

La refrigeración y aplicación de recubrimientos de quitosano incrementan la vida poscosecha de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) 'Costeña'

Refrigeration and chitosan coating extend the postharvest life of Mexican plum (*Spondias purpurea* L.) 'Costeña'

Gloria Arantxa Sotelo-Alcántara¹ , Irán Alia-Tejacal^{1*} , Víctor López-Martínez¹ ,
Porfirio Juárez-López¹ , Gloria Alicia Pérez-Arias¹ , Erika Román-Montes de Oca¹ ,
Nelson Avonce-Vergara² , Juan Manuel Villarreal-Fuentes³ 

¹ Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Av. Universidad 1001, Chamilpa, 62209, Cuernavaca, Morelos, México.

² Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Centro de Dinámica Celular, Av. Universidad 1001, Chamilpa, 62209, Cuernavaca, Morelos, México.

³ Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agrícolas, entronque carretera Costera y Pueblo de Huehuetán, 30660, Chiapas, México

*Autor para correspondencia: iran.alia@uaem.mx

Fecha de recepción:

18 de enero de 2026

Fecha de aceptación:

5 de mayo de 2026

Disponible en línea:

15 de mayo de 2026

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.



Reconocimiento-
NoComercial-
CompartirIgual 4.0
Internacional
(CC BY-NC-SA 4.0)

Cómo citar:

Sotelo-Alcántara, G. A., Alia-Tejacal, I., López-Martínez, V., Juárez-López, P., Pérez-Arias, G. A., Román-Montes de Oca, E., Avonce-Vergara, N., & Villarreal-Fuentes, J. M. (2026). La refrigeración y aplicación de recubrimientos de quitosano incrementan la vida poscosecha de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) 'Costeña'. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 12, e12e1001. <https://doi.org/10.30973/aap/2026.12.e12e1001>

RESUMEN

El uso de recubrimientos comestibles como el quitosano y la refrigeración son tecnologías post-cosecha que prolongan la vida útil de la ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.), un recurso fitogenético de consumo estacional. El objetivo fue evaluar el comportamiento poscosecha de la variedad 'Costeña' con recubrimiento de quitosano al 1 % (cc) y sin recubrimiento (sq), almacenadas a 7 °C y 12 °C por 24 d, además de frutos testigo a 25 °C sq. Los testigos mostraron máxima producción de etileno y respiración a los 8 d, pérdida de firmeza del 60 % en 10 d, 16 % de pérdida de peso en 9 d, incremento de sólidos solubles a 14 °Bx en 4 d y aumento constante del índice de sabor. La acidez titulable, fenoles y flavonoides disminuyeron, mientras la actividad antioxidante mostró un comportamiento inverso. El almacenamiento a 7 °C y 12 °C retrasó los procesos fisiológicos y mantuvo calidad comercial, mientras que el quitosano al 1 % retrasó la maduración y conservó compuestos nutraceuticos.

PALABRAS CLAVE

Flavonoides, etileno, actividad antioxidante, respiración.

ABSTRACT

The use of edible coatings and refrigeration are postharvest technologies that extend the shelf life of Mexican plum (*Spondias purpurea* L.), a seasonal fruit genetic resource. This objective of this study was to evaluate the postharvest behavior of the 'Costeña' variety with 1 % chitosan coating (cc) and without coating (uc), stored at 7 °C and 12 °C for 24 d, in addition to uncoated fruits stored at 25 °C. Control fruits showed maximum ethylene production and respiration at 8 d, a 60 % loss of firmness within 10 d, 16 % weight loss in 9 d, and an increase in soluble solids to 14 °Bx at 4 d, an a constant increase in flavor index. Titratable acidity, phenolics, and flavonoids decreased, whereas antioxidant activity showed the opposite trend. Storage at 7 °C and 12 °C delayed physiological processes and maintained commercial quality, while 1 % chitosan delayed ripening and preserved nutraceutical compounds.

KEYWORDS

Flavonoids, ethylene, antioxidant activity, respiration.

INTRODUCCIÓN

La ciruela mexicana, *Spondias purpurea* L., es un fruto apreciado en todo México por su sabor agridulce que se consume en fresco o en extractos para elaborar bebidas refrescantes, dulces y otros platillos (Ruenes-Morales et al., 2022). Su origen es el occidente de México (Jalisco, Nayarit, Michoacán) (Fortuny-Fernández et al., 2017) y se reportan 8,097 ha establecidas en el país; los principales estados productores son Chiapas (28.1 %), Jalisco (13.9 %), Puebla (12.8 %), Guerrero (8.5 %) y Veracruz (8.2 %) (Servicio de Información Agrícola y Pesquera, 2024). Los frutos de ciruela muestran gran potencial como materia prima para la industria refresquera, confitería y en la elaboración de frutos deshidratados. Además, la facilidad de su cultivo en huertos caseros es importante para la promoción de alimentos saludables, ya que el consumo en fresco o en diferentes preparaciones proporciona alto contenido de fibra, potasio, hierro, zinc, vitamina C, carotenoides, compuestos fenólicos y antocianinas (Ferrer et al., 2022).

De acuerdo con varios autores, en México se conocen dos tipos de ciruela, las de estación húmeda y las de estación seca. En las primeras los frutos se cosechan entre finales de marzo a junio y en las segundas, entre septiembre a octubre (Cancino-Labra et al., 2023). La ciruela mexicana se encuentra cultivada tanto en huertas establecidas como familiares para autoconsumo, y es comercializada en pequeña escala en mercados municipales y regionales (Ruenes-Morales et al., 2022); por ejemplo, en municipios de Morelos, como Cuernavaca, Jojutla, Cuautla y Tepoztlán, la venta de este fruto es en recipientes con capacidad de aproximadamente 10 kg, cubetas (20.5 kg), carretillas o puestos improvisados con el fruto para la venta en unidades de medida de 300 g (Monroy Martínez et al., 2020).

La vida de almacenamiento de frutos de ciruela mexicana de estación seca es corta (entre 4 d y 6 d), considerando la madurez con la que se cosechan los frutos, es decir, ya sea en madurez fisiológica, de consumo o en la transición de ambas etapas, aspecto importante que define la calidad final del producto (Alia-Tejagal et al., 2022; Cancino-Labra et al., 2024; Maldonado-Astudillo et al., 2023). Una vez cosechada, se almacena a temperatura ambiente, ya que aún no se han determinado las temperaturas recomendadas para esta fruta; pero se sabe que son susceptibles a daño por

frío durante el almacenamiento a bajas temperaturas. En ciruelas de estación húmeda, se ha indicado que el color y los sólidos solubles totales (ssr) fueron afectados negativamente después de refrigerarse por 10 d a 5 °C (García-González et al., 2016).

Por otro lado, el desarrollo de recubrimientos comestibles biodegradables y películas se utiliza para ayudar a conservar nutrientes importantes, minimizando o eliminando por completo los efectos negativos asociados con el procesamiento de alimentos (Chizaryfard & Karakaya, 2022). Biradar et al. (2022) indican que el quitosano por sus propiedades bactericidas y fungicidas se utiliza en el recubrimiento de frutos para controlar el deterioro poscosecha e incrementar vida útil. En fresa (*Fragaria x ananassa*), mejora el índice de sabor (mayor dulzura), menor acidez, mientras que, en plátano (*Musa paradisiaca* L.), prolonga la aparición del pico climatérico y hay una tasa menor de respiración (Madera-Santana et al. 2019; Nguyen et al. 2024).

El quitosano consiste de unidades repetidas de D-glucosamina y N-acetil-D-glucosamina, unidas por puentes glucosídicos y se obtienen de la desacetilación de la quitina, un componente abundante en los organismos de origen marino como crustáceos que es un biopolímero catiónico; gracias a su grupo amino ($-NH_2$), se protonan formando grupos amino catiónicos ($-NH_3^+$), lo que aumenta la repulsión eléctrica intermolecular y da como resultado un polímero soluble policatiónico, el cual ha sido ampliamente utilizado en diferentes áreas al ser biocompatible con muchos sistemas biológicos (Kumar et al., 2020; López-Corona et al., 2019).

En ciruela de estación húmeda, Bautista Baños et al. (2006) reportan que la temperatura a 12 °C en combinación con concentraciones de quitosano de 2 % y 2.5 % fueron efectivas para evitar una pérdida excesiva de biomasa, además de disminuir la incidencia de enfermedades; la evidencia también mostró alteraciones en el proceso de maduración, por lo que estudios adicionales que incluyan experimentos con temperaturas entre 12 °C y 15 °C podrían abrir la posibilidad de aplicar una temperatura controlada. Sin embargo, en ciruelas de estación seca, aún no se ha evaluado el uso del quitosano y la refrigeración.

Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento de una variedad de ciruela mexicana de estación seca al aplicar un recu-

brimiento de quitosano almacenada a 7 °C y 12 °C por un período de 24 d y determinar su factibilidad para incrementar la vida útil, evaluando algunas variables fisiológicas, químicas y nutraceuticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se colectaron frutos de ciruela mexicana 'Costeña', provenientes de Villa Guerrero, municipio de Juan R. Escudero, estado de Guerrero, México (17°09'5" N, 99°31'46" O, 252 msnm) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2024). Los frutos se cosecharon en madurez ½ verde (50 % del color de la epidermis rojo y 50 % verde) y fueron transportados en cajas de plástico vía terrestre durante 4 h al Laboratorio de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Los frutos fueron seleccionados sin magulladuras, daño por insectos o patógenos, se lavaron con una solución clorada al 1 %, se secaron a temperatura ambiente y se acondicionaron también a temperatura ambiente durante 2 h.

Organización experimental

Se formaron grupos de 40 frutos a los cuales se aplicaron los siguientes tratamientos: 1) frutos sin aplicar quitosano a 7 °C (sq 7 °C), 2) sin quitosano a 12 °C (sq 12 °C), 3) con quitosano a 7 °C (cq 7 °C) y 4) con quitosano a 12 °C (cq 12 °C). Adicionalmente, se tuvo un grupo de ciruelas donde no se aplicó quitosano y se utilizó como tratamiento testigo, almacenados a temperatura ambiente (25 ± 2 °C, HR 60 %). Los frutos en refrigeración se mantuvieron en oscuridad en cámaras de temperatura controlada (OLG, Mod.800-D, China) y 60 % HR. La unidad experimental fue un fruto con ocho repeticiones bajo un diseño experimental completamente al azar.

La solución de quitosano se preparó al disolver 1 g de quitosano (160-200 kDa, 80 % DD; BIOTECHQUIM®, México) en 100 mL de vinagre comestible (5 % de ácido acético; Clemente Jacques®, México) agitando durante 1 h a temperatura ambiente (Sotelo-Alcántara et al., 2022). La aplicación de la cubierta de quitosano fue con un pincel fino de uso alimenticio por todo el fruto y se dejó secar a temperatura ambiente durante

1 h (Madera-Santana et al., 2019). Posteriormente, se llevaron en charolas de plástico para almacenarlos en las diferentes temperaturas.

Variables evaluadas

La velocidad de respiración (CO₂) y producción de etileno, se determinaron mediante un sistema estático (Salveit, 2016a) con un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies 7890A System GC, Estados Unidos). Para la cuantificación se utilizaron estándares de CO₂ (460 ppm) y etileno (100 ppm) (Quark INFRA®, México). La pérdida de peso acumulada se evaluó con una balanza digital (OHAUS®, Estados Unidos); diariamente se registró el peso de los frutos para evaluar la pérdida de peso con la fórmula:

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final})}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

La firmeza de pulpa se midió con dos lecturas en la parte ecuatorial del fruto con un texturómetro (Chatillon®, Mod. MT150L, Estados Unidos) con puntal cónico de 6.5 mm de diámetro y 11 mm de longitud cada 6 d, y los datos se expresaron en Newton (N). El color de la epidermis del fruto se determinó con un espectrofotómetro de esfera SP64 (X-rite®, Estados Unidos); se registraron los valores de luminosidad (L*), cromaticidad (C*) y matiz (h) (Kasajima, 2019). Los sólidos solubles totales (SST) se determinaron con refractómetro digital (ATAGO-PAL 1, Japón, 0 % a 45 %); cada 6 d, los SST se determinaron a partir de una gota de jugo de la pulpa de cada fruto y los resultados se reportaron como °Bx (Maldonado-Astudillo et al., 2023). La acidez titulable (AT) se evaluó como lo indica la Association of Official Analytical Chemists (1984); los resultados se expresaron como porcentaje de ácido málico. Con los valores de SST y AT se determinó el índice de sabor al dividir SST entre AT (Maldonado-Astudillo et al., 2023).

El contenido de los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante se cuantificaron por los métodos de DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo), ABTS [Ácido 2,2'-azino-bis-(3-etiltiazolina-bencenosulfónico-6)] y FRAP (capacidad antioxidante de reducción férrica), además, se determinaron a partir de extractos acuosos como lo indican Suárez Vargas et al. (2017) y las reacciones colorimétricas mediante metodologías estándar (Benzie & Strain, 1996; Brand-William et al., 1995; Re et al., 1999)

y se realizaron lecturas con espectrofotómetro uv Vis (Genesys 10s, Thermo, Estados Unidos), cuantificando las moléculas o reacciones mediante curvas estándar y reportando en mg EAG (equivalentes de ácido gálico) 100g^{-1} de peso fresco (PF) o mg EAA (equivalentes de ácido ascórbico) 100g^{-1} de PF. Los flavonoides totales se cuantificaron con la metodología de Arvouet-Grand et al. (1994) y los resultados se expresaron como mg equivalentes de Quercetina (EQ) 100g^{-1} de PF.

Análisis de datos

Los resultados fueron analizados mediante ANOVA y, cuando se detectaron diferencias significativas, se realizó una comparación de medias por la prueba estadística de Tukey ($p \leq 0.05$). El poder de las muestras y repeticiones fueron validados de acuerdo con Ireland (2010), obteniendo entre 0.92 y 0.99 en todas las variables evaluadas. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SigmaPlot® V.15 (Systat Software Inc., Estados Unidos).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El máximo climaterio en los frutos testigo se detectó al octavo día (Figura 1 E) y las ciruelas mantuvieron su apariencia comercial por 10 d. Los frutos almacenados a $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ cq o sq mostraron su máximo de respiración a los 11 d y 12 d, respectivamente (Figuras 1A y 1C); en tanto que los frutos almacenados a $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ cq o sq mostraron el climaterio a los 13 d y 8 d (Figuras 1B y 1D). Los frutos almacenados a $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ cq o sq retrasaron su madurez comercial hasta 24 d, pero con algunos síntomas de daños por frío a partir de los 18 d, con mayor evidencia en los frutos sq (datos no mostrados), mientras que la madurez comercial de los frutos almacenados a $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ cq o sq ocurrió entre 18 d y 12 d, respectivamente (Figuras 1A-1D), sin presentar daños por frío. Estos resultados sugieren que la temperatura a $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la aplicación de quitosano a $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ retrasó la velocidad de respiración, comparado con los frutos testigo.

El almacenamiento de *Spondias purpurea* entre $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $9.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 8 d constituye las condiciones óptimas para incrementar su vida útil (Kohatsu et al., 2011; Martins et al., 2003). Aunque Duarte & Paull (2015) indican que se puede almacenar por 14 d a $12.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y después transferirlas a temperatura ambiente de

$30\text{-}32\text{ }^{\circ}\text{C}$ donde su vida poscosecha puede ser de hasta 4 d; almacenamiento debajo de $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ causa daños por frío. En la ciruela mexicana 'Costeña', el almacenamiento a $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ no ocasionó daños por frío, pero en los frutos almacenados a $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ se observaron algunos síntomas en sus epidermis; sin embargo, en la respiración no se distinguió algún efecto, ya que el daño por frío en ciruela mexicana se caracteriza por un incremento significativo de la respiración que acelera el metabolismo del fruto (García-González et al., 2016). Esto sugiere que la temperatura de almacenamiento ideal para cada variante de ciruela es diferente.

Una de las funciones vitales de las cubiertas comestibles es su capacidad de modular la velocidad de respiración (CO_2) en productos frescos, extendiendo su vida útil al retrasar los procesos de maduración (Janith et al., 2026). En los frutos almacenados a $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ de 'Costeña' fue evidente, ya que retrasó la máxima respiración hasta por 5 d (Figura 1D). Se ha reportado que, en plátano, la aplicación de películas comestibles de quitosano prolonga la aparición del climaterio, lo que sugiere una desaceleración del metabolismo natural del fruto (Anaya-Esparza et al., 2020).

La pérdida de peso en los frutos testigo fue mayor a 16 % después de 9 d de evaluación (Figura 1F). La pérdida de peso en poscosecha de las frutas se atribuye al decremento de agua y se asocia a una disminución de valor del producto cuando se vende por su peso (Salveit, 2016b). Maldonado-Astudillo et al. (2023) reportan que la variante 'Costeña' muestra una baja velocidad de pérdida de peso (9 %) durante su maduración a 25 ° después de 4 d en esta condición, comparada con tres variantes de ciruela mexicana de estación seca. Los frutos almacenados a $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $12\text{ }^{\circ}\text{C}$, cq o sq mostraron pérdida de peso entre 8 % y 11 % después de 19 d (Figura 1F). Los frutos cq mostraron significativamente menor pérdida que los frutos sq en las dos temperaturas evaluadas (Figura 1F). El almacenamiento a baja temperatura ayuda a disminuir la velocidad de respiración, transpiración y el crecimiento microbiano en frutas y hortalizas (Rajapakshe et al., 2026). Dai et al. (2025) indican que el quitosano puede formar una cubierta continua, densa, elástica y semi-permeable en la superficie de los frutos, y esta barrera limita la pérdida de agua dentro del fruto, además que ayuda a mantener el contenido de agua, lo cual es esencial para mantener el sabor fresco y color del fruto.

La producción máxima de etileno en los frutos testigo fue a los 8 d (Figura 2E). En los frutos almacenados a 7 °C cq o sq, el máximo climaterio se detectó a los 19 d y 18 d (Figuras 2A y 2C). Por otra parte, en los frutos almacenados a 12 °C cq o sq el máximo climaterio se observó entre el día 18 y 11 (Figura 2B y 2D). Los resultados sugieren que la temperatura de almacenamiento y aplicación de quitosano retrasaron el máximo climaterio, el cual se asocia a la maduración de los frutos, además que el almacenamiento a bajas temperaturas (7 °C y 12 °C) disminuyó la intensidad de producción de etileno (Figura 2A-2E). El almacenamiento a bajas temperaturas tiene el efecto de disminuir la sensibilidad y producción de etileno, principalmente reduciendo la expresión de genes de las enzimas ACC oxidasa y ACC sintasa, que son fundamentales en la síntesis de etileno (Botton et al., 2019; Karagiannis, 2024). Dai et al. (2025) indican que la aplicación de quitosano como cubierta en frutos afecta la actividad de enzimas clave en la síntesis de etileno o actúa como regulador de receptores de etileno, disminuyendo o debilitando su efecto estimulante en el fruto.

La firmeza inicial (18.7 N) en los frutos testigo disminuyó 45 % después de 4 d (10.2 N), ya en el 6 d se redujo hasta 52 % (9 N) y al final de las evaluaciones la pérdida de firmeza fue de 60 % (7.6 N) en el décimo día (Figura 2F). Maldonado-Astudillo et al. (2014) y Maldonado-Astudillo et al. (2023) reportan similares porcentajes de pérdida de peso en ciruelas de estación seca y húmeda.

Los frutos sq y cq a 12 °C mostraron una firmeza entre 16.3 N y 18.8 N al d 12; posteriormente, los frutos cq a 12 °C se mantuvieron en 13.2 N al d 18 (Figura 2F). Los frutos almacenados a 7 °C sq o cq al d 24 de evaluación mostraron valores entre 14.5 N y 14.7 N (Figura 2F). Los resultados anteriores sugieren que la temperatura de refrigeración de 7 °C ayudó a mantener la firmeza en los frutos independientemente de la aplicación de la cubierta de quitosano (Figura 2F). Durante la maduración de frutos, la producción y actividad de enzimas que degradan la pared celular se incrementan, lo que ocasiona el debilitamiento de la pared celular y, en consecuencia, el ablandamiento del fruto; las bajas temperaturas disminuyen la actividad de estas enzimas, manteniendo la firmeza e integridad del fruto (Dai et al., 2025; Gidado et al., 2025).

El color en frutos testigo cambió de verde-amarillo opaco con luminosidad media ($L^* = 47.6$, $C^* = 25.2$, $h = 71.0$) al inicio de las evaluaciones, a un rojo vívido de luminosidad baja ($L = 35.5$, $C^* = 40.5$, $h = 35.1$) después de 6 d; posteriormente, no se observaron cambios significativos en el color rojo ($h = 31.1-34.0$), pero los frutos fueron más opacos ($C^* = 30.8$) y menos luminosos ($L^* = 28.9$; Figura 3). Los frutos almacenados a 12 °C sq y cq alcanzaron el color rojo tendiente al púrpura vívido a los 12 d y 14 d, respectivamente (Figura 3C), la luminosidad y cromaticidad alcanzaron valores similares a los frutos referencia después de 11-15 d (Figura 3). Por otra parte, los frutos almacenados a 7 °C sq o cq desarrollaron un color tendiente al naranja vívido a los 24 d ($h = 50-60$), la luminosidad disminuyó ($L^* = 37.7$) y la cromaticidad alcanzó el máximo al día 23 ($C^* = 41.4$; Figura 3). Los resultados sugieren que la temperatura de 7 °C y el recubrimiento de quitosano retrasó la síntesis de los pigmentos que otorgan el color a frutos de ciruela mexicana 'Costeña'.

En ciruela mexicana, los pigmentos que otorgan el color del fruto son clorofilas, carotenoides y antocianinas (Ferrer et al., 2022). El cambio de color durante la maduración del fruto se puede atribuir a la degradación de clorofilas y síntesis de carotenoides y antocianinas. La refrigeración tiene como principal objetivo retrasar la velocidad de estos cambios al ralentizar las reacciones bioquímicas del metabolismo de los frutos (Watkins, 2017). En la ciruela mexicana 'Costeña', la aplicación de quitosano probablemente hizo sinergia con la refrigeración, además que favoreció una reducción de oxígeno en la superficie del fruto, lo que condujo a una inhibición de enzimas de la respiración y síntesis de etileno, ocasionando retrasos en el proceso de maduración, e incrementando la estabilidad de las paredes celulares que proveen protección a cloroplastos y clorofilas, como se ha reportado en papaya (Singh et al., 2024).

Los SST en los frutos testigo mostraron 9.1 °Bx en la cosecha y alcanzaron su máximo contenido a los 4 d (13.6 °Bx), manteniéndose entre 12.8-13.3 °Bx los días posteriores (Figura 4A). La refrigeración retrasó el aumento de SST en los frutos almacenados a 7 °C cq o sin sq, la máxima acumulación fue a los 24 d con 11.1-11.7 °Bx; mientras que en los frutos almacenados a 12 °C la máxima acumulación fue antes, a los 12 d en los frutos sq con 11.9 °Bx, y en los frutos cq el máximo se alcanzó a los 18 d con 12.8 °Bx (Figura 4A),

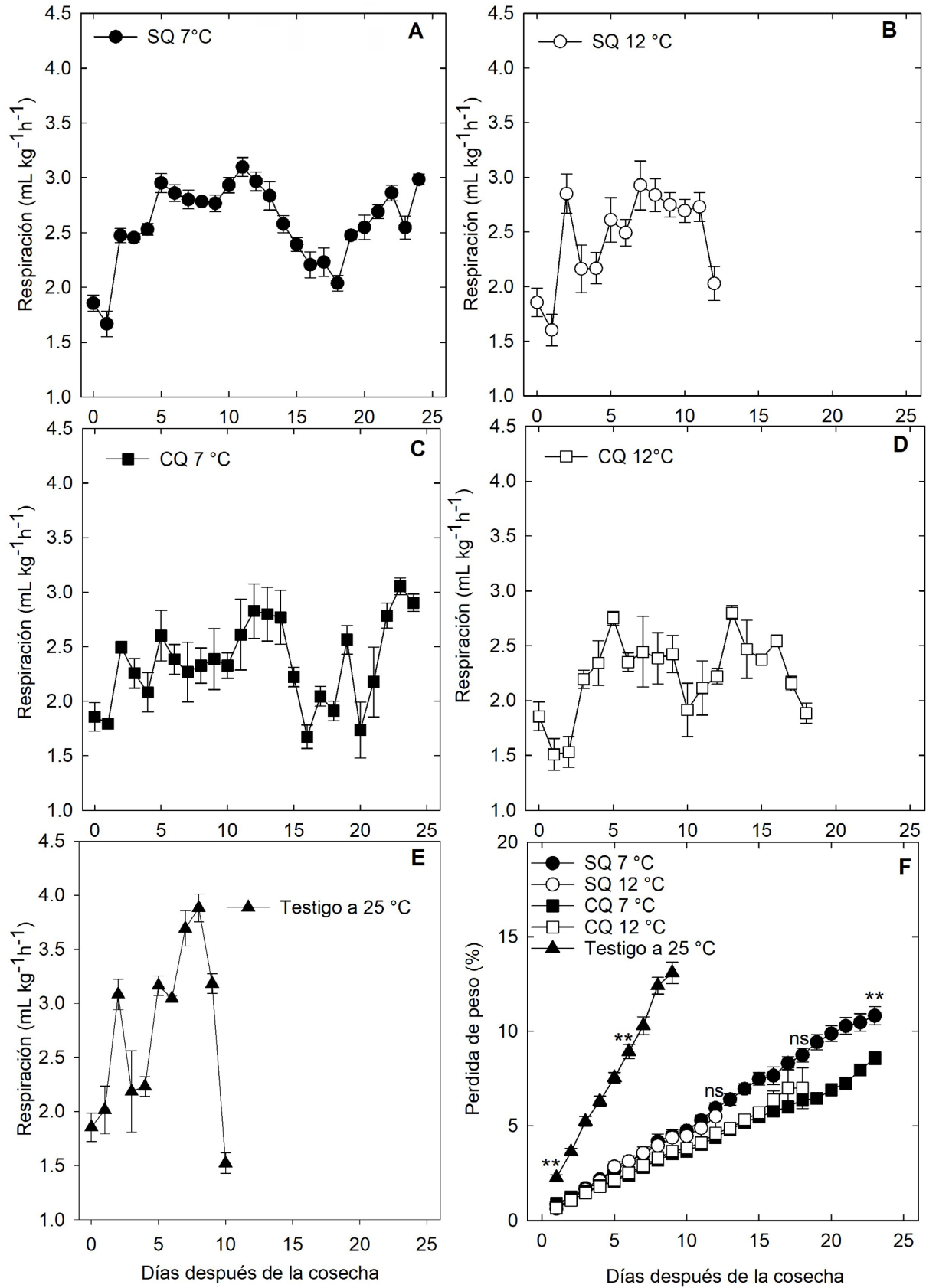


Figura 1. Velocidad de respiración (A, B, C, D, E) y pérdida de peso (F) en frutos de ciruela mexicana 'Costeña' con y sin recubrimiento de quitosano al 1 % (sq y cq), almacenados a 7°C y 12°C. Cada punto representa la media de ocho observaciones y su error estándar.

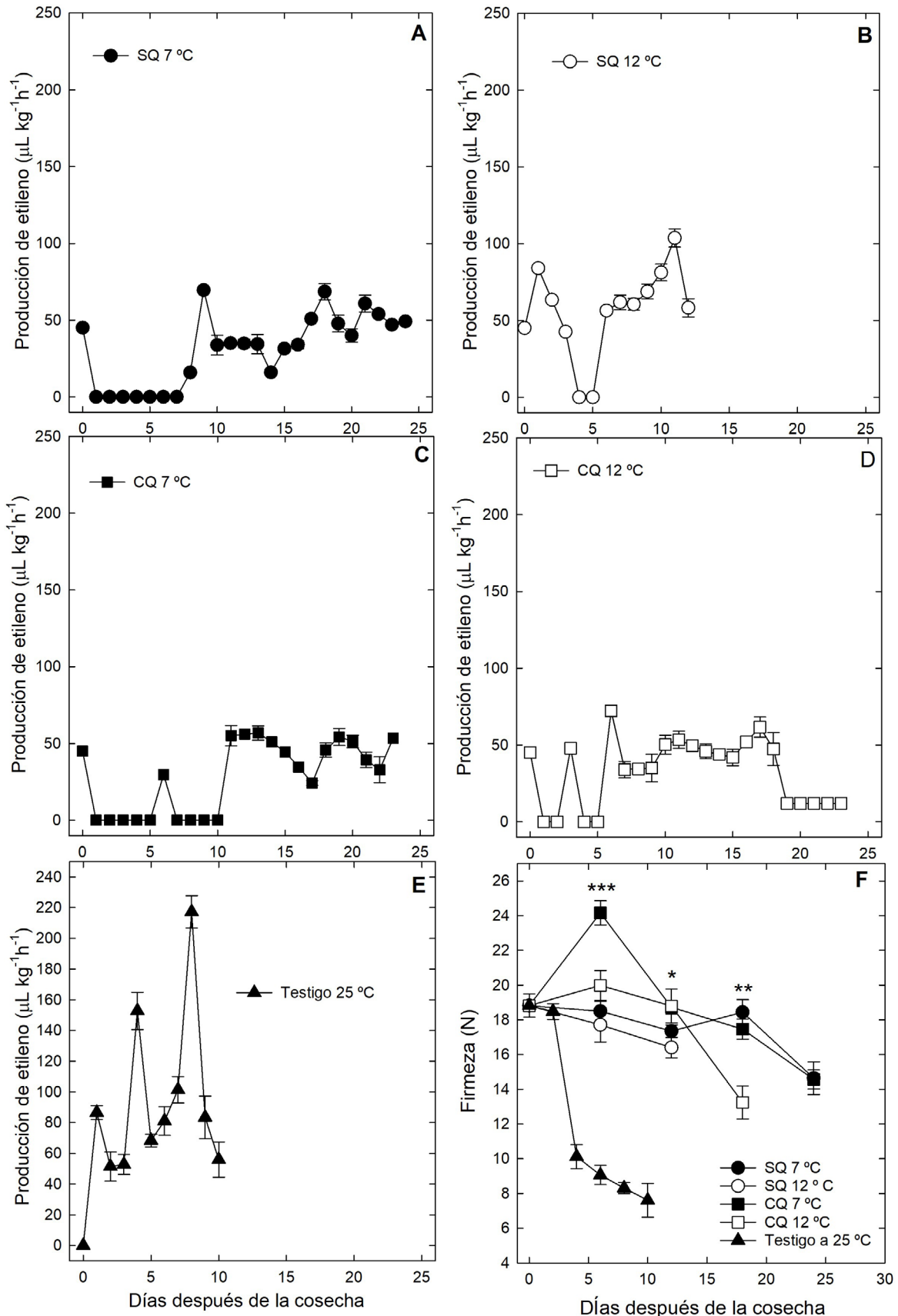


Figura 2. Producción de etileno (A, B, C D, E) y firmeza (F) en frutos de ciruela mexicana 'Costeña' con y sin recubrimiento de quitosano al 1% (sq y cq) almacenados a 7°C y 12°C. Cada punto representa la media de ocho observaciones y su error estándar.

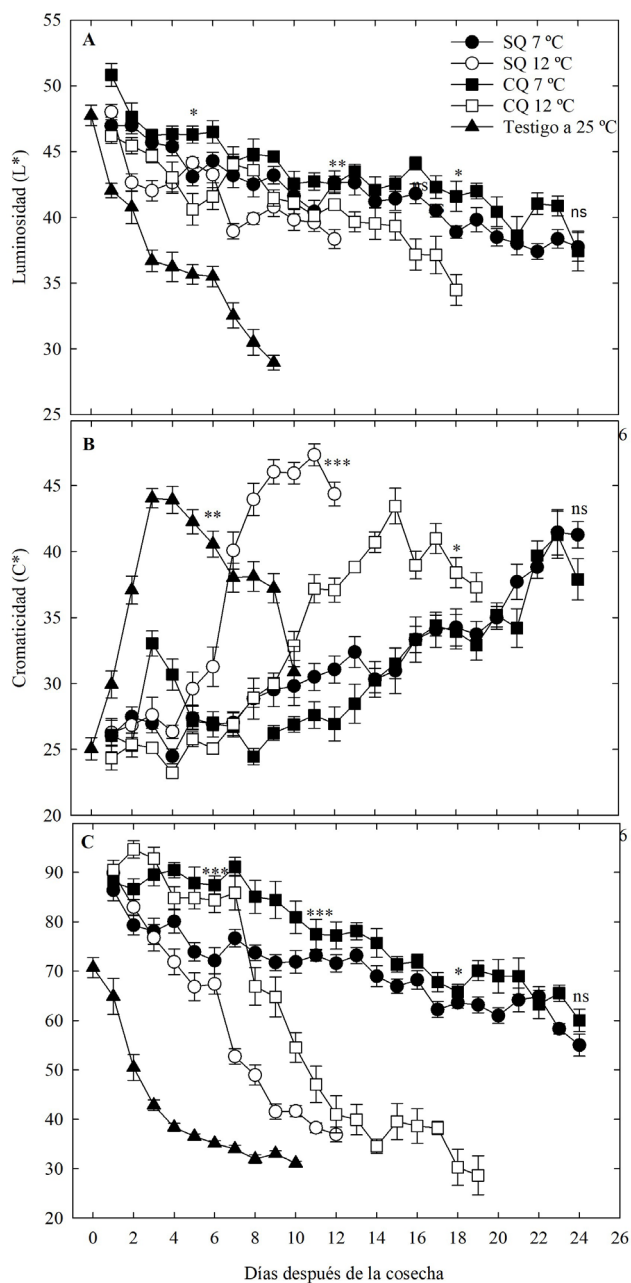


Figura 3. Luminosidad (A), cromaticidad (B) y matiz (C) de los frutos de ciruela mexicana 'Costeña' con y sin recubrimiento de quitosano al 1 % (sq y cq) almacenados a 7 °C y 12 °C. Cada punto representa la media de ocho observaciones y su error estándar. * $p \leq 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.0001$.

esto último sugiere que a 12 °C el quitosano retrasó la acumulación de SST. La refrigeración retrasa la síntesis de azúcares promovida por la hidrólisis del almidón en carbohidratos más simples, que es realizada por la acción de enzimas como amilasas (Morales-Chávez et al., 2023). Tokatli & Demirdöven (2020) indican que la aplicación de quitosano en frutos de cereza a baja temperatura retrasa la maduración y la acumulación de SST, aspecto que se observó con mayor evidencia en los frutos a 12 °C en ciruela mexicana.

La AT en los frutos testigo disminuyó durante la maduración de 1.1 % a 0.94 % en 6 d, y posteriormente alcanzó 0.86 % a los 10 d (Figura 4B); un comportamiento similar reportan Maldonado-Astudillo et al. (2023). En los frutos almacenados a 12 °C cq o sq, la AT disminuyó hasta 0.81-0.87 % al d 4 de evaluación; posteriormente, entre los 12 d y 18 d de almacenamiento la AT, se mantuvo entre 1.1 % y 1.2 % durante los 12 d y 18 d de evaluación (Figura 4B). En los frutos almacenados a 7 °C sq, la AT se mantuvo entre 0.8 % y 1.2 % entre los 6 d y 24 d de evaluación, mientras que en los frutos almacenados a 7 °C cq los valores estuvieron entre 0.6 % y 0.8 % en el mismo periodo. Esto sugiere que la baja temperatura y la aplicación de quitosano incrementó la AT (Figura 4B). La baja temperatura disminuye la respiración, ocasionando que los ácidos orgánicos se acumulen en mayor proporción y se obtenga una AT superior durante la refrigeración, además de que la cubierta de quitosano hace que exista una disminución de disponibilidad de oxígeno del fruto debido a la formación de una barrera semipermeable, favoreciendo la acumulación de ácidos orgánicos (Hesami et al., 2021).

El I_s se incrementó durante la maduración de los frutos testigo de 8.4 a 15.8 en 10 d (Figura 4C). Maldonado-Astudillo et al. (2023) reportan en ciruela 'Costeña' un I_s entre 21 y 40 en la madurez de consumo. Los frutos almacenados a 7 °C o 12 °C cq o sq mostraron valores de 12.2 y 13.5 de I_s a los 6 d de almacenamiento; posteriormente a los 12 d, el I_s disminuyó hasta 9.3 y 10.2 en todos los tratamientos a excepción de los frutos almacenados a 12 °C cq, donde el I_s se incrementó ligeramente a 13.9; en estos frutos, se mantuvieron con un I_s de entre 14.4 y 15.9 a los 18 d y 24 d de almacenamiento, mientras que el resto de los tratamientos se mantuvo entre 7.8 y 11.4 (Figura 4C). Los resultados sugieren que el I_s fue menor al disminuir la temperatura de almacenamiento y que el quitosano contribuyó a la disminución del I_s debido, como se dijo anteriormente, a una menor acumulación de los SST y mayor AT durante la refrigeración.

Los compuestos fenólicos (CF) disminuyeron durante la maduración de los frutos testigo, con valores iniciales 1,010 mg EAG 100g⁻¹ a 184 mg EAG 100g⁻¹ después de 8 d (Figura 5A). Los CF disminuyen durante el crecimiento y maduración de los frutos de ciruela mexicana de estación húmeda (Álvarez-Vargas et al.,

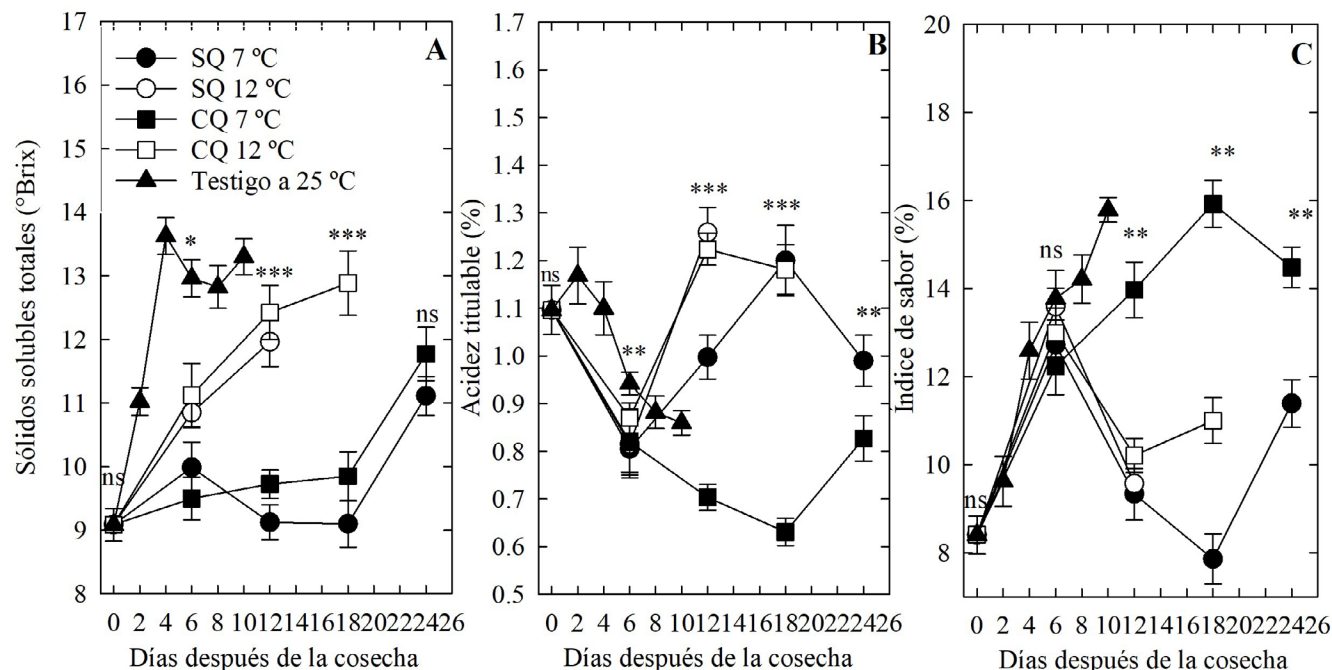


Figura 4. Sólidos solubles totales (ssT) (A) Acidez titulable (AT) (B) e índice de sabor (is) (C) de frutos de ciruela mexicana 'Costeña' con y sin recubrimiento de quitosano al 1 % (sq y cq) almacenados a 7 y 12 °C. Cada punto representa la media de ocho observaciones y su error estándar. * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$, *** $p \leq 0.0001$.

2019), mientras que en las ciruelas de estación seca ocurre un incremento en la primera fase de la maduración debido, probablemente, a la síntesis de pigmentos, y posteriormente disminuye (Cancino-Labra et al., 2024). En los frutos almacenados a 7 °C o 12 °C cq o sq los CF a los 6 d disminuyeron entre 254.4-549.0 mg EAG 100g⁻¹, para luego incrementarse en el día 12 hasta 825.6-843.6 mg EAG 100g⁻¹ y, finalmente entre los 18 d y 24 d, disminuyó a valores entre 203.1-221.0 mg EAG 100g⁻¹ (Figura 5A). No se detectaron diferencias significativas consistentes entre tratamientos; sin embargo, se observa un retraso del comportamiento de la síntesis y degradación de estas moléculas (Figura 5A). Que es resultado probable por efecto de la baja temperatura en la velocidad de las reacciones metabólicas del fruto y por la baja concentración de oxígeno ocasionada por la aplicación de quitosano, lo que equivale a la baja oxidación de los CF (Krishan et al., 2025).

Los flavonoides totales en los frutos testigo mostraron reducción de 67.5 mg EQ 100g⁻¹ inicialmente a 38.8 mg EQ 100g⁻¹ después de 6 d y después se incrementó a 59.2 mg EQ 100g⁻¹ a 12 d transcurridos (Figura 5B). Cancino-Labra et al. (2024) reportan similar comportamiento, y lo atribuyen a la síntesis de pigmentos durante la maduración. En los frutos almacenados a 12 °C sq o cq disminuyó el contenido de flavonoides hasta 48.8 mg EQ 100g⁻¹ y 55.2 mg EQ 100g⁻¹ después

de 12 d y 18 d, respectivamente en dichas condiciones (Figura 5B), en tanto que en los frutos almacenados a 7 °C cq o sq el contenido de flavonoides se mantuvo entre 56-65 mg EQ 100g⁻¹ durante todo el periodo de evaluación (Figura 5B). Lo anterior indica que la refrigeración a 7 °C retrasó la degradación de los flavonoides y el quitosano no mostró un efecto en esta variable (Figura 5C). Aunque una disminución, en estos compuestos, durante el desarrollo del fruto y en madurez fisiológica podría parecer al principio deseable, debido a una disminución concomitante de la astringencia (Fawole et al., 2013), muchos consumidores suelen estar más interesados en alimentos que contienen moléculas con efectos benéficos para la salud. La ciruela mexicana posee importantes cantidades de estas moléculas que pueden ser benéficas para la salud humana (Álvarez-Vargas et al., 2017). En mango, el almacenamiento a bajas temperaturas (13 °C) favorece una mayor expresión de genes de las enzimas relacionadas con la síntesis de flavonoides; a esto se atribuye la mayor acumulación de estas moléculas comparada con frutos almacenados a mayores temperaturas (30 °C) (Cong et al., 2025).

La actividad antioxidante evaluada por los métodos de DPPH, ABTS y FRAP en los frutos testigo mostraron un comportamiento transitorio, es decir, la actividad antioxidante se incrementó al máximo y

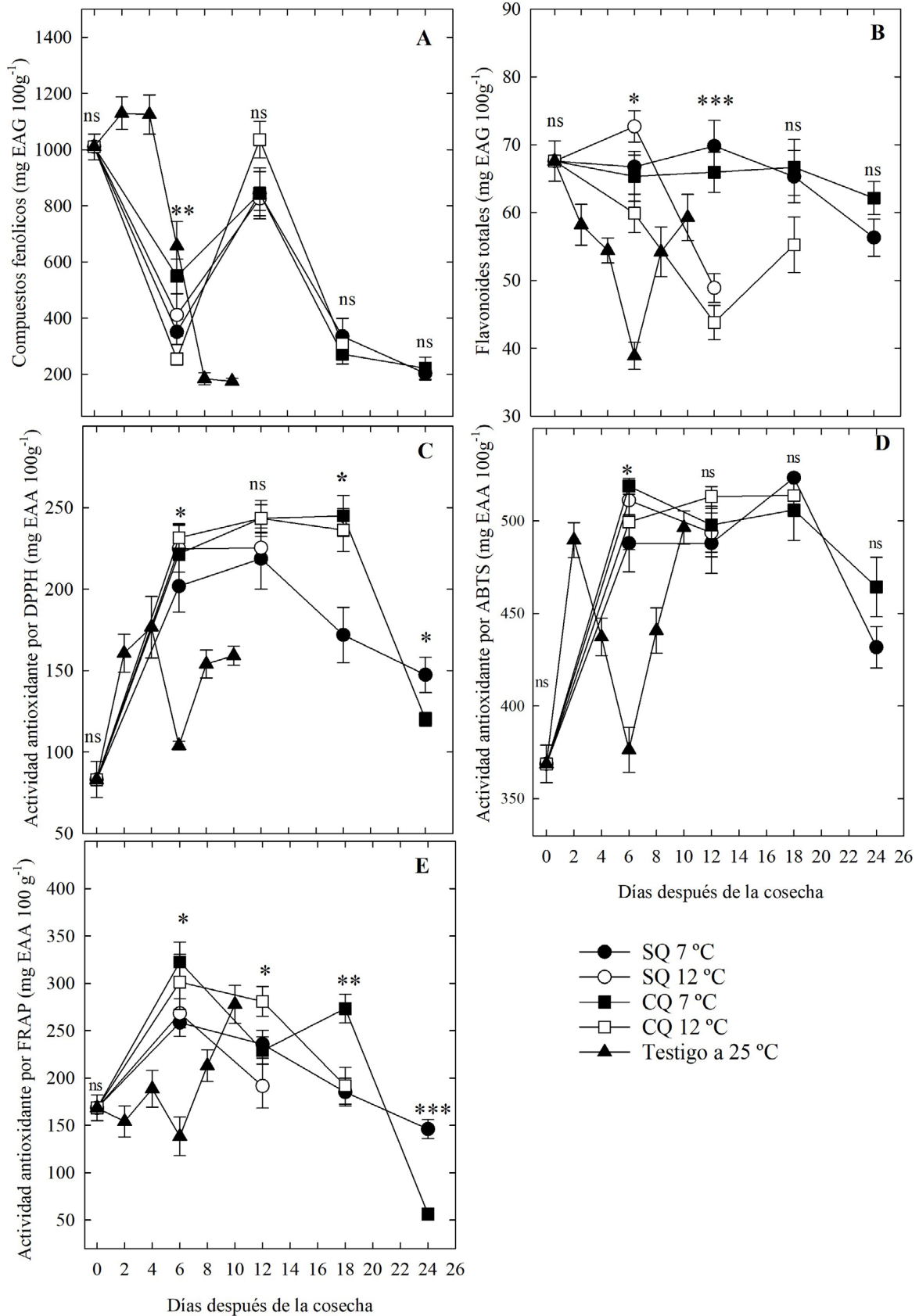


Figura 5. Compuestos fenólicos (A), flavonoides (B), actividad antioxidante por el método DPPH (C), ABTS (D) y FRAP (E) de frutos de ciruela mexicana 'Costeña' con y sin recubrimiento de quitosano al 1% (sq y cq) almacenados a 7 °C y 12 °C. Cada punto representa la media de ocho observaciones y su error estándar. * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$, *** $p \leq 0.0001$.

posteriormente disminuyó (Figura 5C-5E). Los frutos refrigerados a 7 °C o 12 °C CQ o SQ mostraron el comportamiento transitorio por un periodo más amplio, donde la máxima actividad antioxidante se cuantificó entre los 6 d y 18 d de evaluación, y posteriormente disminuyó al día 24; se detectaron diferencias significativas consistentes entre los frutos almacenados a las dos temperaturas bajas evaluadas, donde la aplicación de quitosano mostró significativamente mayor actividad antioxidante evaluada por DPPH y FRAP (Figura 5C-5E).

Cancino-Labra et al. (2024) indicaron que la actividad antioxidante evaluada por FRAP mostró una mayor asociación con los metabolitos secundarios (compuestos fenólicos, flavonoides). Sin embargo, en el presente trabajo se detectaron bajas correlaciones entre la actividad antioxidante y el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides (datos no mostrados), por lo que la mayor actividad antioxidante en frutos con cubierta de quitosano se atribuye a otras moléculas antioxidantes inherentes del fruto (carotenoides, vitamina C, entre otros) (Yadav et al., 2022). Krishan et al. (2025) indican que las películas comestibles como las que se componen de quitosano tienen un efecto protector, ya que actúan como barrera en el intercambio de CO₂ y O₂, disminuyen la oxidación y velocidad de respiración, ayudando a preservar las propiedades benéficas de los frutos.

CONCLUSIÓN

La refrigeración a 7 °C y 12 °C y la aplicación de quitosano en ciruela mexicana 'Costeña' retrasó el máximo climaterio, la pérdida de peso, firmeza, ácidos orgánicos, los cambios de color, la acumulación de sólidos solubles totales; la degradación de compuestos fenólicos y flavonoides se retrasó, pero la actividad antioxidante se incrementó significativamente por la adición de quitosano como película comestible. La refrigeración y adición de quitosano en ciruela mexicana incrementó su vida útil.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnologías e Innovación (núm. 756813) por la beca otorgada para realizar los estudios de posgrado.

LITERATURA CITADA

- Alia-Tejacal, I., Pelayo-Zaldívar, C., Álvarez-Vargas, J. E., Palacios-Sosa, A. M., & Pérez-Arias, G. A. (2022). Physiological characteristics and postharvest quality in two ecotypes of *Spondias purpurea* L. fruit. *Acta Horticulturae*, 1340, 87-92, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1340.13>
- Álvarez-Vargas, J. E., Alia-Tejacal, I., Chávez-Franco, S. H., Colinas-León, M. T., Nieto-Ángel, D., Rivera-Cabrera, F., & Aguilar-Pérez L. A. (2017). Ciruelas mexicanas (*Spondias purpurea* L.) de clima húmedo y seco: calidad, metabolitos funcionales y actividad antioxidante. *Interciencia*, 42(10), 653-660.
- Álvarez-Vargas, J. E., Alia-Tejacal, I., Chavez-Franco, S. H., Colinas-León, M. T., Rivera-Cabrera, F., Nieto-Angel, D., Cruz L., A., Aguilar Pérez, L. A., & Pelayo Z., C. (2019). Phenological stages and fruit development in the Mexican plum ecotype 'Cuernavaqueña' (*Spondias purpurea* L.). *Fruits*, 74(4), 194-200. <https://doi.org/10.17660/th2019/74.4.6>
- Anaya-Esparza, L. M., Pérez-Larios, A., Ruvalcaba-Gómez, J. M., Sánchez-Burgos, J. A., Romero-Toledo, R., & Montalvo-González, E. (2020). Funcionalización de los recubrimientos a base de quitosano para la conservación postcosecha de frutas y hortalizas. *TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23, 1-14. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.241>
- Association of Official Analytical Chemists. (1984). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. AOAC.
- Arvouet-Grand, A., Vennat, B., Pourrat, A., & Legret, P. (1994). Standardisation d'un extrait de propolis et identification des principaux constituants. *Journal de Pharmacie de Belgique*, 49(6), 462-468.
- Bautista Baños, S., Hernández López, M., Guillén Sánchez, D., & Alia Tejacal, I. (2006). Influencia del recubrimiento con quitosano y la temperatura de almacenamiento en la calidad postcosecha y niveles de infección en la ciruela mexicana. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 7(2), 114-121.
- Biradar, S. P., Metha, M. R., Mahajan, H. P. Bankhele, R. R., & Hivrale, A. U. (2022). Biological activities of chitosan-based nanomaterials. En S. Kumar & S. V. Madihally (Eds.), *Role of Chitosan and Chitosan-Based Nanomaterials in Plant Sciences* (pp. 119-142). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85391-0.00017-4>

- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant Power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Botton, A., Tonutti, P., & Ruperti, B. (2019). Biology and biochemistry of ethylene. En E. M. Yahia & A. Carrillo-López (Eds.), *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables* (pp. 93-112). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00005-1>
- Brand-William, W., Culivier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Cancino-Labra, S., Alia-Tejagal, I., López-Martínez, V., & Juárez-López, P. (2023). Fruit growth in three ecotypes of dry-season *Spondias purpurea* L. *Acta Universitaria*, (33), e3768. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3768>
- Cancino-Labra, S., Alia-Tejagal, I., Pérez-Arias, G. A., Terán-Erazo, B., & Pelayo-Zaldívar, C. (2024). Fruit quality and postharvest physiology in three variants of dry-season *Spondias purpurea* L. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 30(3), 3-19. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2023.07.006>
- Chizaryfard, A., & Karakaya, E. (2022). The value chain dilemma of navigating sustainability transitions: A case study of an upstream incumbent company. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 45, 114-131. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2022.10.002>
- Cong, H., Huo, T., Huang, X., Chen, Y., Bai, Y., Luo, H., Fu, X., Wang, R., Seleiman, M. F., Ahmad, T., Guan, P., Bashir, M., Asif, M., & Qiao, F. (2025). Transcriptome and metabolome analysis of low-temperature storage on fruit quality deterioration of mangoes. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 49(1), 141-152. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3254>
- Dai, L., Wang, X., Zhang, J., & Li, C. (2025). Application of chitosan and its derivatives in postharvest coating preservation of fruits. *Foods*, 14(8), 1318. <https://doi.org/10.3390/foods14081318>
- Duarte, O., & Paull, R. (2015). *Exotic Fruits and Nuts of the New World*. CABI.
- Fawole, O. A., & Opara, U. L. (2013). Changes in physical properties, chemical and elemental composition and antioxidant capacity of pomegranate (cv. Ruby) fruit at five maturity stages. *Scientia Horticulturae*, 150, 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.026>
- Ferrer, M. M., Ruenes-Morales, M. del R., Montañez-Escalante, P. I., & Estrada-Medina, H. (2022). Mexican Plum (*Spondias purpurea* L.). En D. Sivakumar, Y. Sultanbawa & M. Netzel (Eds.), *Handbook of Phytonutrients in Indigenous Fruits and Vegetables* (pp. 405-420) CABI International. <https://doi.org/10.1079/9781789248067.0028>
- Fortuny-Fernández, N. M., Ferrer, M. M., & Ruenes-Morales M. del R. (2017). Centros de origen, domesticación y diversidad genética de la ciruela mexicana, *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). *Acta Botánica Mexicana*, (121), 7-38. <https://doi.org/10.21829/abm121.2017.1289>
- García-González, M., Alia-Tejagal, I., Rivera-Cabrera, F., Díaz de León-Sánchez, F., López-Martínez, V., Pérez-Flores, L. J., & Pelayo-Zaldívar, C. (2016). Refrigeración de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) 'Cuernavaqueña'. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 2(2), 27-33.
- Gidado, M. J., Nagoor Gunny, A. A., Devi, M., Hussain, M., & Bibi, A. (2025). Trends and advances in quality management of horticultural produce by lighting strategies - A comprehensive review. *Food and Bioprocess Technology*, 18(10), 8184-8222. <https://doi.org/10.1007/s11947-025-03948-w>
- Hesami, A., Kavooosi, S., Khademi, R., & Sarikhani, S. (2021). Effect of chitosan coating and storage temperature on shelf-life and fruit quality of *Zizipus mauritania*. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 509-518. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1906825>
- Ireland, C. (2010). *Experimental Statistics for Agriculture and Horticulture*. CABI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2024). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos; Juan R. Escudero, Guerrero. Clave geoestadística 12039*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioidatos/default.aspx?ag=120390016>
- Janith, B. G. U., Athauda, A. R. S. A., Rusarani, T. M. R., Perera, M. D. A. M., Jayasekara, J. M. C. M., & Kumarihami, H. M. P. C. (2026). Properties of edible coatings and films. En N. Kumar, Pratibha, A. Upadhyay & A. T. Petroska (Eds.), *Trends in Edible Packaging: A Sustainable Approaches for Postharvest Management of Fruit and Vegetables* (pp. 145-196). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-032-13199-7_6
- Karagiannis, E. (2024). Postharvest physiology of climacteric and nonclimacteric fruits and vegetables. En V. Ziogas & F. J. Corpas (Eds.), *Oxygen, Nitrogen and Sulfur Species in Postharvest Physiology of Horticultural Crops. Plant Gasotransmitters and Molecules with Hormonal Activity*

- (pp. 1-21). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-91798-8.00003-5>
- Kasajima, I. (2019). Measuring plant colors. *Plant Biotechnology*, 36(2), 63-75. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.19.0322a>
- Kohatsu, D. S., Zucareli, V., Brambilla, W. P., Evangelista, R. M., Ono, E. O., & da Silva, T. R. B. (2011). Storage temperature and quality of red mombin fruits (*Spondias purpurea* L.) *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9(3-4), 20-22.
- Krishan, R., Misra, M., Subramanian, J., & Mohanty, A. (2025). Emerging trends and application of edible coating as a sustainable solution for postharvest management in stone fruits: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(3), e70179. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70179>
- Kumar, S., Mukherjee, A., & Dutta, J. (2020). Chitosan based nanocomposite films and coatings: Emerging antimicrobial food packaging alternatives. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 196-209. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.002>
- López-Corona, B. E., Mondaca-Fernández, I., Gortáres-Moroyoqui, P., Meza-Montenegro, M. M., Balderas-Cortés, J. de J., Ruiz-Alvarado, C., & Rueda-Puente, E. O. (2019). Enraizamiento de esquejes de *Salicornia bigelovii* (Torr.) por quitosano como un bioproducto de origen marino. *Terra Latinoamericana*, 37(4), 361-369. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.517>
- Madera-Santana J. T., De Dios-Aguilar, M. A., Colín-Chávez, C., Mariscal-Amaro, L. A., Núñez-Colín, C. A., Veloz-García, R., Guzmán-Maldonado, S. H., Peña-Caballero, V., Grijalva-Verdugo C. P., & Rodríguez-Núñez, J. R. (2019). Recubrimiento a base de quitosano y extracto acuoso de hoja de *Moringa oleifera* obtenido por UMAE y su efecto en las propiedades fisicoquímicas de fresa (*Fragaria x ananassa*). *Biocencia*, 21(2), 155-163. <https://doi.org/10.18633/biocencia.v21i2.941>
- Maldonado-Astudillo, Y. I., Alia-Tejagal, I., Núñez-Colín, C. A., Jiménez-Hernández, J. J., Pelayo-Zaldívar, C., López-Martínez, V., Andrade-Rodríguez, M., Bautista-Baños, S., & Valle-Guadarrama, S. (2014). Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* L. and *S. mombin* L. *Scientia Horticulturae*, 174, 193-206. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.016>
- Maldonado-Astudillo, Y. I., Alia-Tejagal, I., Jiménez-Hernández, J., & Núñez-Colín, C. A. (2023). Postharvest quality and physiological changes in five ecotypes of *Spondias purpurea* L. harvested at three distinct maturity stages. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 45, e-607. <https://doi.org/10.1590/0100-29452023607>
- Martins, L. P., Silva, S. de M., Alves, R. E., & Filgueiras, H. A. C. (2003). Fisiologia do dano pelo frio em ciriguela (*Spondias purpurea* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25(1), 23-26. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452003000100008>
- Monroy Martínez, R., García, F. A., Monroy, O. C., Colín, B. H., & Monroy-Ortiz, R. (2020). *Ciruela Spondias purpurea* L. en los Huertos Frutícolas Tradicionales de Morelos, México. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Nguyen, T. T., Tran, B.-T. P., Nguyen, D. V., Bach, L. G., & Thuc, C. N. H. (2024). Comparative performance of chitosan-based edible coatings functionalized with *Piper betle* L. and *Sonneratia ovata* Back. leaf extracts for postharvest banana (*Musa acuminata* L.) preservation. *Scientia Horticulturae*, 328, 112942. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.112942>
- Morales-Chávez, F., Núñez-Colín, C., Mariscal-Amaro, L., Morales-Vargas, A., Alia-Tejagal, I., Rodea-Montero, E. R., Grijalva-Verdugo, C., Veloz-García, R., & Rodríguez-Núñez, J. R. (2023). Chitosan coatings with essential oils against *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. and Sacc. in *Annona muricata* L. fruits. *Horticulturae*, 9(8), 908. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9080908>
- Rajapakshe, P., Rathnasinghe, N., Guruge, K., Nilmini, R., Jayasinghe, R., Karunaratne, V., Wijesena, R., & Priyadarshana, G. (2026). Strategies to minimize post-harvest waste of fruits and vegetables: current solutions and future perspectives. *Journal of Future Foods*, 6(3), 400-412. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2025.04.013>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 9(9-10), 1231-1337. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)
- Ruenes-Morales, M. del R., Montañez-Escalante, P. I., Monserrat Ferrer, M., Jiménez-Orsornio, J. J., Iturbe-Ruenes, E. G., & González Iturbe-Ahumada, J. A. (2022). *Spondias mombin* L., *Spondias purpurea* L., *Spondias radlkoferi* J.D. Smith. Anacardiaceae. En A. Casas & J. J. Blancas Vázquez (Eds.), *Ethnobotany of the Mountain Regions of Mexico*. *Ethnobotany of Mountain Regions* (pp. 1483-1499) Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99357-3_51

- Salveit, M. E. (2016a). Respiratory metabolism. En S. Pareek (Ed.), *Postharvest Ripening Physiology of Crops* (pp. 73-91). CRC Press.
- Salveit, M. E. (2016b). Water loss from harvested horticultural commodities. En S. Pareek (Ed.), *Postharvest Ripening Physiology of Crops* (pp. 217-235). CRC Press.
- Servicio de Información Agrícola y Pesquera (2024). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. SIAP. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/
- Singh, H., Kaur Bhasin, J., Kumar Dash, K., Shams, R., Mukarram shaikh, A., & Béla, K. (2024). Effect of chitosan based edible coating in management of post harvest losses in papaya: a comprehensive review. *Applied Food Research*, 4(2), 100546. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100456>
- Sotelo-Alcántara, G. A., Alia-Tejacal, I., Rodríguez-Núñez, J. R., Campos-Rojas, E., Juárez-López, P., & Pérez-Arias, G. A. (2022). Postharvest effects of a chitosan-cinnamon essential oil coating on soursop fruits (*Annona muricata* L.). *Acta Horticulturae*, 1340, 35-40. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1340.5>
- Suárez Vargas, A., Juárez-López, P., López-Martínez, V., Pérez Flores, L. J., Guillén Sánchez, D., & Alia-Tejacal, I. (2017). Antioxidant activity and physicochemical parameters in 'Cuernavaqueña' Mexican plum (*Spondias purpurea* L.) at different ripening stages. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 39(4), e787. <https://doi.org/10.1590/0100-29452017787>
- Tokatli, K., & Demirdöven, A. (2020). Effects of chitosan edible film coatings on the physiological and microbiological qualities of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Scientia Horticulturae*, 259, 108656. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108656>
- Watkins, C. B. (2017). Postharvest physiology of edible plant tissues. En S. Damodaran & K. L. Parkin (Eds.), *Fennema's Food Chemistry* (pp. 1017-1085). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315372914>
- Yadav, A., Kumar, N., Upadhyay, A., Sethi, S., & Singh, A. (2022). Edible coating as postharvest management strategy for shelf-life extension of fresh tomato (*Solanum lycopersicum* L.): An overview. *Journal of Food Science*, 87(6), 2256-2290. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16145>