Oreochromis niloticus*) filets. (2020). *Polymers*, 12(12), 1–14.
- Sultan, M., Hafez, O. M., Saleh, M. A., & Youssef, A. M. Smart edible coating films based on chitosan and beeswax–pollen grains for the postharvest preservation of Le Conte pear. (2021). *RSC advances*, 11(16), 9572-9585.
- Suresh, S. N., Puspharaj, C., & Subramani, R. Development of Almond gum/alginate composites to enhance the shelf-life of post-harvest *Solanum Lycopersicum* L.

(2022). *Food Hydrocolloids for Health*, 2(July), 100087.

Tadesse, T. N., Ibrahim, A. M., & Abteu, W. G. (2015). Degradation and formation of fruit color in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in response to storage temperature. *American Journal of Food Technology*, 10(4), 147–157. <https://doi.org/10.3923/ajft.2015.147.157>

Tafi, E., Triunfo, M., Guarnieri, A. et al. Preliminary investigation on the effect of insect-based chitosan on preservation of coated fresh cherry tomatoes. *Sci Rep* 13, 7030 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33587-0>

Vignoni, Lucía A, Césari, Ricardo M, Forte, Marcela, & Mirábile, Mónica L. (2006). Determination of Color Index in Minced Garlic. *Información tecnológica*, 17(6), 63-67. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000600011>.

Yadav, A., Kumar, N., Upadhyay, A., Sethi, S., & Singh, A. Edible coating as postharvest management strategy for shelf-life extension of fresh tomato (*Solanum lycopersicum* L.): An overview. (2022).

Zahedi, SM, Hosseini, MS, Karimi, M, Ebrahimzadeh, A. Effects of postharvest polyamine application and edible coating on maintaining quality of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Langra during cold storage. *Food Sci Nutr*. 2019; 7: 433–441. <https://doi.org/10.1002/fsn3.802>.