



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**  
**CAMPUS V**

---

---



**Evaluación de la vida postcosecha de la ciruela mexicana  
(*Spondias purpurea* L.) ‘Cuernavaqueña’, previa aplicación del 1-  
metilciclopropeno (1-MCP) combinado con quitosano (Q).**

**TESIS**

Que para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL**

PRESENTA:

EDDY GINOT LEFRANC PS2517

Director de tesis

Dr. Juan Manuel Villarreal Fuentes

Co-directora de tesis

Dra. Gloria Alicia Pérez Arias

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; noviembre del 2024



Villaflores, Chiapas  
25 de noviembre de 2024  
Oficio N° FCACV/D/826/24

**ING. EDDY GINOT LEFRANC**  
MAESTRANTE EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL  
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS *CAMPUS V*  
P R E S E N T E.

En atención a que usted ha presentado los votos aprobatorios del Honorable Jurado designado para su evaluación de posgrado, de la tesis titulada: “**Evaluación de la vida postcosecha de la ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) ‘Cuernavaqueña’, previa aplicación del 1-metilciclopropeno (1-MCP) combinado con quitosano (Q)**”, por este medio comunico que se le autoriza la impresión del documento, de acuerdo a los lineamientos vigentes de la Universidad.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”

FACULTAD DE  
CIENCIAS AGRONÓMICAS  
**M.C. CARLOS ALBERTO VELÁZQUEZ SANABRIA**  
DIRECTOR



C.c.p. ARCHIVO

CAVS\*ymc



Villaflores, Chiapas  
19 de noviembre de 2023  
Oficio No. CIP/493/23

**DRA. GLORIA ALICIA PÉREZ ARIAS**  
DOCENTE INVESTIGADORA DE LA UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA DE MORELOS  
P R E S E N T E.

Atendiendo el interés del **C. Ing. Eddy Ginot Lefranc**, en relación a su oficio de fecha 13 de noviembre de 2024, dirigido al Comité de Asuntos Académicos (CAA), **se autoriza la modificación del título de tesis de grado**, titulado anteriormente: "Evaluación de la vida postcosecha de la ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) previa aplicación de 1-metilciclopropeno (1-MCP) combinado con quitosano refrigerado a 15° C", quedando con el título: "**Evaluación de la vida postcosecha de la ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) 'Cuernavaqueña', previa aplicación del 1-metilciclopropeno (1-MCP) combinado con quitosano (Q)**" dentro de las líneas de investigación que se desarrollan en nuestra universidad. la Coordinación de Investigación y Posgrado a mi cargo tienen a bien nombrarla **CO-DIRECTORA EXTERNA DE TESIS** en el mencionado trabajo.

Por ello, le exhorto a llevar con entusiasmo el seguimiento de dicho trabajo para su exitosa culminación.

ATENTAMENTE  
"POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR"

**DR. MANUEL ALEJANDRO LA O ARIAS**  
COORDINADOR



C.c.p. Tesista  
Archivo

MALA\*ymc



Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

## CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

La alumna (s) o él alumno (s) **Eddy Ginot Lefranc**, autora (s) o autor (es) de la tesis bajo el título de **Evaluación de la vida postcosecha de la ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) 'Cuernavaqueña', previa aplicación del 1-metilciclopropeno (1-MCP) combinado con quitosano (Q)** presentada y aprobada en el año 2025\_\_ como requisito para obtener el título o grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL \_\_, autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 14 días del mes de enero del año 2025 .



Nombre y firma de la alumna (s) o él alumno (s)

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, dedico este trabajo a mi mamá, Anocia Pierre, por su amor incondicional y los valores inculcados. Su apoyo incondicional y sus palabras de aliento fueron la fuerza que me impulsó a seguir adelante en los momentos más difíciles.

A mis hermanos, Jean Fredo Pierre, Ronel Lefranc, Fredelin Lefranc y Danice Lefranc por ser mi fuente inspiración, por su particular contribución y su confianza brindada. Su compañía y apoyo me dieron la energía necesaria para seguir adelante cada minuto de mi vida.

A mi director de tesis, Dr. Juan Manuel Villareal Fuentes, por su guía, paciencia y sabiduría. Sus enseñanzas y su ejemplo profesional fueron fundamentales para la culminación de este trabajo. Además, por la confianza brindada en su casa y con su familia, siempre me hacen sentir parte de su familia.

A mis asesores, específicamente a Dr. Irán Alia Tejacal, por su disposición para compartir ideas, conocimientos y comentarios constructivos que han sido cruciales para la consolidación de la investigación. Además, me ha brindado su amistad, confianza y por haberme facilitado el acceso a sus laboratorios en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Con profunda estima y reconocimiento, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnología (CONAHCYT) por el financiamiento económico otorgado para realizar y culminar dichos estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma de Chiapas por haberme aceptado dentro de su programa de Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical y sus profesores-investigadores por brindar sus conocimientos y contribuir a esa formación profesional de calidad.

A mis directores de tesis el Dr. Juan Manuel Villareal Fuentes y la Dra. Gloria Alicia Pérez, por su invaluable guía y constante apoyo. Sus consejos y conocimientos fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Expreso mi agradecimiento a los asesores, Dr. Irán Alía Tejacal, Dr. Francisco Marroquín Agreda y el Dr. Humberto Osorio Espinoza; su apoyo ha sido pilares fundamentales en la dirección y enriquecimiento de esta investigación.

Agradezco también a los integrantes de la coordinación de la MCPAT y a los mis profesores, particularmente el Dr. Francisco Guevara Hernández por sus aportes y colaboración a lo largo de este proceso.

Además, a mis compañeros de la maestría y amigos, Jude Kemson Georges, Alexis Eduardo Martínez R., Luis Soma y Lluvia Esmeralda, además, a los compañeros y amigos de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos específicamente a María Goretti, Lizette Suastegui, Gloria Arantxa y Rebeca Cadena Barajas. por sus aportes, colaboración y consejos.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS**

**AUTONOMA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA TROPICAL**

Esta tesis titulada EVALUACIÓN DE LA VIDA POSTCOSECHA DE LA CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.) “CUERNAVAQUEÑA”, PREVIA APLICACIÓN DEL 1-METILCICLOPROPENO (1-MCP) COMBINADO CON QUITOSANO (Q). fue financiada con recursos del CONHACYT a través de la beca nacional con numero CVU 1257946 del ING. EDDY GINOT LEFRANC, bajo la dirección del DR. JUAN MANUEL VILLARREAL FUENTES.

Se incluye en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: Conservación de Recursos Naturales del Cuerpo Académico **CONSOLIDADO DE AGRICULTURA TROPICAL ECOLÓGICA UNACH – 68**.

Se incluye en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento **LGAC-** Manejo Agroecológico de Cultivos. del programa de Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical Consolidado.

## Tabla de contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo general.....	4
1.2 Objetivos específicos .....	4
1.3 Hipótesis .....	5
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Origen y distribución .....	6
2.2 Fenología de la ciruela mexicana estación húmeda .....	6
2.3 Cambios físicos y químicos durante el crecimiento del fruto y desarrollo .....	6
2.4 Aumento de peso durante el desarrollo del fruto .....	7
2.5 Descripción de los parámetros de color durante el desarrollo del fruto .....	7
2.6 Abscisión de frutos.....	7
2.7 Maduración fisiológica de los frutos.....	8
2.8 El proceso de maduración, cambios bioquímicos y sensoriales .....	8
2.9 Bioquímica de la producción de etileno .....	9
2.10 Control químico de la respuesta al etileno .....	9
2.11 Bioquímica de la respiración .....	9
2.12 Factores que afectan la respiración .....	10
2.13 Aspectos generales de los recubrimientos comestibles .....	10
2.14 Quitosano como recubrimiento comestible.....	11
2.15 Atmósfera controlada .....	11
2.16 Refrigeración .....	12
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
3.1 Localización del sitio de estudio.....	13
3.2 Organización del experimento .....	13

3.4	Diseño Experimental y Descripción de unidades experimentales .....	14
3.5	Variables físicas .....	14
3.5.1	Color del fruto.....	14
3.5.2	Firmeza .....	15
3.6	Variables fisiológicas.....	15
3.6.1	Pérdida de peso .....	15
3.6.2	Velocidad de respiración y producción de etileno .....	15
3.7	Variables bioquímicas .....	15
3.7.1	Sólidos solubles totales .....	15
3.7.2	Acidez Titulable.....	15
3.7.3	Índice de sabor.....	16
3.7.4	Azúcares totales.....	16
3.7.5	Extracción y cuantificación de antocianinas.....	16
3.7.6	Compuestos fenólicos en pulpa y cáscara.....	17
3.7.7	Actividad antioxidante de potencial de reducción férrica (FRAP) .....	17
3.7.8	Actividad antioxidante por el método ABTS .....	17
3.7.9	Determinación de la capacidad antioxidante por el método actividad del radical 1,1 - difenil, 2-picrylhidrazyl (DPPH).....	17
3.8	Análisis de los datos.....	18
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>18</b>
4.1	Variables físicas .....	18
4.1.1	Parámetros de Color.....	18
4.1.2	Firmeza .....	25
4.2.	Variables fisiológicas .....	27
4.2.1	Pérdida de peso .....	27
4.4.2	Respiración.....	30

4.2.3 Producción de etileno .....	32
4.3 Variables bioquímicas .....	35
4.3.1 Sólidos Solubles Totales (SST).....	35
4.3.2 Acidez Titulable (AT) .....	36
4.3.3 Índice de sabor (IS) .....	38
4.3.4 Azúcares.....	39
4.3.5 Antocianinas .....	41
4.3.6 Compuestos fenólicos .....	42
4.3.7 Actividades Antioxidantes.....	44
4.4 Correlación de variables.....	48
<b>5. CONCLUSIÓN .....</b>	<b>50</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>51</b>

### Índice de Tablas

Tabla 1 Descripción de las variables analizadas .....	14
Tabla 2. Correlación de variables .....	49

### Índice de Figuras

Figura 1 Luminosidad de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Quitosano y almacenados por 0 (A) a 25±1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18 °C.....	20
Figura 2 Cromaticidad de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Quitosano y almacenados por 0 (A) a 25±1 °c y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C.....	22
Figura 3 Matiz de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Quitosano y almacenados por 0 (A) a 25±1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C.....	24

Figura 4 Firmeza de la ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Quitosano y almacenados por 0 (A) a 25±1 °c y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18 °C .....	27
Figura 5 Pérdida de peso de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Quitosano y almacenados por 0 (A) a 25±1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18 °C .....	30
Figura 6 Respiración de la ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Quitosano y almacenados a temp. amb. de 25±1 °C y 1 <sup>er</sup> p ref., 2 <sup>do</sup> p ref. y 3 <sup>er</sup> p ref. a 18°C.....	32
Figura 7 Producción de etileno de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP + Quitosano y a temp. amb. de 25±1 °C y 1 <sup>er</sup> p ref., 2 <sup>do</sup> p ref. y 3 <sup>er</sup> p ref. almacenados por a 18°C. ....	<b>34</b>
Figura 8 Contenido de sólidos solubles totales de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Quitosano y almacenados por 0 (A) a 25±1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C ....	36
Figura 9 Porcentaje de acidez titulable de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Quitosano y almacenados por 0 (A) a 25±1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C .....	38
Figura 10 Índice de sabor de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± quitosano y almacenados por 0 (A) a 25±1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C.....	39
Figura 11 Contenido de azúcares totales de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Quitosano y almacenados por 0 (A) a 25 ± 1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C .....	41
Figura 12 Contenido de antocianinas de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Quitosano y almacenados por 0 (A) a 25±1 °c y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C .....	42
Figura 13 Contenido de compuestos fenólicos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Quitosano y almacenados por 0 (A) a 25±1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C.....	44
Figura 14 Actividad antioxidante evaluada por el método de radical frap de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Quitosano y almacenados por 0 (A) a 25±1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C .....	45
Figura 15 Actividad antioxidante evaluada por método del radical ABTS de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Quitosano y almacenados por 0 (A) a 25±1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C.....	46
Figura 16 Actividad antioxidante evaluada por método del radical DPPH de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Quitosano y almacenados por 0 (A) a 25±1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C .....	47

## RESUMEN

La ciruela mexicana (*Spondias purpurea L.*) es un frutal nativo de México adaptado a suelos pobres y delgados, con alto potencial comercial y de bajo costo de producción, sin embargo, su fruto es altamente perecedero y su vida postcosecha es relativamente reducida (4d). Se estableció determinar comportamiento durante la postcosecha del fruto 'estación húmeda', con la previa aplicación del metilciclopropeno (1-MCP) (0, 500 y 1000 nL L<sup>-1</sup>) combinado con quitosano (Q) al 1 % durante su almacenamiento a 18°C entre 0, 7, 14 y 21 d. El Diseño experimental fue Completamente al Azar (DCA) y la unidad experimental fue un fruto, con 6 repeticiones en variables destructivas y 5 en las no destructivas. Se aplicó análisis de varianza, comparaciones de medios HSD de Tukey, mediante estadístico SigmaPlot V. 14. y SAS. la aplicación del 1-metilciclopropeno combinado con quitosano inhibieron y retrasaron la respiración y producción del etileno. El testigo tuvo su pico climatérico a los 4d de 2.8 mL kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> y el etileno a los 9 d de 0.15 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> mientras que los demás tratamientos no mostraron dicha tendencia. Igualmente, en tiempo refrigerado (7,14 y 21 d) el testigo tuvo valores superiores. No hubo diferencias significativas en la pérdida diaria de peso con una pérdida promedio de 1.85 y 2.01

% d<sup>-1</sup> a temperatura ambiente y refrigerado respectivamente. En la luminosidad y cromaticidad el testigo mantuvo valores superiores tanto a temperatura ambiente como refrigerado. En el ángulo de matiz a partir los 3 hasta 12 d se registraron valores que van de 98.1 a 67.1 pasando del color ligeramente amarillo claro a naranja y los demás tratamientos (500 y 1000 nL L<sup>-1</sup>) mantuvieron valores de 105.2 a 97.1 que predomina el color verde a amarillo claro. Los sólidos solubles totales tuvieron su valor máximo a los 12 d de 25.71 °Brix del testigo a temperatura ambiente. La acidez tuvo un comportamiento variable siendo el tratamiento de 1000 nLL<sup>-1</sup> tuvo mayores valores. De igual manera, el índice de sabor tuvo una tendencia igual que los sólidos solubles totales. Los compuestos fenólicos y la cuantificación de antocianinas tuvieron un comportamiento variable, con sus respectivos valores superiores de 196.24 mg EAG 100 g<sup>-1</sup> y 0.665 mg EC3GL L<sup>-1</sup>. Hubo diferencias significativas en la firmeza en todos los casos siendo el testigo con valores inferiores. En las actividades antioxidantes determinadas por métodos de FRAP, ABTS y DDPH, este último tuvo el valor superior de 874.63 mg EAA g<sup>-1</sup>. Los valores encontrados de respiración y color sugieren que el tratamiento aplicado al fruto da mayor vida de anaquel y mejoran su apariencia física que atraen al consumidor. Además, la aplicación de los tratamientos mantuvo algunas propiedades nutraceuticas de los frutos tanto a temperatura ambiente como refrigerado a 18°C y de 80% HR.

**Palabras claves:** Maduración, nutraceutico, pigmentación, refrigeración

## ABSTRACTS

Mexican plum (*Spondias purpurea* L) is a native fruit from Mexico adapted to poor and thin soils, with high commercial potential and low production cost, however, its fruit is highly perishable and postharvest life is relatively short (4d). It was established to determine the behavior during the postharvest of the fruit 'wet season', with the previous application of methylcyclopropene (1-MCP) (0, 500 and 1000 nL L<sup>-1</sup>) combined with chitosan (Q) at 1% during storage at 18°C between 0, 7, 14 and 21 d. The experimental design was Completely Randomized (DCA) and the experimental unit was a fruit, with 6 repetitions in destructive variables and 5 in non-destructive ones. Analysis of variance, comparisons of Tukey's HSD means, using SigmaPlot V. 14 statistics and SAS were applied. The results indicated that the application of 1-MCP ± Q inhibited and delayed respiration and ethylene production. The control had its climacteric peak at 4 d of 2.8 mL kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> and ethylene at 9 d of 0.15 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> while the other treatments did not show this tendency. Likewise, in refrigerated time (7, 14 and 21 d) the control had higher values. There were no significant differences in daily weight loss with an average loss of 1.85 and 2.01 % d<sup>-1</sup> at room temperature and refrigerated respectively. In luminosity and chromaticity the control maintained higher values both at room temperature and refrigerated. In the hue angle from 3 to 12 d, values were recorded ranging from 98.1 to 67.1, going from a slightly light yellow to orange color, and the other treatments (500 and 1000 nLL<sup>-1</sup>) maintained values from 105.2 to 97.1, with a predominance of green to light yellow. The total soluble solids had their maximum value at 12 d of 25.71 °Brix of the control at room temperature. The acidity had a variable behavior, with the 1000 nLL<sup>-1</sup> treatment having higher values. Likewise, the flavor index had a tendency equal to the total soluble solids. The phenolic compounds and the quantification of anthocyanins had a variable behavior, with their respective higher values of 196.24 mg EAG 100 g<sup>-1</sup> and 0.665 mg EC3GL L<sup>-1</sup>. There were significant differences in firmness in all cases, with the control having lower values. In the antioxidant activities determined by FRAP ABTS and DDPH methods, the latter had the highest value of 874.63 mg EAA g<sup>-1</sup>. The values found for respiration and color suggest that the treatment applied to the fruit gives a longer shelf life and improves its physical appearance, which attracts the consumer. In addition, the application of the treatments maintained some nutraceutical properties of the fruits both at room temperature and refrigerated at 18°C and 80% RH.

**Keywords:** Ripening, nutraceutical, pigmentation, refrigeration

## 1. INTRODUCCIÓN

La ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) proviene de Mesoamérica, lugar donde también se le denomina jocote (del xócotl o fruto ácido) (Duarte & Paull, 2015). Específicamente, se considera que la región occidental de México (Jalisco, Nayarit y Michoacán) es el núcleo de origen, mientras que la Depresión del Balsas y la península de Yucatán representan los centros de diversidad genética. (Fortuny-Fernández *et al.*, 2017).

El fruto presenta una morfología oblonga, redonda u ovoide, con una longitud que varía entre 15 y 50 mm, una masa que oscila entre 4 y 43 g y una diversidad de colores (amarillo, rojo, anaranjado, morado). El endocarpio es grueso y fibroso, seguido por un mesocarpio gustoso de aroma agradable y finalmente un epicarpio liso a semi liso, delgado y de tonalidades rojas, amarillas, café rojizo, anaranjadas o moradas al madurar (Morton 1987; Álvarez-Vargas & Alia-Tejacal, 2020). Los frutos son ricos en minerales (p. ej. fósforo, hierro), azúcares y compuestos antioxidantes (p. ej. fenoles, carotenoides, flavonoides) (Solorzano-Morán *et al.*, 2015; Suárez-Vargas *et al.*, 2017), se percibe como una gran oportunidad económica, puede ser un gran recurso de insumo para la industria de las bebidas refrescantes, confituras y frutos deshidratados. (Koziol & Macia 1998; Alia Tejacal *et al.*, 2012).

De acuerdo con el periodo de fructificación, la ciruela mexicana se divide en tres categorías:

1) húmeda (septiembre a diciembre); 2) seca (febrero a mayo); y 3) intermedia (junio a julio) (Avitia *et al.* 2003; Álvarez-Vargas *et al.* 2017). En Veracruz, se han registrado aproximadamente 100 recolección de material vegetal. (Cruz & Gutiérrez, 2012), Tabasco (Vargas-Simón *et al.* 2011), Yucatán (Ruenes-Morales *et al.* 2010), Jalisco (Ramírez *et al.* 2008), Morelos y Guerrero (Alia-Tejacal *et al.* 2012; Cruz & Gutiérrez, 2012). Dentro de la gran diversidad de genotipos de ciruela existentes en México, los cosechados en septiembre-diciembre son los más consumidos (Álvarez *et al.*, 2017). En el año 2022, se produjeron 52,261.42 toneladas de ciruela mexicana con un rendimiento de 6.29 ton ha<sup>-1</sup>. Los principales estados productores fueron Chiapas, Jalisco, Puebla y Veracruz, con 2, 367.2; 1, 168.5; 1, 080.8 y 693.8 ha, respectivamente (SIAP, 2022).

La ciruela mexicana posee un enorme potencial de mercado debido a sus características organolépticas y su bajo costo de producción. Crece naturalmente y se adapta a suelos pobres y delgados donde no se establecen otros cultivos; además, posee resistencia a la sequía gracias a su proceso de defoliación. En algunas regiones del país, resulta esencial

para la agricultura, ya que durante el periodo seco del año (primavera) no se generan otros frutos, lo que facilita mantener precios relativamente altos (Ramírez et al. 2008).

Generalmente, los frutos se cosechan en estado de madurez verde (superficie del fruto 100 % verde) y se colocan en recipientes de madera, se envuelven en papel y se almacenan a temperatura ambiente originando una maduración irregular (Díaz-Pérez *et al.*, 1999). El fruto de ciruela es climatérico, altamente perecedero y sensible al daño por frío, principalmente su venta se realiza en fresco en mercados próximos a su región de producción.

En la región de Cuernavaca, Morelos, se utiliza el color del epicarpio como indicador de cosecha, es decir, los frutos cambian de color de verde a amarillo, o amarillo, parcialmente naranja, completamente naranja o rojo. En estado de madurez completa, la vida postcosecha de la ciruela mexicana es relativamente corta, de 1 a 4 d a 20 °C y está vinculada a una rápida disminución de firmeza y masa (Bautista-Baños et al., 2003).

A lo largo del proceso de maduración, se producen ciertas alteraciones fisiológicas vinculadas a la senescencia que conducen al deterioro de la membrana y a la muerte celular. En los frutos climatéricos, como la ciruela de México, la respiración se encuentra acompañada de un incremento igual en los niveles de etileno, que organiza y sincroniza el proceso de maduración, incluyendo la disminución de firmeza, la síntesis de pigmentos y la reducción de peso (Omboki *et al.*, 2015).

La implementación de tecnologías adecuadas para preservar la calidad de los frutos en la postcosecha se fundamenta en el conocimiento de la estructura del fruto, su fisiología y los procesos metabólicos (Pech & Latché 2013), así como la función de las hormonas y los genes vinculados con el desarrollo y la maduración (Kumar *et al.*, 2014), además de los trastornos fisiológicos y los cambios epigenéticos vinculados a la maduración (Dos Santos *et al.*, 2015).

Según Albuquerque et al. (2010), se pueden alargar la vida útil de los frutos tropicales al reducir las tasas de respiración y la producción de etileno, aunque las técnicas de almacenamiento serían cruciales para este proceso. Uno de los factores primordial para para lograr una mayor eficiencia de la vida postcosecha de los frutos perecederos y disminuir las pérdidas postcosecha es el manejo adecuado de la temperatura. Usualmente, una reducción en la cantidad de la temperatura del fruto disminuye su metabolismo y crecimiento. La temperatura ideal de almacenamiento que potencialmente prolonga la

postcosecha sin causar daños fisiológicos en las frutas es bastante variable, particularmente en las frutas tropicales. Montero-Calderón & Cerdas-Araya (2012) indican que, en frutos tropicales y subtropicales, generalmente la temperatura es inferior a 15 °C, lo que comprende la refrigeración, la utilización de atmósferas modificadas y reguladas, la aplicación de calcio, entre otros aspectos.

La comprensión del mecanismo de acción del etileno ha originado varias tecnologías que facilitan la disminución de sus efectos adversos. Las características de la postcosecha y la utilización de películas comestibles (Bautista et al. 2006; Maldonado et al. 2014), el efecto de la refrigeración en la postcosecha (García et al. 2016), la reacción a la aplicación de retardadores de maduración (Osuna et al., 2011) y la liofilización de fruto fresco (Muñoz et al. 2018) son algunos de los elementos analizados en la ciruela de estación húmeda.

Los retardantes químicos de la madurez han demostrado ser efectivos para controlar la madurez y promover la senescencia de flores, hortalizas y frutos (Arora, 2008). En esta perspectiva, el 1-metilciclopropeno (1-MCP) es una cicloolefina sintética, inhibidor del etileno al atacar de manera competitiva en el sitio del receptor al mantener la firmeza y retardar reacción de las enzimas participada en la degradación la pared celular (Watkins, 2006) y minimiza la acumulación de lignina y celulosa y retardar la senescencia en frutas y verduras durante el almacenamiento retrasando así su senescencia y la prolongación de sus periodos de almacenamiento y conservación (Xie *et al.*, 2022). El 1-MCP es efectivo a muy bajas concentraciones por ende el papel del 1-MCP en las propiedades de calidad de la fruta depende del cultivo, la madurez de la fruta y el ambiente de almacenamiento (Hu *et al.*, 2017). Según Osuna *et al.* (2011), el 1-MCP alarga la vida de anaquel de los frutos de la ciruela mexicana hasta por tres d en comparación con el testigo, disminuye los síntomas respiratorios y reduce la pérdida de peso. El 1-MCP evita que se desarrolle el color externo y mantiene la firmeza del fruto sin afectar la cantidad total de sólidos solubles.

Por otra parte, se ha demostrado que la aplicación de recubrimientos comestibles de quitosano de naturaleza policatiónica, mejora la capacidad de almacenamiento de diversos productos perecederos y además posee alta actividad antimicrobiana que minimiza la incidencia de enfermedades. Debido a sus características antimicrobianas y capacidad para inducir mecanismos de defensa en frutos, además de sus beneficios tecnológicas (solubilidad, compatibilidad con equipos tanto orgánicos como inorgánicos y capacidad para formación de recubrimientos), el quitosano representa una alternativa factible en la

implementación de recubrimientos comestibles. (Berumen-Varela *et al.*, 2015; Bautista- Baños *et al.*, 2017).

En frutos como mango con concentraciones de 1.0 y 1.5 % contra la antracnosis mostraron un nivel de control 100 % Berúmen-Varela *et al.* (2015); igualmente, Ali *et al.*, (2013) con un nivel de control fue de 80% en frutos de pitaya con una concentración de 2 %. Bautista *et al.* (2006) mencionaron que la aplicación de quitosano (2 y 2.5%) como película comestible parecía ser efectiva para evitar una pérdida excesiva de masa y niveles de enfermedad en el fruto de ciruela mexicana de la estación húmeda.

Considerando lo anterior y debido a que la ciruela mexicana de estación húmeda el cual es uno de los genotipos más apreciados para consumo en fresco principalmente por sus características de calidad, aporte nutricional y nutraceutico; además puede ser una fruta con potencial para su comercialización. La corta vida postcosecha asociada a sus características de fruto climatérico: producción de etileno, alta pérdida de agua , sus potencial de utilización y la baja información para su comercialización definió los objetivos de esta investigación que fueron determinar el efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) combinado con una película comestible de quitosano (1%) a baja temperatura y temperatura ambiente en algunos parámetros físicos, químicos, fisiológicos y nutraceuticas en la ciruela mexicana de estación húmeda.

### **1.1 Objetivo general**

Evaluar la vida postcosecha de la ciruela mexicana (*Spondias purpurea L.*) ‘estación húmeda’, previa aplicación del metilciclopropeno (1-MCP) combinado con quitosano (Q) en condiciones de baja temperatura y ambiente, para proponer una opción de incremento en su vida postcosecha.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- a) Determinar los cambios físicos y fisiológicos de la ciruela mexicana estación húmeda previa aplicación del 1-MCP  $\pm$  quitosano en condiciones de refrigeración y temperatura ambiente.
- b) Cuantificar los cambios en moléculas nutraceuticas y actividad antioxidante en ciruela mexicana previa aplicación del 1-MCP  $\pm$  quitosano en condición de refrigeración y temperatura ambiente.

### **1.3 Hipótesis**

- a) La aplicación del 1-MCP y  $\pm$  quitosano retrasa significativamente los cambios físicos y fisiológicos propios de la maduración y ayuda mantener la calidad de la ciruela mexicana de estación húmeda en 40 %.
  
- b) La aplicación del 1-MCP y  $\pm$  quitosano mantienen los contenidos de fenoles y las propiedades nutraceuticas de la ciruela mexicana de estación húmeda en 40 %.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Origen y Distribución**

La ciruela proviene de los bosques bajas caducifolias de Mesoamérica, durante la época de sequía los árboles pierden sus hojas y vuelven a brotar durante los meses de precipitaciones. Las poblaciones no domesticadas están presentes en México y América Central bajo los 1300 metros de altitud, mientras que los árboles en proceso de domesticación han sido cultivados desde México hasta el norte de Sudamérica en Perú y Brasil (Miller. & Schaal, 2005). De acuerdo con Fortuny-Fernández y colaboradores, (2017), las regiones en que inicialmente la ciruela fue domesticada se encuentran en la región occidental del país (Nayarit, Michoacán y Jalisco), mientras que los núcleos de diversificación genética se encuentran en la región de origen, la Cuenca del Balsas, la península de Yucatán y Centroamérica.

Desde el litoral de Sonora hasta Chiapas y la Cuenca del Balsas en la región pacífica, *Spondias purpurea* L. es la especie dominante de los caducifolios tropicales de tierras bajas o selváticas. Además, está presente en la Depresión Central de Chiapas en el norte de Yucatán y Quintana Roo, así como en Veracruz en el Caribe y el Golfo de México. De acuerdo con la clasificación de García (1988), los climas en estas áreas son cálidos y húmedos, con lluvias en verano.

### **2.2 Fenología de la Ciruela Mexicana Estación Húmeda**

Se pueden distinguir fácilmente seis estados fenológicos en la ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’. Estos se determinaron en el transcurso de un ciclo de un año de fruta.:

1) floración (febrero a marzo); 2) cuajado de frutos (marzo); 3) desarrollo del fruto (abril a octubre); 4) hoja emergencia (abril a mayo); 5) maduración o consumo del fruto vencimiento (septiembre a noviembre); y 6) abscisión de hojas o defoliación (diciembre a marzo) (Álvarez *et al.*, 2019).

### **2.3 Cambios físicos y químicos durante su crecimiento y desarrollo**

El crecimiento del fruto de la ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tardó en promedio 240 d. Este último incluyó tanto el cuajado de frutos en marzo como el momento de la cosecha en octubre. Investigadores como Dantas *et al.* (2017) y Pereira *et al.* (2003) informan algo comparable, períodos de crecimiento (124–182 días en total) desde el momento de la antesis hasta la madurez de la cosecha.

Los frutos de la ‘Cuernavaqueña’ exhiben un doble sigmoidal, primero un evidente crecimiento en diámetros polares (PD) y ecuatoriales (ED) del periodo que comprende los meses de marzo y mayo. Entonces el crecimiento se desaceleraría considerablemente de junio a agosto, antes de volver a aumentar de septiembre a octubre. Estas etapas se caracterizan por la ausencia de hojas en los árboles, mientras que los episodios posteriores de lentitud o un crecimiento ligeramente más rápido coincidió con períodos de foliación completo (Álvarez *et al.*, 2019).

#### **2.4 Aumento de peso durante el desarrollo del fruto**

Los valores promedio de esta variable fluctúan entre 10.6 y 1.1 g en los meses de marzo a mayo. Para agosto, los frutos habían alcanzado el 50% de su peso final, y en octubre, habían alcanzado 30,6 g en promedio. El peso total del fruto está influenciado por los valores de sus componentes individuales (es decir, el peso del epicarpio, mesocarpio y endocarpio). Por ejemplo, el peso del exocarpio también es constante de abril a agosto (de 4.0 a 4.5 g), pero experimenta un aumento del doble en su valor promedio de septiembre a octubre antes de alcanzar finalmente un máximo de aproximadamente 8 g al final de este período. De manera similar, el peso del mesocarpio varía poco de abril a agosto (3 a 5 g) antes de aumentar a 14 g hacia finales de octubre. Por otro lado, el peso del endocarpio se comportó algo diferente, aumentando constantemente de abril a julio (0.7 g a 8.0 g) antes de estabilizarse en los meses siguientes (7.1 a 7.9 g) (Álvarez *et al.*, 2019).

#### **2.5 Descripción de los parámetros de color durante el desarrollo del fruto**

Según Álvarez *et al.* (2019) la ciruela mexicana del ‘Cuernavaqueña’ muestra un color verde opaco ( $L^*=41.1$ ,  $C^*=22.6$ ,  $h=109.1$ ) al comienzo de nuestro análisis (abril) y permanece así hasta agosto, cuando el color se vuelve más vivo y aumenta en luminosidad ( $L^*=44$ ,  $C^*=26.3$ ,  $h=110.7$ ). Sin embargo, en octubre la fruta había 12 se volvió de un amarillo claro y vivo ( $L^* =45.6$ ,  $C^* =39.2$ ,  $h=87,5$ ).

#### **2.6 Absición de frutos**

La aparición de las hojas tiene lugar entre abril y mayo, mientras que el crecimiento de los frutos se produce de abril a octubre. Estos son periodos donde es probable que haya una competencia entre los frutos por los carbohidratos, sumado a una elevada precipitación y humedad relativa durante el año de investigación. Se observaron mayor tasa de retención (80%) en los frutos que se colocaron en posición cardinal. Ya que la disminución ocurrió

entre junio y septiembre, es posible que la competencia por carbohidratos entre los mismos frutos sea la causa principal de la abscisión (Álvarez-Vargas et al., 2019).

## **2.7 Maduración fisiológica de los frutos**

El desarrollo del fruto comienza justo tras la polinización y la fertilización mediante la división celular, sucediendo esto en las primeras fases del desarrollo. (Dos Santos *et al.*, 2015). Posteriormente al desarrollo surge el crecimiento, por el aumento de tamaño de la célula al aparecer las vacuolas. Esta etapa se caracteriza por el crecimiento y expansión del fruto, luego una fase de maduración, en la que la cantidad de células permanece constante, con únicamente un incremento en su tamaño. Es la fase de maduración en la que el fruto puede madurar aun manteniéndose adherido a la planta (Dos Santos *et al.*, 2015; Martínez- González et al., 2017).

La madurez se corresponde con la etapa final de desarrollo del fruto y muestran diferentes cambios metabólicos: (1) cambios en la consistencia de la pulpa; (2) variaciones en la cantidad de azúcares, ácidos y sustancias volátiles que impactan el valor nutricional y organoléptico de los frutos; (3) cambios en el tono debido a la descomposición de la clorofila; (4) cambios en el color debido a la degradación de la clorofila; o a la acumulación de carotenoides y/o flavonoides y (4) aumento en la vulnerabilidad a agentes patógenos, a los que el fruto reacciona acumulando proteínas de protección (Altube *et al.*, 2017).

## **2.8 Etapa de maduración, modificaciones bioquímicas y sensoriales**

En las fases del desarrollo y crecimiento, se produce en dos etapas: la madurez fisiológica ocurre cuando el fruto alcanza su tamaño máximo e incremento en la vitalidad de las semillas; y segundo, la madurez organoléptica, en la que se observan las variaciones en el fruto incluidos:

- 1) La alteración del tono mediante la variación en la cantidad de clorofilas, la acumulación de pigmentos como flavonoides y los carotenoides.
- 2) El cambio en la textura a través del cambio en la turgencia celular, la estructura de la pared celular y el metabolismo.
- 3) La transformación de elementos volátiles, azúcares y ácidos orgánicos que afectan la calidad nutricional, el gusto y el aroma.

4) Finalmente, incremento en la vulnerabilidad frente al ataque de patógenos oportunistas que se relacionan con la disminución de la integridad de la pared (Seymour *et al.*, 2013; Dos Santos *et al.*, 2015).

## **2.9 Bioquímica de la producción de etileno**

A pesar de que se observó la producción de etileno en plantas a inicios del siglo XX, se requirieron casi 8 décadas para esclarecer su camino biosintético. En un principio, se pensó que podría derivarse de la degradación del ácido linolénico, posteriormente, el mismo grupo de científicos propuso que el aminoácido metionina podría ser el precursor que se transforma en S-adenosil metionina (SAM) y que posteriormente se transforma en ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) gracias a la acción de una enzima llamada ACC sintasa. El proceso final de fabricación de etileno implica la conversión del ACC en etileno, una reacción catalizada por la enzima ACC oxidasa. El ACC tiene la posibilidad de convertirse a ACC, malonil ACC (MACC) mediante la enzima malonil transferasa.

## **2.10 Control químico de la respuesta al etileno**

El 1-metilciclopropano (1-MCP), un inhibidor del etileno ha probado ser un potente antagonista de la acción del etileno y actualmente se utiliza como instrumento de investigación para examinar los procesos reguladores del etileno y prolongar la vida de los análogos de frutas y vegetales. Se ha observado una amplia gama de efectos que difieren entre especies e incluso entre cultivadores (Watkins, 2006). Este compuesto ha demostrado tener ciertas restricciones en varias especies, su mayor logro ha sido prolongar la vida de los frutos del mango, lo que ha propiciado su uso extendido en el sector industrial.

El 1-MCP se emplea de manera más efectiva una vez que la maduración ha comenzado. La supresión de la maduración causada por la aplicación preclimática puede dificultar la recuperación (Omboki *et al.*, 2015). Se encontró que los niveles internos de etileno tienen un impacto en la actividad de 1-MCP (Zhengke *et al.*, 2009). Este es un hallazgo importante que podría aplicarse para el cultivo industrial o comercial de hortalizas (Omboki *et al.*, 2015).

## **2.11 Bioquímica de la respiración**

La respiración se refiere a la decomposición oxidativa de una serie complejas de sustratos moleculares contenidos en las células, como los hidratos de carbonos y azúcares, ácidos orgánicos a más básicas como el CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>O. Como resultado, se produce energía y

moléculas intermedias que son necesarias para mantener las reacciones metabólicas fundamentales para preservar y conservar la estructura celular y la integridad de las membranas de las células vivientes. Debido a que la tasa de respiración está estrechamente relacionada con el metabolismo, su medición provee una fácil y manera viable para monitorear el estado metabólico y fisiológico de los tejidos. Por ejemplo, Las fases de envejecimiento y madurez se pueden identificar por las alteraciones en la respiración.

La función principal de la respiración es mantener el flujo de elementos energéticos como la adenosina trifosfato (ATP), la nicotina mida adenina dinucleólida (NADH) y el pirofosfalo (Ppi). La respiración aeróbica en su totalidad influye en la generación de ATP a partir de ADP (adenosina difosfalo) y Pi (fósforo inorgánico), lo que resulta en la liberación de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  y se utiliza glucosa como sustrato. Los elementos de esta respuesta provienen de diversos orígenes y destinos. Según INIA (2003), un mol de glucosa (180 g) puede originarse a partir de azúcares simples conservados en complejos de polisacáridos de glucosa, además de sueros como el almidón.

### **2.12 Factores que afectan la respiración**

La respiración se ve afectada por diversos factores ambientales como: luz, estrés químico (por ejemplo, fumigantes), estrés radiactivo, estrés hídrico, reguladores de expansión y ataques de agentes patógenos. No obstante, La temperatura, la composición atmosférica y el estrés físico son los factores que más influyen en la postcosecha (Salveit, 2016).

### **2.13 Características generales de los revestimientos alimentarios**

Los revestimientos comestibles son sistemas complejos que, al ser puestos en el fruto, actúan como una barrera física contra los factores ambientales (como la polución y los microorganismos dañinos), y simultáneamente, actúan como una membrana semipermeable que impulsa el intercambio de gases (como la disminución de la disponibilidad de  $\text{O}_2$  y el aumento de  $\text{CO}_2$ ), lo que promueve la generación de una atmósfera alterada entre el fruto y el revestimiento (USDA, 2016; Solano-Doblado et al., 2018; Haiji et al., 2018; Jiao et al., 2019)

## **2.14 Quitosano como recubrimiento comestible**

Es un heteropolisacárido que consta de unidades de N-acetil-D-glucosamina mediante enlaces glicosídicos ( $\beta$  1-4), que se distingue por su capacidad de biodegradación biocompatibilidad, capacidad de funcionamiento, inexistencia de toxicidad, elevada adhesión, características, propiedades antimicrobianas y habilidad de crear recubrimiento (Bautista-Baños et al., 2017; Jiao) (Mujtaba et al., 2019; et al., 2019). Se trata de un biopolímero con características policatiónicas por la presencia de grupos amino en su estructura, que tienen un rol crucial dentro de la misma de las características biológicas y fisicoquímicas del quitosano (Rinando,2008; Berumen-Varela, 2008; Bautista-Baños y colaboradores, 2017). Se ha propuesto que las interacciones pueden provocar problemas electrostáticos entre el grupo amino (con alta densidad de carga) del quitosano y el grupo amino (con alta densidad de carga) del quitosano con los grupos fosforilo presentes en las grasas de la membrana de los microorganismos. Además, este compuesto funcional, en conjunto con los grupos hidroxilo (-OH) presentes en la composición del quitosano, tiene la capacidad de funcionar como lugares activos para la interacción y/o adsorción de sustancias orgánicas e inorgánicas (Mohandas et al., 2017).

## **2.15 Atmósfera controlada**

El control de atmósfera (AC) es una técnica de conservación de frío que se fundamenta en modificar la composición de gases en una cámara, manteniendo un control sobre las variables físicas del ambiente (temperatura, humedad y circulación del aire). Además, se caracteriza como un ambiente saturado de oxígeno ( $O_2$ ) y enriquecido en dióxido carbónico ( $CO_2$ ) para la preservación y conservación de productos. En este contexto, la composición del aire se ajusta precisamente a las demandas del producto, permaneciendo constante durante todo el proceso (Pinto Mosquera et al., 2019). El fundamento principal de esta tecnología radica en modificar la composición del aire dentro de una cámara o recipiente. Usualmente, se disminuye la presencia de oxígeno y se incrementa la concentración de dióxido de carbono presente. Este procedimiento asociado al frío incrementa el efecto de la refrigeración en la función vital de los tejidos, evitando ciertas desordenes fisiológicas y las pérdidas asociadas al envejecimiento. El efecto de la atmósfera en la respiración del fruto es considerablemente más significativo que el efecto de las bajas temperaturas. Esta atmósfera regulada impide que las reacciones bioquímicas provocan un aumento en la velocidad respiratoria, retrasando la maduración, preservando el fruto en estado latente,

con la oportunidad de una reactivación vegetativa cuando se sitúa el fruto en aire atmosférico común (Ventura –Aguilar *et al.*, 2011; Pinto Mosquera *et al.*, 2019).

Dentro de los beneficios de reducir y/o incrementar el O<sub>2</sub> se incluyen el retraso de la madurez y las alteraciones bioquímicas y fisiológicas relacionadas; así como la reducción de la respiración y la producción de etileno. Se logra reducir la propensión de la fruta a ser sensible al etileno, además de mitigar trastornos fisiológicos (tales como el deterioro por frío en el aguacate, el gusto amargo en las zanahorias, la decoloración en la lechuga, entre otros). Entre las ventajas se encuentran la reducción del crecimiento y la supresión de la latencia en patatas.

García-González *et al.*, (2016) reportaron que la respiración en frutos de la ciruela mexicana se incrementó significativamente al salir de la refrigeración después de 10 d a 5 °C, cuando los frutos presentaban una coloración verde o variable. El color y los sólidos solubles totales sufrieron un efecto adverso después de 10 d de enfriamiento a 5 °C. Los frutos conservados a 5 °C durante 5 y 10 d presentaron síntomas de deterioro por frío al ser puestos a temperatura ambiente, y el deterioro se agravó al extender el tiempo de almacenamiento refrigerado.

## **2.16 Refrigeración**

La refrigeración es el método más eficiente para la conservación de los frutos y vegetales, lo que ha facilitado la venta y un abastecimiento más regulado de los productos fundamentales en el sector comercial. El mantenimiento de frutas y vegetales, ya sean completas o apenas procesadas, depende enormemente de la refrigeración, gracias a su impacto en elementos como: retraso de la actividad biológica del producto, disminución del crecimiento de microorganismos, reducción de la pérdida de agua y la conservación de la calidad nutricional del producto (Inestroza *et al.*, 2016). La temperatura tiene una gran influencia en procesos metabólicos como la respiración y la maduración. El valor de Q<sub>10</sub> (relación entre las tasas de respiración a causa del aumento de 10 °C) en frutas y vegetales usualmente es de 2.5 a 7, pero puede oscilar dependiendo de la temperatura empleada ya que las enzimas involucradas en las reacciones metabólicas pueden ser alteradas (Chitarra, 2005). Tan pronto como sea posible, es imprescindible efectuar la refrigeración en frutas y vegetales recién recolectados. sin embargo, si no se manipula correctamente, puede provocar la aparición de trastornos fisiológicos conocidos como daño por frío (DF) (Inestroza *et al.*, 2016) Para mejorar el almacenamiento refrigerado, es necesario

considerar las propiedades del producto y de esta manera determinar a qué intervalo de temperatura se conseguirá mantener sus características físicas y químicas.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Localización del sitio de estudio**

El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de producción agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, ubicado en el campus Chamilpa de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Los frutos de la ciruela mexicana “Cuernavaqueña” se recolectaron manualmente en su estado de madurez cambiante, con aproximadamente 50% de color naranja-rojo de las epidermis provenientes de árboles de traspatio en la localidad de Buena Vista del Monte, Cuernavaca, Morelos.

#### **3.2 Organización del experimento**

Los frutos fueron cosechados en estado de madurez de cambio incipiente del color verde considerando su uniformidad en color y tamaño. Se seleccionaron los árboles aleatoriamente, de los cuales se cosecharon manualmente 30 frutos homogéneos de color y tamaño por árbol. Los frutos se tomaron en la parte media de las plantas en dirección de los cuatro puntos cardinales del árbol y fueron puestos en recipiente de plástico y se trasladaron al Laboratorio de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Los frutos fueron lavados en una solución de hidróxido de sodio al 1% (p/v) en el laboratorio y dejados a temperatura ambiente. Los frutos se escogieron basándose en la uniformidad de tamaño y color y se descartaron aquellos que mostraban deformidades, deterioros mecánicos o indicios claros de enfermedades o plagas.

Posteriormente, los frutos fueron divididos en diferentes grupos dependiendo de los tratamientos para el uso de 1-MCP en tres niveles con distintas dosis  $0 \text{ nL L}^{-1}$ ,  $500 \text{ nL L}^{-1}$  y  $1000 \text{ nL L}^{-1}$ . Para ello, se colocaron los frutos en recipientes que fueron herméticamente cerrados durante 12 h, el 1-MCP se colocó en una solución de hidróxido de potasio y un ventilador pequeño para mantener el gas en movimiento. Una vez realizado dicho tratamiento, se procedió a la inmersión de los frutos en el tratamiento de quitosano al 1%. Luego se colocaron en una cámara frigorífica a una temperatura de  $18^{\circ}\text{C}$  y 80 % de HR para simular el transporte por 0, 7, 14 y 21 d; al finalizar cada periodo de almacenamiento

se sacaron frutos y se evaluaron a los 0, 5, 10 y 15 d en las variables físicas (Parámetros de color (L\*,C\* h), firmeza), fisiológicas (pérdida de peso, respiración y producción de etileno) y bioquímicas (fenoles totales, azúcares totales, antocianinas acidez titulable sólidos solubles totales índice de sabor y actividad antioxidante por los métodos de DPPH, ABTS y FRAP) y finalmente almacenados a temperatura ambiente (23 °C y 60 % de HR).

### 3.4 Diseño Experimental

La experimentación se realizó bajo un Diseño Totalmente al Azar donde se evaluaron en diferente dosis, la aplicación del 1-MCP (500 y 1000 nL L<sup>-1</sup>) y de quitosano al 1%; adicionalmente un tratamiento sin aplicación de 1-MCP (0 nL L<sup>-1</sup>) y sin aplicación de quitosano; estos tratamientos fueron replicados en diferentes grupos de frutos y almacenados por 0, 7, 14 y 21 d a 18 °C y a 80 % HR y al salir de dicha condición, los frutos fueron evaluados a los 0, 5, 10 y 15 d (tabla 1). La unidad experimental se consistió en un fruto y tuvieron cinco, seis y diez repeticiones en variables no destructivas y destructivas. Adicionalmente y como referencia tuvieron frutos a temperatura ambiente sin la aplicación del 1-MCP y quitosano durante 12 d.

**Tabla 1** Descripción de las variables analizadas

Variedad	1-MCP	Q	T°C	Periodo Almacenamiento	Día Evaluación	Trat.	Rep.	Variable No Destructiva	Respiración y C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
	0 nL L <sup>-1</sup>			7	0	90			
					5				
Ciruela mexicana 'Cuemavaqueña'	500 nL L <sup>-1</sup>	1%	18°C	14	10	90	6	10	5x2
					15				
	1000 nL L <sup>-1</sup>			21	20	90			

Q-quitosano

T-Temperatura

Trat-Tratamiento

Rep.-Repetición

### 3.5 Variables físicas

#### 3.5.1 Color del fruto

Se utilizaron un espectrofotómetro (X-Rite SP64, Grand Rapids, EE. UU) para determinar los parámetros de color de la epidermis del fruto: luminosidad (L\*), cromaticidad (C\*) y matiz (h), en dos lados opuestos del eje ecuatorial. (Solorzano *et al.*, 2015).

### 3.5.2 Firmeza

Se llevaron a cabo mediciones en dos áreas distintas de la región ecuatorial del fruto sin remover su epidermis y se determinó la fuerza (N) requerida para introducirse en la pulpa usando un texturómetro manual (Chatillon DF250, USA) con un pin dental (4,7 milímetros de diámetro de la base).

## 3.6 Variables fisiológicas

### 3.6.1 Pérdida de peso

Se registró diariamente el peso de frutos con la ayuda de una balanza digital (OHAUS, USA). Se expresó el porcentaje de pérdida diaria acumulada: relacionando el peso inicial al peso final.

Para ello, se utilizó la siguiente fórmula:

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

### 3.6.2 Velocidad de respiración y producción de etileno

Se establecieron las tasas de producción respiratoria y de etileno mediante el método analítico de Salveit, (2016) en conjunto con cromatografía de gases (GC-TCD para CO<sub>2</sub>; GC-FID para etileno). Brevemente, se colocaron dos frutos dentro de un recipiente sellado durante tres horas, después de lo cual se extrajo una muestra de un mililitro de aire del espacio de la cabeza y se colocó en un sistema Agilent 7890 A (Agilent Technologies Sta. Clara, EE. UU.). El detector, la bocina y el inyector tenían temperaturas de 150, 80 y 170 °C, respectivamente (gas portador N<sub>2</sub>; caudal de 2 mL min<sup>-1</sup>). Se utilizó el método de calibración absoluta para cuantificar tanto el CO<sub>2</sub> como el etileno utilizando estándares de

0.46 g L<sup>-1</sup> y 0.1 g L<sup>-1</sup>, respectivamente (Praxair, Inc., Danbury, EE. UU).

## 3.7 Variables bioquímicas

### 3.7.1 Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales (SST) fueron determinados a partir de dos gotas de jugo obtenidas con un Súper Extractor de cada uno de los frutos evaluados y se registraron utilizando un refractómetro. Los resultados se reportaron en unidades de °Brix.

### 3.7.2 Acidez Titulable

Se pesaron 5 g de pulpa y cáscara, se mezclaron con 10 mL de agua destilada, se licuaron y luego se filtraron a través de filtros de papel; 5 mL de la mezcla filtrada se colocaron en

un matraz Erlenmeyer y se agregaron tres gotas de fenolftaleína. Finalmente, se utilizó hidróxido de sodio (NaOH) con una normalidad de 0.1. Los resultados se presentaron como porcentaje (%) de ácido málico (AOAC, 1998). Los cálculos se realizaron mediante la siguiente fórmula:

### **3.7.3 Índice de sabor**

El índice de gusto se determinó a partir de la relación entre los sólidos solubles totales y la acidez titulable y es adimensional.

### **3.7.4 Azúcares totales**

El método de Antrona, descrito por Witham et al. (1971), fue empleado para calcular los azúcares totales. Se extrajo un gramo de cáscara y pulpa, se dividió en pedazos pequeños, se puso en frascos de vidrio y se añadieron 50 mL de etanol al 80% v/v. Tras 15 días, se puso 1 mL del sobrenadante en un recipiente de precipitación de 10 mL y se dejó evaporar sin caramelizar, para luego homogeneizar con 20 mL de agua destilada. Se añadió 1 mL de este homogenizado y se modificó a 3 mL con agua destilada en tubos de fondo plano. Cada tubo que contenía la muestra recibió 6 mL de la solución de Antrona al 0.4% (0.4 g de Antrona en 100 mL de ácido sulfúrico), manteniendo los tubos en un baño de hielo para disminuir la temperatura durante el proceso. Después de enfriarse, se registró la absorbancia a 600 nm utilizando un espectrofotómetro (Genesys 20 UV-Vis, USA). Como referencia, se emplea una solución de 3 mL de agua destilada que supera 6 mL de la solución de Antrona al 0,04 %. Se empleó una curva de patrón de glucosa de 15 a 150 mg para determinar la concentración total de azúcares.

### **3.7.5 Extracción y cuantificación de antocianinas**

Se utilizó el método diferencial de pH propuesto por Lee et al. (2005). Por separado, se pesaron 0,5 g de pulpa y cáscara, se homogeneizaron con 20 mL de un amortiguador de pH 1, se filtraron y se centrifugaron durante 10 minutos. Se midió la absorbancia a 520 y 700 nm utilizando un espectrofotómetro (Genesys 20 UV-Vis, EE. UU.). La fórmula diferencial se utiliza para obtener la concentración de antocianina:

$$A=(A_{520-max}-A)_{pH 1}-(A_{520}-A_{700})_{pH 4.5}$$

Para determinar la concentración en la muestra original, se empleó la fórmula siguiente:

**Antocianinas Monoméricas** =  $(A \cdot \text{peso molecular} \cdot \text{FD} \cdot 1000) / (\epsilon \cdot 1)$  y se expresa en  $\text{mgg}^{-1}$

A-absorbancia    FD-factor de dilución     $\epsilon$ -coeficiente de extinción molar

### **3.7.6 Compuestos fenólicos en pulpa y cáscara**

El método desarrollado por Folin-Ciocalteu fue empleado para determinar el contenido de los compuestos fenólicos totales (Singleton et al., 1999). Se utilizó un UltraTurrax (IKA T25, Estados Unidos) para homogeneizar 1 g de pulpa en un tubo de ensayo con 15 mL de agua destilada. Posteriormente, la pulpa fue filtrada, se extrajeron 0,5 mL del agua filtrada y se añadieron 2,5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (1:10). Tras 5 minutos, se incorporaron 2 mL de carbonato de sodio (7,5% p/v) y luego de un descanso de 2 horas, se llevaron a cabo las mediciones con un espectrofotómetro (Genesys 20 UV-Vis, Estados Unidos) calibrado a 760 nm. Se expresaron los hallazgos en miligramos de ácido gálico equivalente (EAG) por cada 100  $\text{g}^{-1}$  de peso fresco.

### **3.7.7 Actividad antioxidante de potencial de reducción férrica (FRAP)**

Se aplicó el procedimiento ideado por Benzie y Strain (1996): se elaboró 1.8 mL de FRAP (TPTZ,  $\text{FeCl}_3$  y amortiguador de acetato), se unió 0.7 mL de agua desionizada y 0.3 mL del disolvente de extracción para cálculos fenólicos, se mantuvo en reacción durante 15 minutos a 37 °C y se registró el tiempo de reacción a 593 nm. Los hallazgos se manifestaron en mg correspondientes a 100  $\text{g}^{-1}$  de ácido ascórbico (EAA) en peso fresco.

### **3.7.8 Actividad antioxidante por el método ABTS**

ABTS (Sigma-Aldrich) y persulfato de potasio ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) fueron preparados a 2.45 mM y se combinaron en proporción 1:1, manteniéndose en agitación durante 16 h. Se diluyó con un 20% de etanol para lograr una absorbancia de  $0.7 \pm 0.02$  a 734 nm. Se añadieron 3 mL de ABTS junto con 0.01 mL del sobrenadante de extracción para compuestos fenólicos, se pusieron en reacción durante 15 min y la absorbancia se calculará a 734 nm. Los resultados se expresaron en mg correspondientes a 100  $\text{g}^{-1}$  de ácido ascórbico (EAA) en peso fresco (Re et al., 1999).

### **3.7.9 Determinación de la capacidad antioxidante por el método actividad del radical 1,1 -difeníl, 2-picrylhidrazyl (DPPH)**

Se aplicó el procedimiento sugerido por Brand-Williams et al. (1995), con algunas modificaciones de Suárez et al. (2017), que implica añadir 3 mL de una disolución metanólica de DPPH  $6,1 \times 10^{-5}$  M (Sigma Aldrich, Estados Unidos) a una celda de cuarzo y permitir que se reaccione con 0,01 mL del disolvente para la extracción de compuestos fenólicos. La combinación permaneció en la oscuridad durante 15 minutos y se registró su absorbancia a 517 nm. Se expresaron los resultados en miligramos de ácido ascórbico (EAA) por cada 100 g<sup>-1</sup>.

### **3.8 Análisis de los datos**

Los gráficos y pruebas estadísticas (análisis de varianza, comparaciones de medias usando la prueba HSD de Tukey [ $\alpha \leq 0.05$ ]) fueron creados y/o realizados usando los paquetes estadísticos Sigma Plot V.14 (Systat Software Inc., San José, CA, EE.UU) y SAS.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 Variables físicas**

#### **4.1.1 Parámetros de color**

El color es un componente de calidad en frutas y verduras y, como tal, puede influir en la preferencia, aceptación o rechazo del consumidor, así como determinar si un producto tiene éxito o no en el mercado (García-Mateos *et al.*, 2022).

El 1-MCP  $\pm$  Q retrasaron el desarrollo de los parámetros de color (Luminosidad, Cromaticidad y Matiz), se encontraron diferencias significativas tanto a temperatura ambiente ( $\pm$  25 °C y 65% HR) como de almacenamiento a 18°C y 80% HR durante los 7, 14 y 21 días (Figuras 1, 2 y 3).

En los frutos mantenidos a temperatura ambiente (25 °C y 65 % HR.), la luminosidad, al inicio y hasta tres días, no detectaron diferencias significativas, posteriormente la luminosidad en los frutos donde no se aplicó tratamientos se incrementó significativamente en comparación con los demás (1-MCP  $\pm$  Q) (Figura 1 A). Esto está relacionado con la degradación de la clorofila y la acumulación de pigmentos como los carotenoides y las antocianinas en la epidermis de los frutos.

Cuando los frutos almacenados durante 7 días fueron sacadas del almacén, su luminosidad fue notablemente mayor que la de las frutas a las que se les aplicó 1-MCP  $\pm$  Q,

detectándose diferencias significativas entre los frutos tratados (500 y 1000 nL L<sup>-1</sup>), donde la dosis mayor mostró menor incremento en la luminosidad (Figura 1 B). Similar comportamiento observado por los frutos almacenados por 14 d, a pesar de que el valor máximo de la luminosidad fue significativamente menor que los testigos y los frutos almacenados por 7 d a 18 °C (Figura 1 C).

Finalmente, a los 21 d después del almacenamiento, los frutos testigo mostraron mayor luminosidad y disminuyó constantemente los días posteriores, en tanto que los frutos tratados (Figura 1 D).

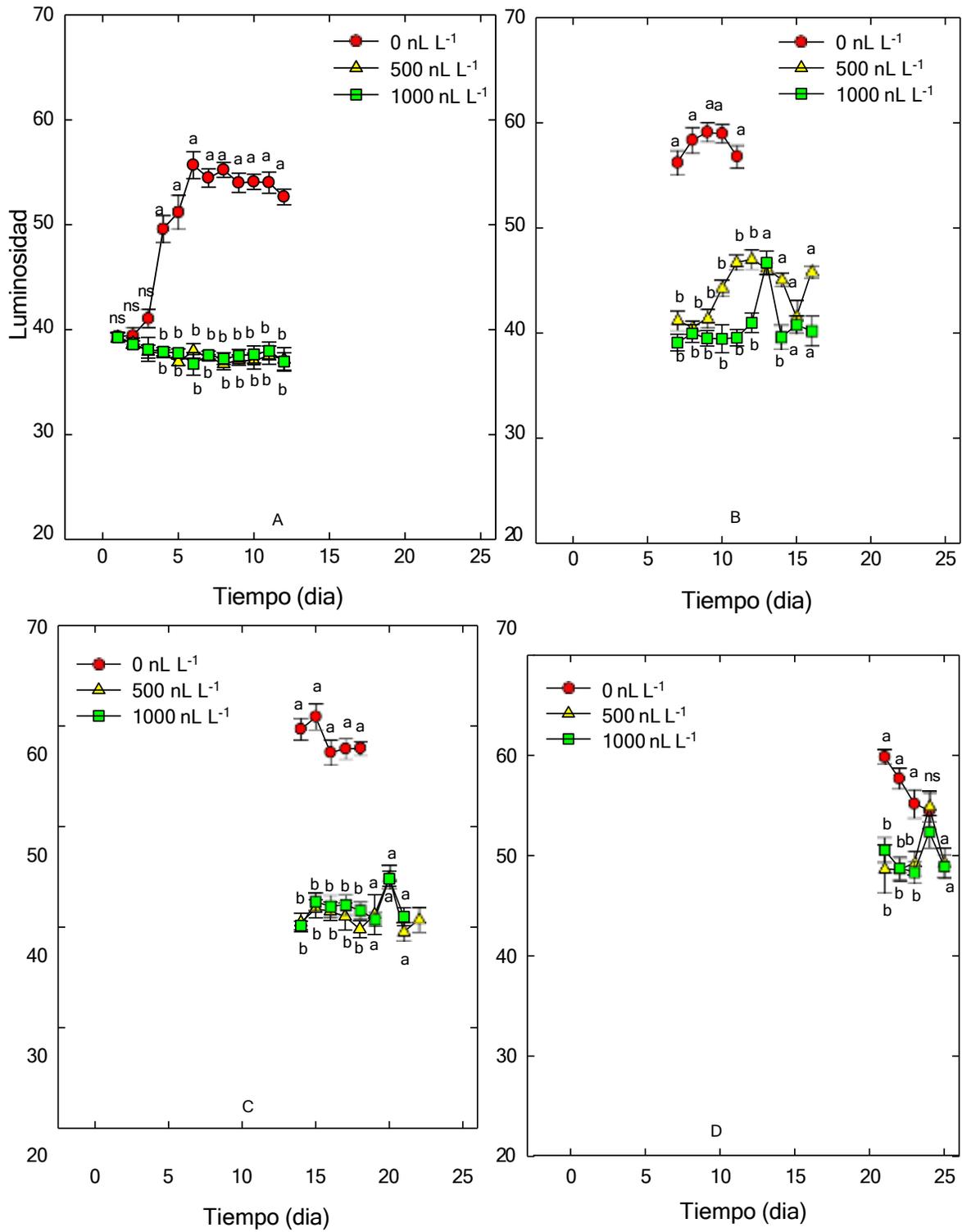


Figura 1. Luminosidad de ciruela mexicana ‘cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP  $\pm$  Q y almacenados por 0 (A) a 25 $\pm$ 1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18 °C. cada punto simboliza la media de 10

observaciones y su error estándar correspondiente.

En el parámetro de Cromaticidad, en los frutos mantenidos a temperatura ambiente se indicaron una clara diferencia significativa entre el testigo y los tratamientos (500 y 1000 nL L<sup>-1</sup>) siendo el testigo obteniendo valores superiores. A los 10 y 11 d, los tratamientos 500 y 1000 nL L<sup>-1</sup> indicaron una diferencia significativa entre sí (Figura 2 A). Similar comportamiento observado en los frutos almacenados a 18°C durante 7d (Figura 2 B).

A partir de los 14 d de almacenamiento a 18 °C, los testigos siguieron obteniendo valores superiores a los demás tratamientos con una tendencia descendente (Figura 2 C). A los 21 d de almacenamiento igual el testigo presentó este comportamiento descendente a la vez los demás tratamientos (500 y 1000 nL L<sup>-1</sup>) tendieron a subir con el paso de los días (Figura 2 D).

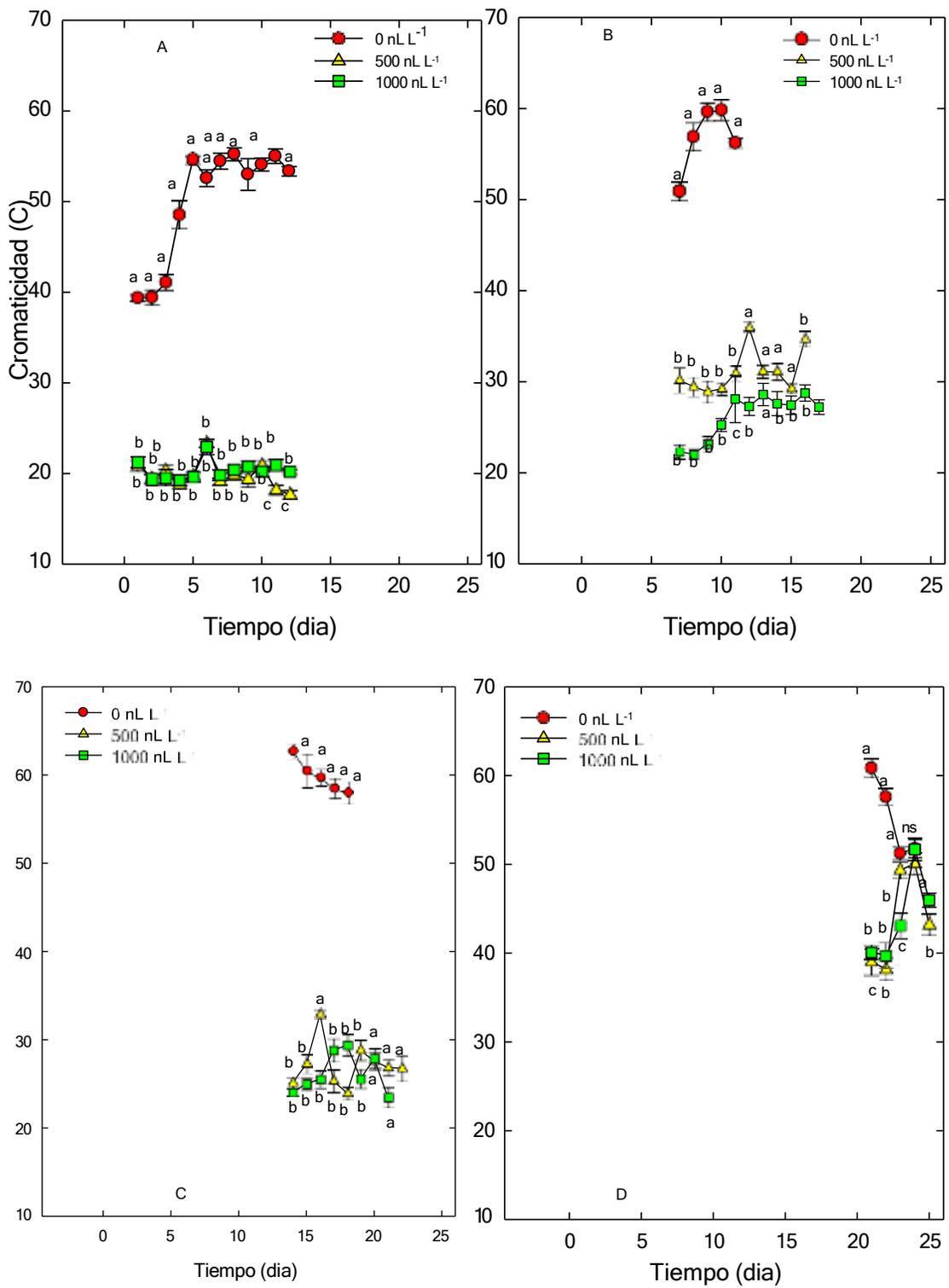


Figura 2. Cromaticidad de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Q y almacenadas por 0 (A) a 25±1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C. cada punto simboliza la media de 10 observaciones

y su error estándar correspondiente.

En el ángulo de Matiz, a los tres primeros días a temperatura ambiente no mostraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos. Posteriormente, mostraron diferencias significativas entre el testigo y los demás tratamientos (500 y 1000 nL L<sup>-1</sup>), pues el testigo con una tendencia a bajar mientras que avanza la maduración (Figura 3 A).

Similar comportamiento observado a los días de almacenamiento (7, 14 y 21) con una diferencia significativa entre el testigo comparado con los demás tratamientos. A temperatura ambiente, a partir de los 3 hasta 12 d se registraron valores que van de 98.1 a 67.1 pasando del color ligeramente amarillo claro a naranja y los demás tratamientos (500 y 1000 nL L<sup>-1</sup>) mantuvieron valores de 105.2 a 97.1 que predomina el color verde a amarillo claro (Figura 3 A).

A los 7 d, se observaron diferencias significativas entre el testigo y los demás tratamientos (500 y 1000 nL L<sup>-1</sup>), el testigo al día 7 tuvo un valor de 80 y a los 10 d 72.16 representando un color amarillo y naranja ámbar de los 7 hasta 17 d. El tratamiento de 1000 nL L<sup>-1</sup> obtuvo valores de 104.11 a 94.05 mantuvo un color verde claro a amarillo y el tratamiento de 500 tuvo valores de 100 a 84.34 pasando de un color amarillo claro a amarillo (Figura 3 B). Similar tendencia observado a partir de los 14 d (Figura 3 C). A los 21d hasta 23 d, el testigo tuvo valores de 75.29 -74.01 indica color naranja ámbar y los tratamientos de 500 y 1000 nL L<sup>-1</sup> con valores de 82.38 a 72.9 pasando de una coloración amarillo a ligeramente anaranjado (Figura 3 D).

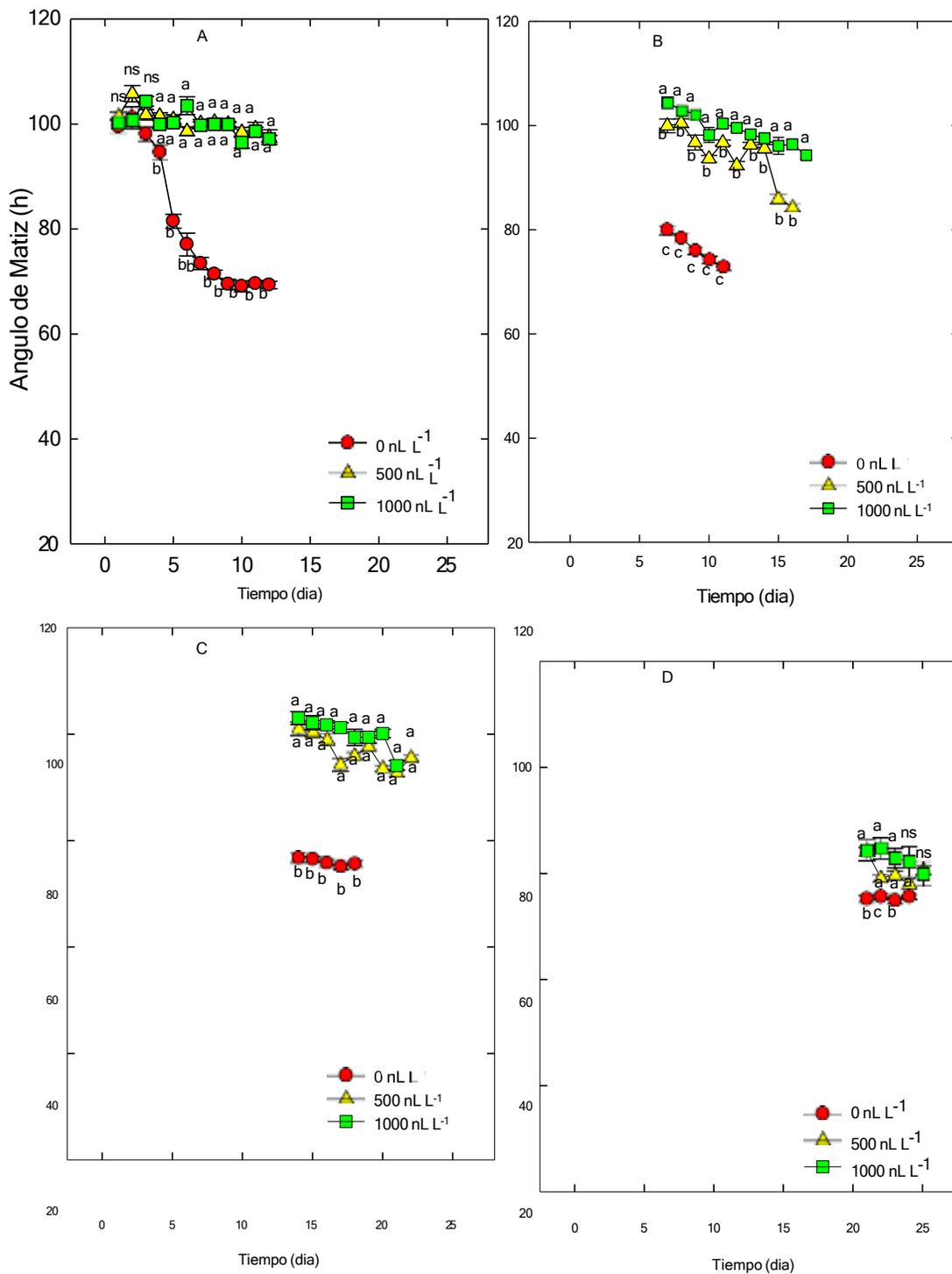


Figura 3. Matiz de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Q y almacenados por 0 (A) a 25±1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C. cada punto simboliza la media de 10 observaciones y su error estándar correspondiente.

Maldonado-Astudillo *et al.* (2014) indican durante el proceso de maduración en la ciruela mexicana, los cambios de color observados en la es el resultado del metabolismo de clorofilas y carotenoides. Otros autores reportaron comportamientos similares del proceso de avance de la maduración de la ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ (Suárez Vargas *et al.*, 2017; García-González *et al.*, 2016).

En el proceso de maduración, la presencia del tono naranja está relacionado con cambios ocurridos en el contenido de los pigmentos, generalmente es debido a procesos oxidativos que degradan las clorofilas y a la síntesis de pigmentos anaranjados y amarillos (carotenoides), (Shakya & Lal, 2018).

Tránsito Damaso, (2023) reportó en ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratada con 1-MCP, solamente el tratamiento que redujo la tasa de avance en el ángulo matiz fue 1000 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP; este efecto se observó a temperatura ambiente y después de 5 y 10 días de almacenamiento a 12 °C.

García Mateo *et al.* (2022), en su estudio sobre conservación de frutas de papaya (*Carica papaya*) con antifúngicos biodegradables utilizando quitosano y aceite esencial de cítricos informaron resultados parecidos. Descubrieron que, en la superficie de las frutas sin testigo, el valor de h evidenció una disminución superior (cerca de 50°) durante el almacenamiento en comparación con los frutos que tuvieron testigo (cerca de 27°). Esta variación explica el cambio de tono de la epidermis de verde a anaranjado en los frutos.

#### **4.1.2 Firmeza**

Según lo reportado por Maldonado Astudillo, (2014), los frutos en estado de madurez fisiológica presentan mayor firmeza, la cual se disminuye a medida que avanza la maduración; Esta disminución es resultado de la descomposición enzimática de polisacáridos como el almidón, pectinas, celulosa y hemicelulosa. El ablandamiento de los frutos se produce debido al deterioro de los carbohidratos estructurales en la pared celular e hidrólisis del almidón (Cosme *et al.* 2017).

La combinación de 1-MCP ± Q retrasaron el ablandamiento en la mayoría de los casos tanto a temperatura ambiente como a periodos de almacenamiento a 18°C durante los 7, 14 y 21. A temperatura ambiente, la firmeza inicial fue de 42.26 N y a los 5 días el testigo disminuyó a 10.48 N y los tratamientos de 500 y 1000 nL L<sup>-1</sup> a 24 y 25 N; a los 10 d los

frutos testigo se mantuvieron en valores similares a 10.48 N, en tanto que los tratados con 1-MCP en 500 y 1000 nL L<sup>-1</sup> tuvieron 18.8 N de firmeza, lo que deja en evidencia el efecto del 1-MCP en esta variable (Figura 4 A).

Cuando los frutos se almacenaron por los 7 d, el tratamiento testigo registró en promedio un valor de 13.6 N y los tratamientos de 500 y 1000 nL L<sup>-1</sup> entre 21.88 y 19.82 N respectivamente; y a los 12 d los frutos testigo disminuyeron a 8 N y a los 17 d los frutos de los tratamientos de 500 y 1000 nL L<sup>-1</sup> alcanzaron a 17.34 y 17.77 N respectivamente, confirmando que el 1-MCP  $\pm$  Q retrasaron significativamente la pérdida de firmeza (Figura 4 B).

A los 14 d de almacenamiento la firmeza mostró similar comportamiento que los frutos almacenados por 7 d, ya que los frutos testigo al salir del almacenamiento y durante los 5 d de maduración a temperatura ambiente mostraron valores entre 6.7 y 7.5 mientras que, en los frutos tratados, la firmeza se mantuvo entre 13.6 y 17.7 N (Figura 5 C), detectándose diferencias significativas con el testigo. (Figura 4 C).

Los frutos de ciruela mexicana al salir del almacenamiento por 21 días a 18 °C no se detectaron diferencias entre los tratamientos evaluados, aunque los frutos tratados tuvieron valores superiores (Figura 4 D).

Muy Rangel, (2009) en su investigación de frutos de mango tratados con 1-MCP a 400 nL L<sup>-1</sup>, indicó que mostraron un 40% más de firmeza durante los periodos 3, 6 y 9 d de almacenamiento que los frutos no tratados (Testigo 25 N y 1-MCP 75 N).

Kumar *et al.*, (2017) informaron que el recubrimiento de quitosano (2%) es efectivo para mantener la firmeza de la ciruela (*Spondias purpurea* L.) “Santa Rosa” al retardar las actividades metabólicas y enzimáticas que degradan los componentes de la pared celular, por lo tanto, al inicio tuvieron valores aproximadamente de 15 N y a los 35 d tuvieron valores de 4 y 10 N del testigo y tratamiento de quitosano respectivamente. El quitosano, al igual que otros recubrimientos, actúa como una barrera física para el agua transpirada, por lo que las frutas recubiertas de quitosano suelen tener una menor pérdida de peso de fruto

que el control. (Win *et al.*, 2019; Maduwanthi & Marapana, 2019).

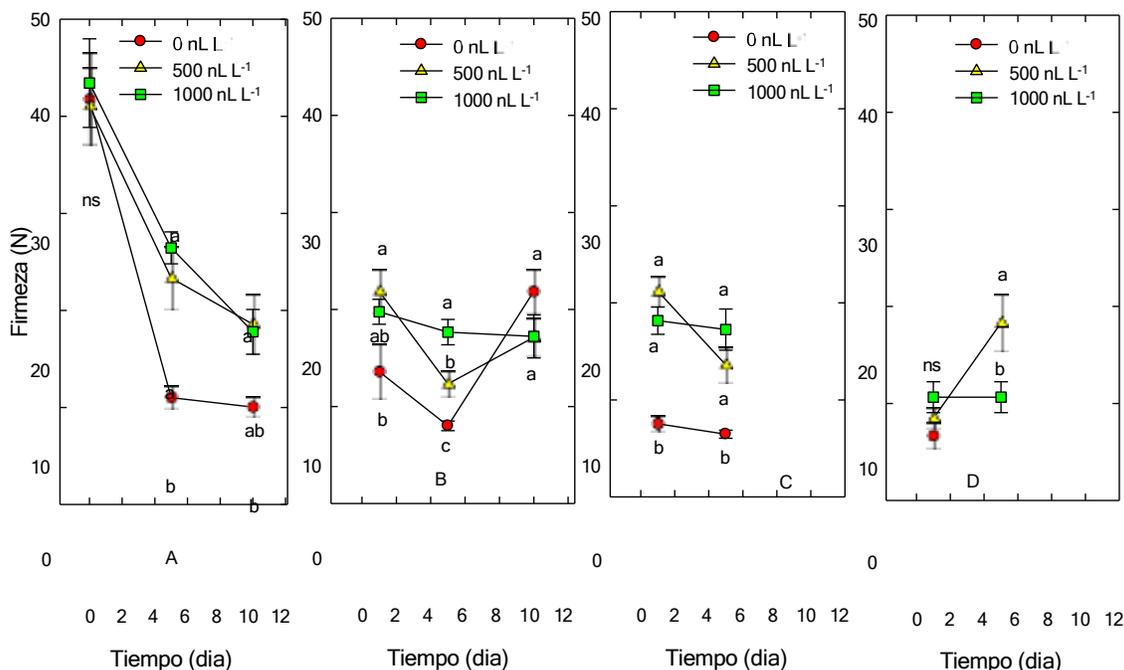


Figura 4. Firmeza de la ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP  $\pm$  Q y almacenados por 0 (A) a  $25 \pm 1$  °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18 °C. cada punto simboliza la media de 6 observaciones y su error estándar correspondiente.

## 4.2. Variables fisiológicas

### 4.2.1 Pérdida de peso

Las pruebas estadísticas no detectaron diferencias significativas entre tratamientos cuando no se almacenaron a temperatura ambiente. La pérdida de peso fue lineal, después de 11 d a temperatura fue entre 20.4 y 22.18 %, aproximadamente entre 1.85 y 2.01 % d<sup>-1</sup> (Figura 15 A).

En el primer periodo de almacenamiento (7 d) no se detectaron diferencias significativas en los primeros 5 d. Posteriormente en los tratamientos de 500 nL L<sup>-1</sup> de -MCP, la pérdida de peso fue mayor comparando con los tratamientos de 1000 nL L<sup>-1</sup> o 0 nL L<sup>-1</sup> (Figura 15 B). Después, a los 10 d no se detectaron diferencias entre los tratamientos (Figura 15 B). Entre los 13 y 14 d la pérdida de peso fue entre 15.6 y 16.8 %, es decir entre 1.9 y 2.0 % d<sup>-1</sup>, los frutos testigo tuvieron una pérdida de 6.56 % a los 9 d (Figura 15 B). A los 14 d, el tratamiento de 500 nL L<sup>-1</sup> tuvo mayor pérdida de 16.87% lo que representa una pérdida de

1.2 % d<sup>-1</sup> y a los 13 d el tratamiento de 1000 nL L<sup>-1</sup> tuvo su mayor pérdida de 15.6 % representa una

pérdida promedio de  $1.94 \text{ d}^{-1}$  (figura 15 B).

No se observaron diferencias notables entre los tratamientos almacenados durante 14 días hasta 18 °C (figura 15 C). Después de salir del almacenamiento registraron una pérdida de 11.29 % es decir 0.63 % d<sup>-1</sup>. La aplicación del 1-MCP ± Q no tuvo efecto después de salir del almacenamiento, el porcentaje de pérdida diaria fue 0.37% d<sup>-1</sup> (Figura 15 D).

Bautista-Baños *et al.*, (2006), en su investigación de la influencia de quitosano en la ciruela mexicana a diferente temperatura informaron que la eficacia del quitosano fue más evidente a 12 °C (85 % HR) en comparación con las dos temperaturas restantes (15 °C, 75 % HR y 27 ± 2 °C, 65 % HR) debido a que a menor temperatura menor sea la transpiración de los frutos. El quitosano, al igual que otros recubrimientos, actúa como una barrera física para el agua transpirada por lo que las frutas recubiertas de quitosano normalmente tienen una pérdida de peso de fruta menor que el control. No obstante, en este estudio no se registró un impacto notable en la pérdida de peso, lo que podría deberse al estado de madurez y a la temperatura de almacenaje.

Mubarok *et al.*, (2022) en su investigación de banano informaron que la eficacia del quitosano en la prevención de la pérdida de peso de la fruta se puede mejorar mediante la combinación de 1-MCP y quitosano. La combinación de 1-MCP y quitosano inhibió significativamente la pérdida de peso de la fruta de plátano hasta 14 d en comparación con el control (1-MCP 0.25; 0.50, 0.75 y 1.0 µL L<sup>-1</sup> ± Q con su respectiva pérdida de 17.77 %; 17.47 %; 16.72 y 16.40 % y el testigo de 24.42 %).

Espinal *et al.*, (2021) reportaron en frutos de Pitaya (*Hylocereus griseus H.*) tratados con 1- MCP recubiertos de quitosano, almacenados aproximadamente a 11 ± 1°C; 93 ± 2% HR durante 12 d, encontraron al final de los periodos de almacenamiento una pérdida de 2.3 a 3.1 %, resultados inferiores a los que se encontraron en la ciruela mexicana “Cuernavaqueña”.

Muy Rangel *et al.* (2009), en su estudio sobre mangos tratados con 1-MCP y recubrimientos, descubrieron que el uso de una película comestible a base de quitosano no logró disminuir la pérdida de peso. Los frutos tratados con 1-MCP experimentaron variaciones notables en la pérdida de peso tras 6 días de almacenamiento. No obstante, la variación más alta registrada tras 12 días fue del 0,5% y no se evidenció en la calidad de los frutos. Esto significa que las características de la fruta (tipo de cutícula y velocidad de transpiración), la composición y las condiciones de almacenamiento afectan la efectividad de una película

comestible.

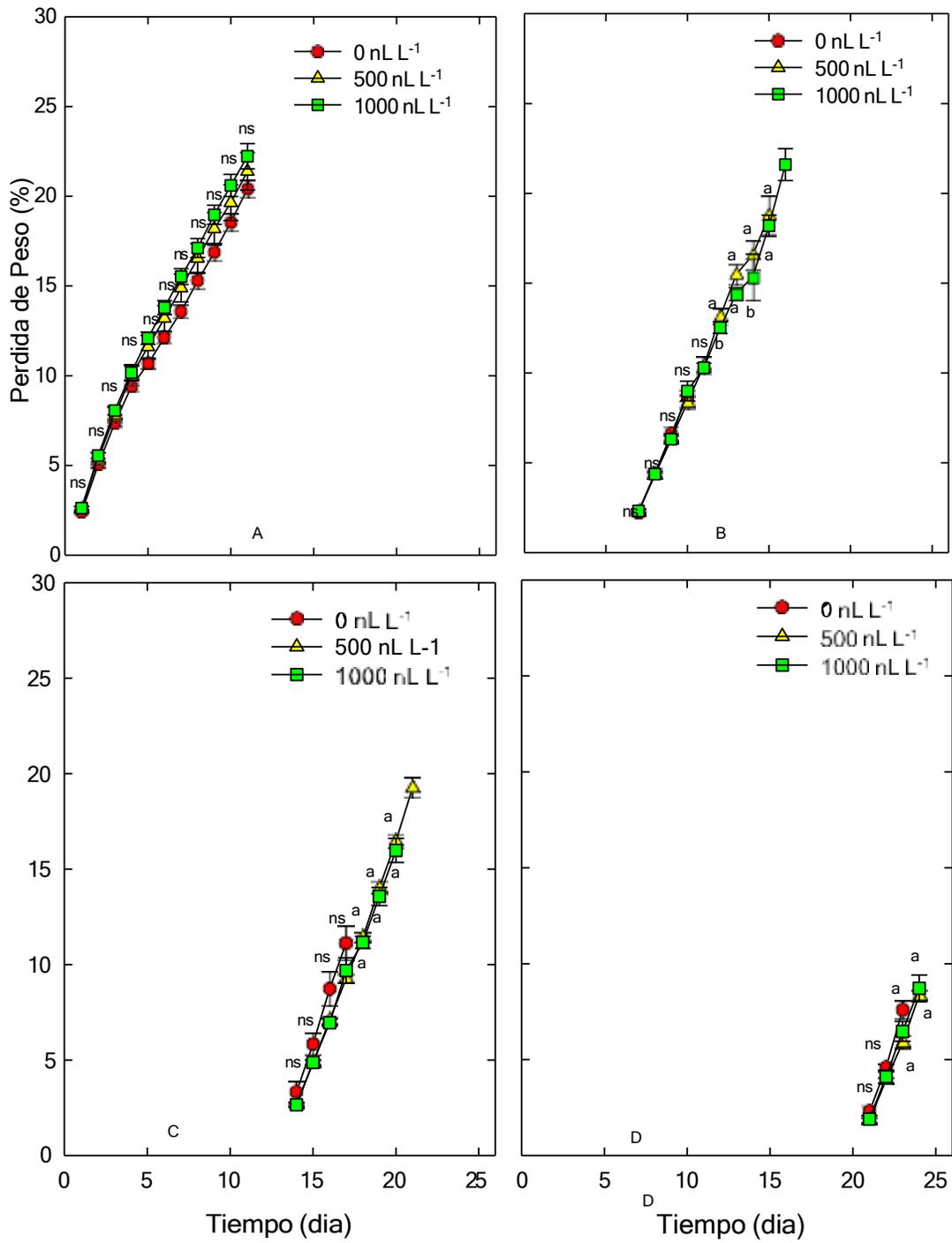


Figura 5. Pérdida de peso de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1- MCP  $\pm$  Quitosano y almacenados por 0 (A) a  $25\pm 1$  °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18 °C. cada punto simboliza la media de 10 observaciones y su error estándar correspondiente.

#### 4.4.2 Respiración

A temperatura hubo diferencias significativas entre el testigo y los frutos. A los 4 d, el testigo alcanzó su pico climatérico de maduración de  $2.84 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  y luego volvió a disminuir y a los 7 d aumentó de nuevo de  $1.95 \text{ mLkg}^{-1}\text{h}^{-1}$  correspondiente a su pico de senescencia, ese comportamiento es típico de los frutos climatéricos. A los 9 d después de refrigerado, también hubo diferencias significativas entre el testigo y el demás tratamiento, el testigo alcanzó su máximo valor de  $2.36 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ . No hubo diferencias significativas en el segundo periodo de refrigeración. A partir de los 21 d de refrigeración correspondiente al tercer periodo, mostraron diferencias significativas siendo los tratamientos de  $500 \text{ nL L}^{-1}$  tuvo un comportamiento ascendente cuyo valor máximo fue de  $2.044 \text{ mLkg}^{-1}\text{h}^{-1}$ .

El quitosano crea una película semipermeable que controla el intercambio de gases y disminuye las pérdidas por transpiración, alargando así la postcosecha del fruto. Los recubrimientos del fruto funcionan como una barrera semipermeable que altera el intercambio de gases entre el interior del fruto y el medio externo. (Rahimi et al., 2019; Bautista Baños et al., 2016)

Osuna García *et al.*, (2011) en su investigación en ciruela mexicana informaron una notoria supresión de la aparición del pico climatérico de respiración por cualquiera de las dosis del 1-MCP usada, puesto que los valores de  $\text{CO}_2$  oscilaron desde 45 hasta  $65 \text{ mLkg}^{-1}\text{h}^{-1}$  durante el almacenamiento. En el ecotipo "Cuernavaqueña", Tránsito Damaso (2023) informó que la dosis de  $1000 \text{ nL L}^{-1}$  de 1-MCP disminuyó la velocidad respiratoria a temperatura ambiente ( $22.56 \pm 1.19$  °C;  $73.29 \pm 6.26$  % HR) tras 10 y 15 días de almacenaje a baja temperatura.

Kumar *et al.*, (2014) reportaron que la tasa de producción de dióxido de carbono mostró un patrón climatérico respiratorio característico. Durante el almacenamiento la respiración de las ciruelas no recubiertas y recubiertas de quitosano inicialmente de  $13.95 \text{ mLkg}^{-1}\text{h}^{-1}$  y a los 14 d subieron a  $36.56$  y  $21.23 \text{ mLkg}^{-1}\text{h}^{-1}$  y finalmente a los 35 d bajaron a  $14.21$  y  $27.51 \text{ mLkg}^{-1}\text{h}^{-1}$  al inicio del pico respiratorio en los frutos recubiertos de quitosano se retrasó y suprimió.

Razzaq *et al.*, (2016) reportaron en frutos de mango almacenado a 15°C tratados con 1- MCP un pico climatérico de frecuencia respiratoria 10,5 % inferior al fruto control (testigo 0.3100 y 1-MCP 0.2100 mL kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>).

Según Tripathi, *et al.*, (2016) informaron que las características de los frutos climáticos incluyen una mayor respiración y producción de etileno, por otro lado, los frutos no climáticos se caracterizan por no presentar un pico respiratorio y producción de etileno en todo el proceso de maduración.

Según Maldonado-Astudillo *et al.* (2014), aunque existen variaciones bioquímicas y físicas sucedidas en el proceso de maduración, resulta complicado determinar si la ciruela mexicana es una fruta climática, o no. debido a la variabilidad en el comportamiento de la producción de CO<sub>2</sub>. Por otro lado, mencionaron Montalvo-González *et al.* (2011) que los frutos de *Spondias purpurea* L. son climatéricos por los cambios que experimentan, tanto después de la cosecha como durante el proceso de maduración, en sus características físicas y químicas (color, sabor y contenido de azúcar), así como en sus patrones respiratorios.

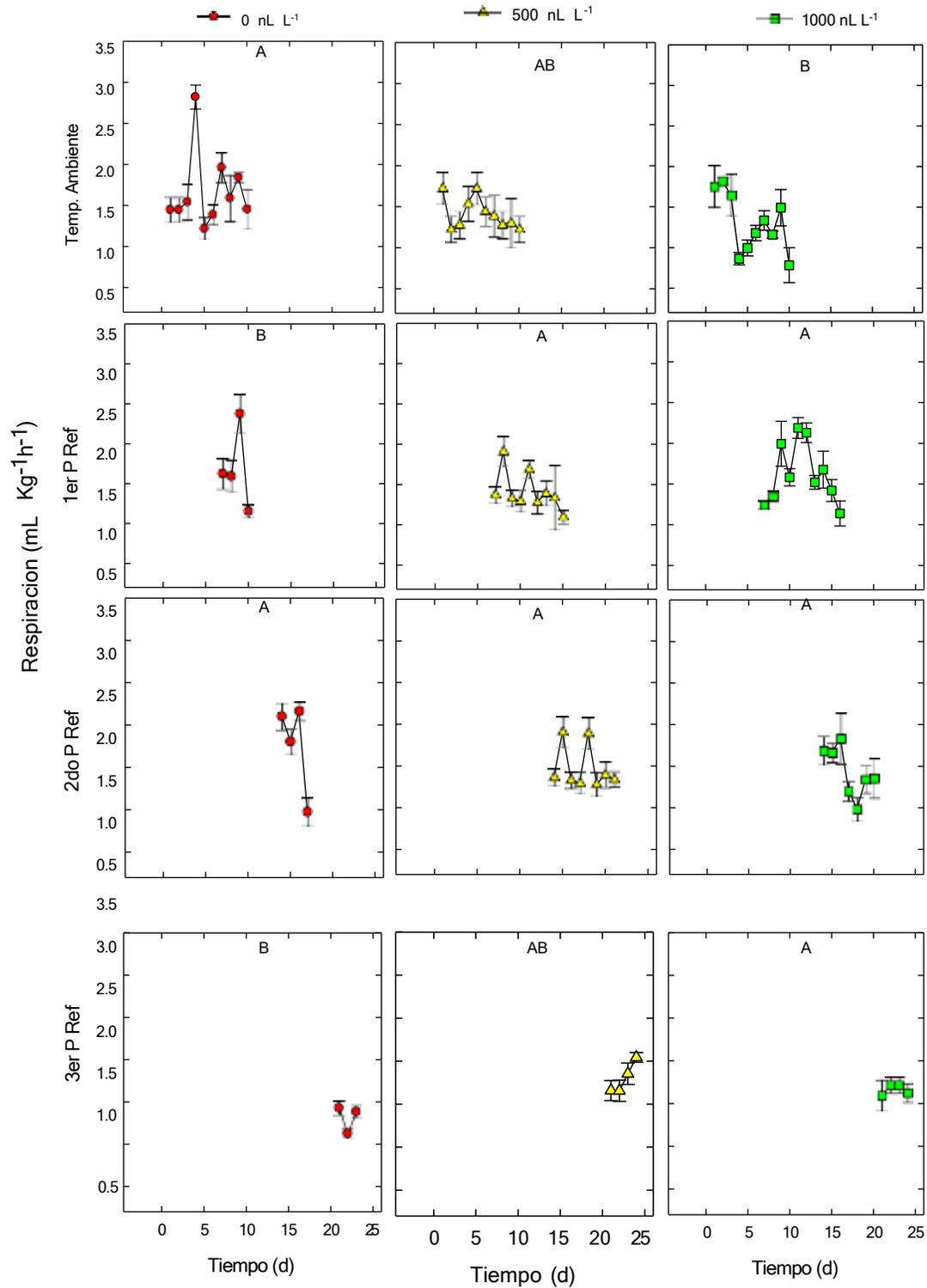


Figura 6. Respiración de la ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Q y almacenadas a Temp. Amb. de 25±1 °C y 1er P Ref., 2do P Ref. y 3er P Ref. a 18°C. Cada punto simboliza la media de 5 observaciones y su error estándar correspondiente.

### 4.2.3 Producción de etileno

El 1-MCP es un antagonista del etileno que se relaciona con los receptores de etileno presentes en el fruto, en consecuencia, impide su acción. La prevención de la acción del etileno resultó en la ausencia de respuesta del etileno, provocando así varios procesos fisiológicos como el retraso en la maduración del fruto (Sisler *et al.*, 1997).

El 1-MCP  $\pm$  Q tuvieron efectos en la producción de etileno tanto a temperatura ambiente como almacenados a 18 °C. Las gráficas indicaron que el testigo alcanzó los valores más altos y tuvo una tendencia descendente a medida que avanza la maduración hacia la senescencia. A temperatura ambiente hubo diferencias significativas entre el testigo y los demás tratamientos (500 y 1000 nLL<sup>-1</sup>), el pico más alto del testigo se obtuvo a los 9 d, de un valor de 0.15 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. No hubo diferencias significativas en el primer y tercer periodo de refrigerado. En el segundo periodo de refrigerado, hubo diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento de 1000 nLL<sup>-1</sup>. El valor máximo del testigo fue de 0.07 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

Un incremento en la generación de etileno funciona como un catalizador para la maduración, ocasionando una producción autocatalítica. Esta acción conduce a alteraciones en el color, textura, aroma, sabor y otras propiedades bioquímicas, físicas y fisicoquímicas de la fruta (Hiwasa-Tanase y Ezura, 2014).

Espinal Hernández, (2018) en frutos de papaya recubierto de quitosano y 1-MCP reportó una producción oscilada entre 0.043.5 a 0.074.6 mL Kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, y tras 12 días de almacenamiento, se notaron variaciones importantes entre los otros tratamientos.

Balaguera López et al. (2016) encontraron en frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) tratados con 1-MCP en tres niveles de dosis (0.3; 1 y 3  $\mu$ L L<sup>-1</sup>) y tiempos de exposición (2, 12 y 24 horas), la producción de etileno disminuyó de 3 a 6 días, para luego mostrar un aumento dramático de 9 a 12 días. Durante el almacenamiento, se comprobó que las concentraciones de 1-MCP de 1 y 3  $\mu$ L L<sup>-1</sup> disminuyeron considerablemente la producción de etileno.

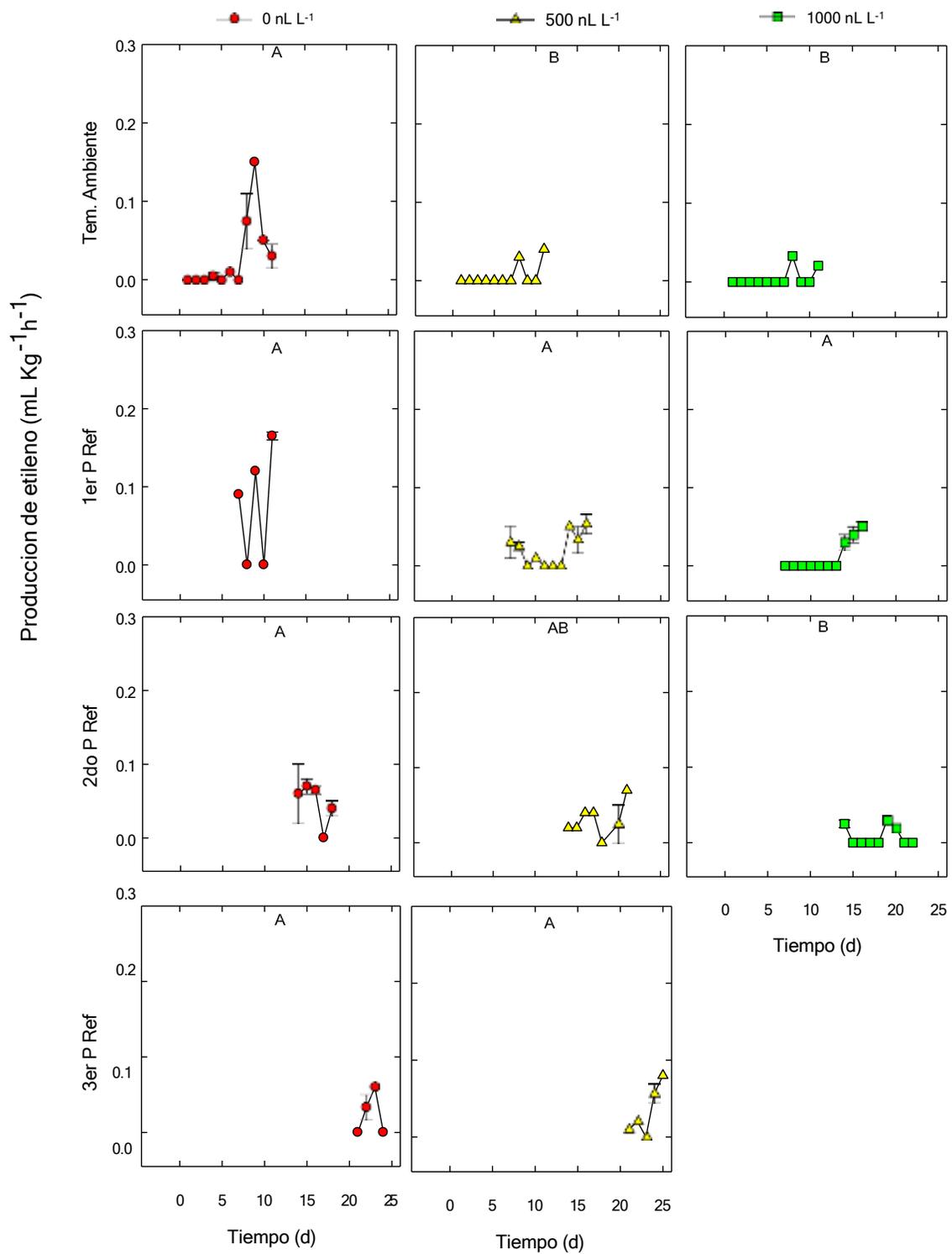


Figura 7. Producción de etileno de ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' tratadas con 1-MCP + Quitosano y a Temp. Amb. de  $25 \pm 1$  °C y 1er P Ref., 2do P Ref. y 3er P Ref. almacenados por a 18°C. Cada punto simboliza la media de 5 observaciones y su error estándar correspondiente.

### 4.3 Variables bioquímicas

#### 4.3.1 Sólidos Solubles Totales (SST)

Hubo un incremento en los sólidos solubles totales en todos los tratamientos evaluados (Figura 6). A temperatura ambiente, en el testigo se obtuvieron los valores mayores, alcanzando hasta 26 °Brix a los 10 d, no así los frutos donde se aplicó 1-MCP  $\pm$  Q, donde en el mismo periodo alcanzaron entre 17 y 18 °Brix (Figura 5 A).

Parecido comportamiento observado cuando los frutos se almacenaron por 7 y 14 d a 18 °C, ya que al salir los frutos testigo incrementaron los SST hasta valores entre 21 y 24 °Brix, por otro lado, los frutos tratados estuvieron entre 13 y 20 °Brix, confirmando que la aplicación de este regulador de la maduración retrasó significativamente este proceso en la ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ (Figura 5 B y C).

Finalmente, en los frutos almacenados por 21 d, los SST en todos los tratamientos evaluados estuvieron entre 18 y 22 °Brix y sin detectarse diferencias significativas entre ellos, esto sugiere que la temperatura de almacenamiento no impidió el proceso de maduración y el impacto del 1-MCP  $\pm$  Q no se hizo perceptible (Figura 5 D).

García-González et al. (2016), en su investigación de la ciruela mexicana “Cuernavaqueña”, cosechadas 1/2 verdes (cambiantes) conservadas a 5 °C por 5 días, inicialmente, tuvieron valores de 13.7 °Brix, por otro lado, las conservadas por 10 días tuvieron valores iniciales de 16.6 °Brix después de salir del refrigerador. Suárez-Vargas (2018) observó un incremento significativo en la concentración de sólidos solubles totales (SST) desde la fase verde (5.83 °Brix) hasta la fase madura (23.9 °Brix), resultados que son similares a los encontrados en esta investigación.

Espinal-Hernández *et al.*, (2021), reportaron en frutos de pitaya (*Hylocereus undatus*) sin espinas almacenados a 11 °C y tratados con 1-MCP  $\pm$  Q sin espinas contra el testigo almacenados a temperatura de 11 °C, mostraron una diferencia significativa donde a los 3 d, tuvieron valores de 11.5 y 10.5 % °Brix y a los 15 d tuvieron valores de 10 .5 y 9. 5% testigo y 1-MCP  $\pm$  Q respectivamente. Esta tendencia ligeramente descendente sin mayores cambios durante el periodo de almacenamiento, debido a que los frutos fueron cosechados cuando ya habían llegado a estado de madurez organoléptica. Dicho comportamiento que coincide con la tendencia reportada en esta investigación.

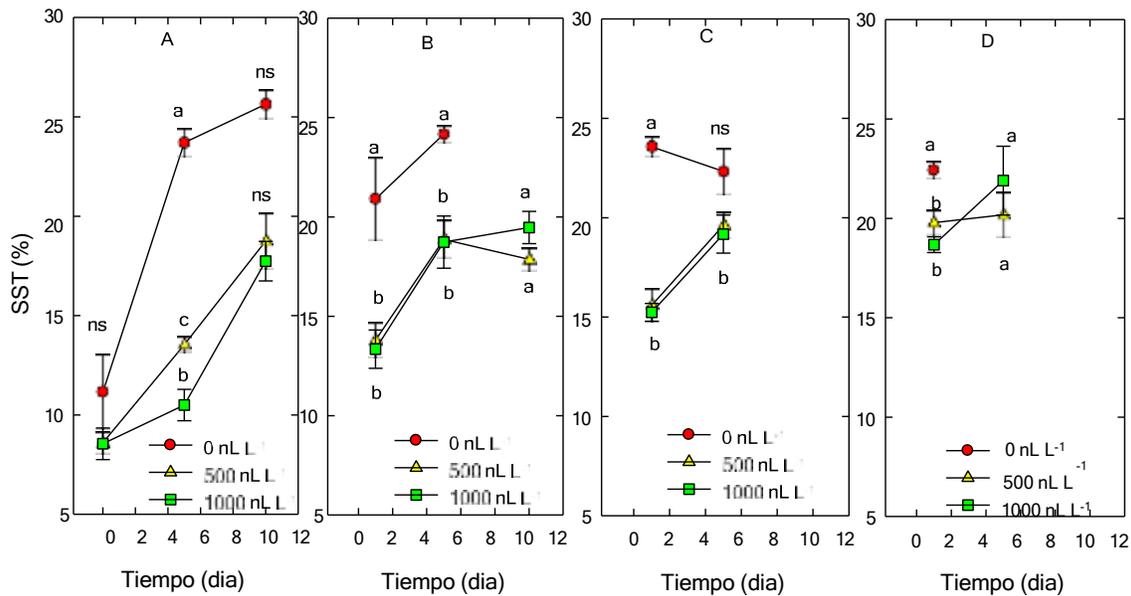


Figura 8. Contenido de sólidos solubles totales de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP + Quitosano y almacenadas por 0 (A) a  $25\pm 1$  °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C. Cada punto simboliza la media de 6 observaciones y su error estándar correspondiente.

#### 4.3.2 Acidez titulable (AT)

Se observaron respuestas variables en la acidez titulable, con una tendencia descendente a medida que pasaron los días en los diferentes tratamientos tanto a temperatura ambiente (23 °C; 65% HR) como en los diferentes periodos de almacenamiento: 7, 14 y 21 días a 18 °C y 80 % HR.

La acidez titulable se mantuvo entre 0.7 y 0.8 % en los frutos testigo a temperatura ambiente (Figura 7 A), similar comportamiento se observó en los tratamientos de 500 nL L<sup>-1</sup> los cuales tuvieron valores entre 0.8 y 0.9 % (Figura 7 A). No así, los frutos donde se aplicó 1000 nL L<sup>-1</sup> que alcanzaron hasta 0.95 % después de 5 d (Figura 7 A). Esto sugiere que la aplicación de 1-MCP mantuvo la acidez titulable con valores mayores por más tiempo. En el almacenamiento a 18 °C por 7-21 d se mantuvo la acidez titulable cuando se aplicó 500 o 1000 nL L<sup>-1</sup>, aunque se detectaron pocas significancias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ) (Figuras 7 B y D).

Díaz-Mula *et al.*, (2011); reportaron un lento descenso de la acidez titulable, lo cual puede decir que los ácidos orgánicos se seguían descomponiendo paulatinamente. La disminución

de la acidez titulable durante el almacenamiento postcosecha de ciruelas se ha atribuido al uso de ácidos orgánicos como sustratos para el metabolismo respiratorio en frutos desprendidos.

Suárez Vargas, (2018) reportaron valores de 0.48 % a 0.27 % en pulpa y de 0.42 % a 0.23 % en epicarpio (promedio 0.45-0.25 %) que se disminuyeron significativamente y presentan un patrón decreciente conforme progresa la maduración de los frutos. De la misma forma, Tránsito, (2023) mencionó el mismo comportamiento regular a temperatura ambiente y como a refrigeración por 12°C durante los días de 5, 10 y 15 d.

En frutos de pitaya recubiertos de quitosano ± cera de abeja y quitosano ± cera de candelilla tuvieron resultados de 18 % a los 12 días de almacenamiento (Espinal -Hernández, 2018). Por otro lado, Maldonado-Astillo (2014) reportó valores que oscilan entre 0.3-0.5 % en la ciruela mexicana variedad Cuernavaqueña de la estación húmeda, dichos resultados son similares a los que se encontraron en esta investigación.

Durante el proceso de maduración aumenta el nivel de acidez titulable. Los niveles de ácido orgánico inicialmente aumentan y alcanzan su valor máximo, luego disminuyen lentamente cuando maduren. El 1-MCP bloquea los receptores de etileno, de modo que se inhibe la descomposición de los ácidos orgánicos y la síntesis de ácidos durante el proceso de

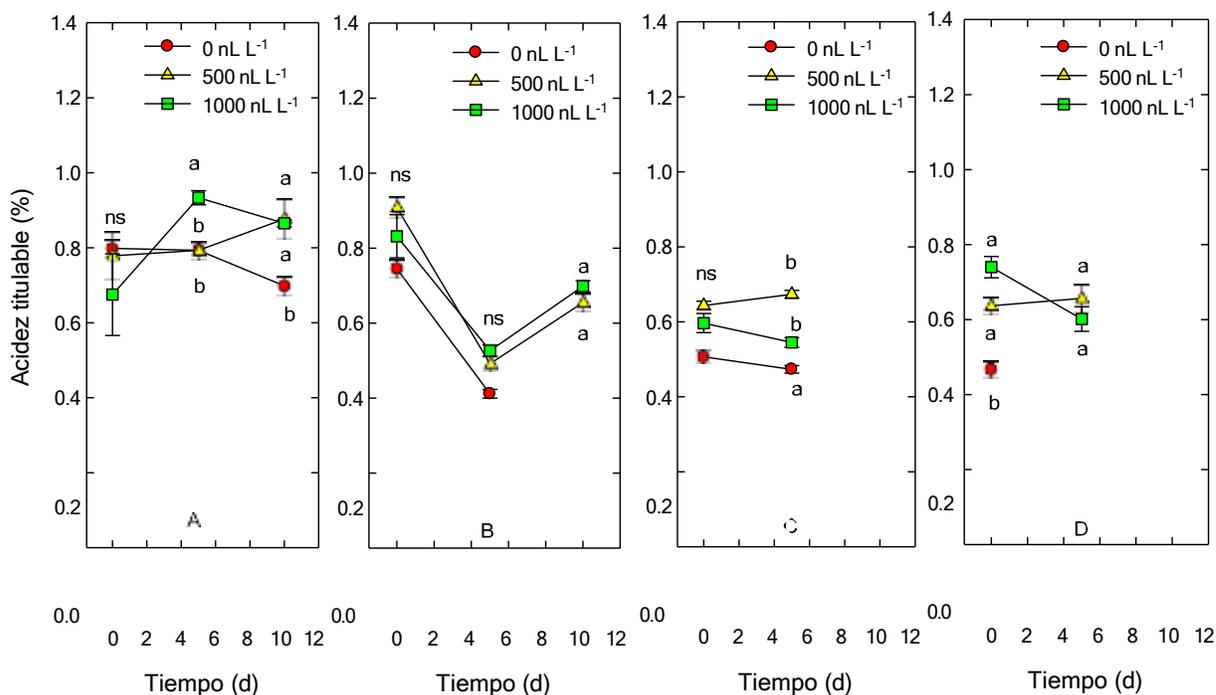


Figura 9. Porcentaje de Acidez Titulable de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP + Quitosano y almacenados por 0 (A) a 25±1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C. Cada punto simboliza la media de 6 observaciones y su error estándar correspondiente.

### 4.3.3 Índice de sabor (IS)

El índice de sabor indicó un comportamiento similar tanto a temperatura ambiente como en refrigeración a 18°C con una tendencia ascendente mientras que avanzó la maduración de los frutos, siendo el testigo alcanzó los valores superiores en todos los tratamientos (Figura 7 A). La misma tendencia se observó en los frutos almacenados por 7, 14 y 21 d a 18 °C (Figura 8 B, C y D). Lo anterior sugiere que el 1-MCP redujo el índice de sabor, es decir fueron menos dulces, con mayor tendencia a lo amargo.

De acuerdo con Velázquez et al. (2016), la relación entre la SST/AT señala la que tan dulce es el fruto, por lo que un incremento en este valor se asocia a una reducción de la acidez y un aumento en el contenido total de sólidos solubles.

Suárez Vargas et al. (2018), informaron que en la ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ el índice de

sabor (IS) mexicana varió significativamente entre las fases de maduración, oscilando entre 12.35 a 87.62 y 18.47 a 105.16, respectivamente, en pulpa y epicarpio

(promedio 15.41-96.39 en pulpa y epicarpio). Conforme que se maduraron los frutos el índice de sabor se incrementó debido a una disminución de la acidez titulable (esta disminución puede deberse a la conversión de ácidos orgánicos en azúcares durante el metabolismo respiratorio) e incremento de los SST; similar comportamiento encontrado en este trabajo.

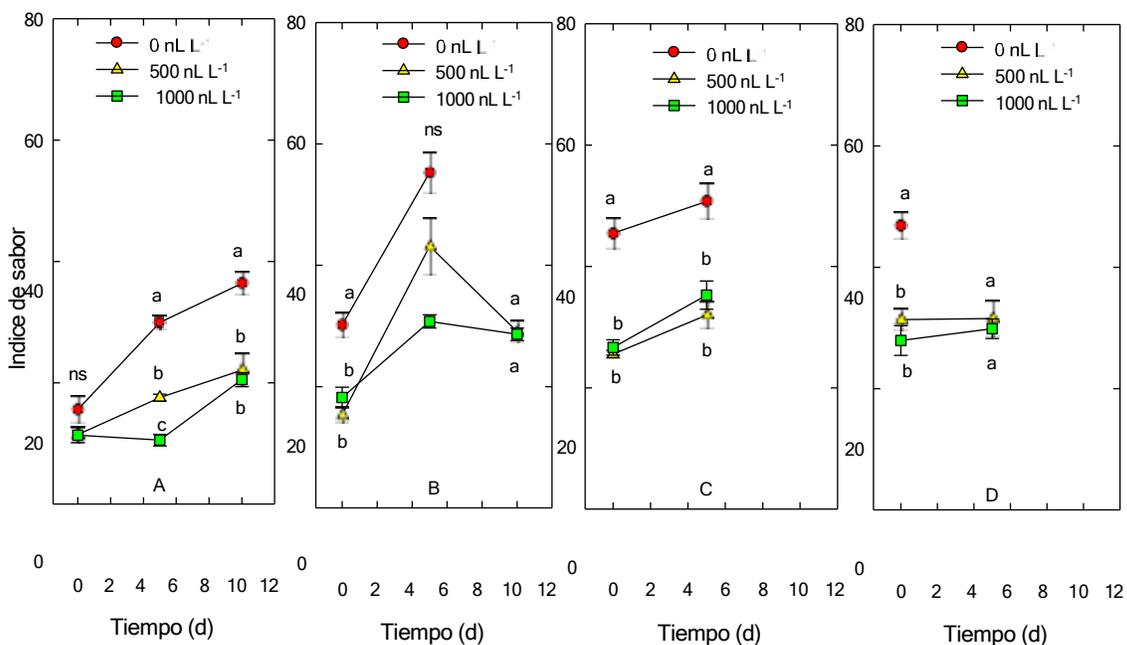


Figura 10. Índice de Sabor de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP  $\pm$  Q y almacenadas por 0 (A) a 25 $\pm$ 1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C. Cada punto simboliza la media de 6 observaciones y su error estándar correspondiente.

#### 4.3.4 Azúcares

Inicialmente, en los frutos donde no se aplicó 1-MCP  $\pm$  Q, los azúcares solubles se incrementaron hasta 65 mg g<sup>-1</sup> a los 10 d en los frutos mantenidos a temperatura ambiente, mientras que, en los frutos tratados, el contenido de azúcares se incrementó hasta 40 mg g<sup>-1</sup> en este mismo lapso, lo que sugiere un retraso debido a la aplicación de 1-MCP  $\pm$  Q (Figura 8 A).

El almacenamiento a baja temperatura retrasó la acumulación de azúcares cuando los frutos se almacenaron por 7 d, y no se detectó diferencias significativas entre los tratamientos de 500 y 1000 nL L<sup>-1</sup>, ya que los azúcares se mantuvieron entre 20 y 40 mg g<sup>-1</sup> (Figura 8 B).

Los frutos almacenados por 14 d a 18 °C mostraron menor acumulación (entre 22 y 25 mg g<sup>-1</sup>) cuando se aplicó 1-MCP ± Q, en comparación con los frutos testigos ya que los azúcares fueron significativamente mayores, entre 38 y 40 mg g<sup>-1</sup> (Figura 8 C). Similar comportamiento mostrado en los frutos almacenados por 21 d a 18 °C (Figura 8 D), ya que al terminar su periodo de almacenaje los frutos donde no se aplicó 1-MCP ± Q tuvieron significativamente mayores contenidos de azúcares, 50 mg g<sup>-1</sup>, mientras que en los frutos tratados el contenido de los azúcares estuvieron entre 35 y 38 mg g<sup>-1</sup> (Figura 8 D).

Un aumento en el contenido total de azúcares es un indicador químico de que se ha producido la maduración de la fruta. El 1-MCP actúa bloqueando los receptores de etileno que estimulan la actividad del ATP para proporcionar energía para un metabolismo continuo. Mientras tanto, la capa de quitosano que cubre la superficie de los frutos inhibe la absorción de O<sub>2</sub> y mantiene altos niveles de CO<sub>2</sub> en los frutos que inhibe la respiración y producción de etileno. (Olivares-Tenorio *et al.*,2017; Xiao *et al.*,2018).

Salazar-Díaz (2018) reportó un incremento de azúcares totales en los frutos del ecotipo “Amarilla”, donde los frutos testigo cosechados en madurez <sup>3</sup>/<sub>4</sub> alcanzaron valores de 91.56 mg g<sup>-1</sup> de peso fresco, por otro lado, los frutos <sup>1</sup>/<sub>2</sub> verde tuvieron valores de 90.03 mg g<sup>-1</sup> de peso fresco y los frutos verdes alcanzaron valores de 67.81 mg g<sup>-1</sup> de peso fresco, sugiriendo que la etapa de madurez en que se cosecha afecta la acumulación de azúcares en postcosecha.

Álvarez-Vargas *et al.* (2019) evaluaron el desarrollo del fruto de la ‘Cuernavaqueña’ y determinaron que en la cosecha o madurez fisiológica alcanza 79.9 mg g<sup>-1</sup> de peso fresco. En el presente trabajo solo los frutos almacenados a temperatura ambiente llegaron a los 65 mg g<sup>-1</sup> lo que sugiere que el almacenamiento a baja temperatura y la aplicación de 1- MCP ± Q inhibieron parcialmente la acumulación de los azúcares totales.

Por otro lado, Maldonado-Astudillo *et al.*, (2014) reportaron del trabajo de Liu *et al.*, (1999) valores que alcanzaron los 176 a 182 mg g<sup>-1</sup> después de los seis días de almacenamiento, valores muy superiores comparados con esta investigación en la ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ lo que significa que se necesita un sabor adecuado alcanzado después de la cosecha.

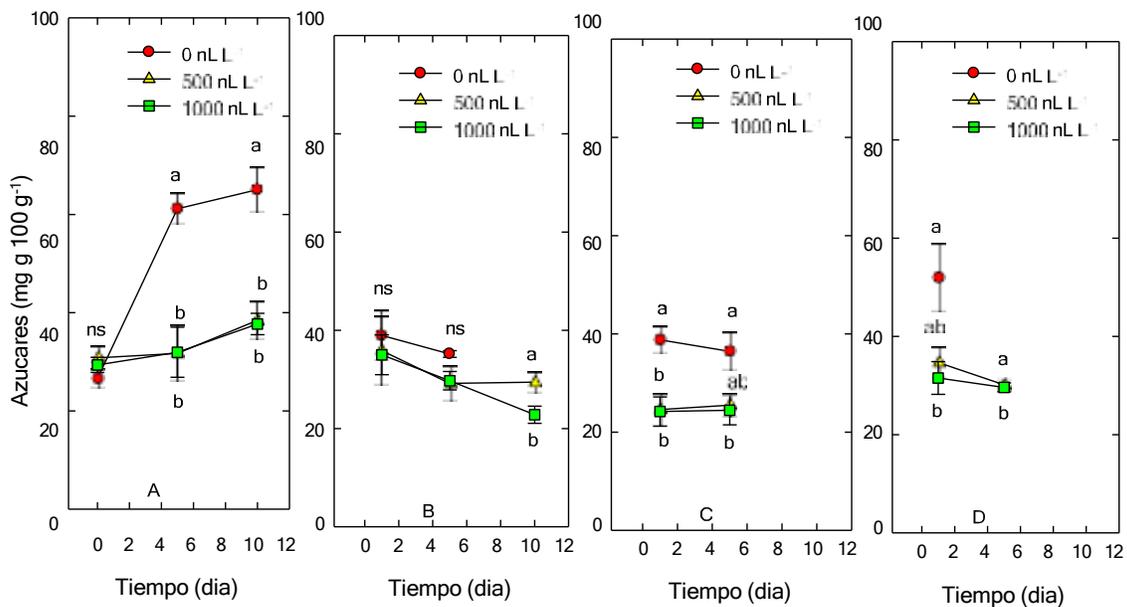


Figura 11. Contenido de azúcares totales de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-1-MCP  $\pm$  Q y almacenados por 0 (A) a  $25 \pm 1$  °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C. Cada punto simboliza la media de 6 observaciones y su error estándar correspondiente.

#### 4.3.5 Antocianinas

Las antocianinas mostraron que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos (0, 500, 1000 nL L<sup>-1</sup>) tanto a temperatura ambiente como en los periodos de almacenamiento a 18°C excepto a los 21 d donde el testigo tuvo el valor máximo de 0.56 mgEC<sub>3</sub>GL<sup>-1</sup> y mientras que los frutos tratados con 500 y de 1000 nL L<sup>-1</sup> alcanzaron valores entre 0.314 y 0.465 mgEC<sub>3</sub>GL<sup>-1</sup> (Figura 9).

Sollano-Mendieta *et al.*, (2021) reportaron en ciruela mexicana “Cuernavaqueña” antes y después de una digestión in vitro valores de  $3.40 \pm 0.26$  mgEC<sub>3</sub>GL<sup>-1</sup>. Estos resultados coinciden con los valores encontrados en esta investigación. Liu *et al.*, (2021) informaron que el recubrimiento combinado de ácido ascórbico y quitosano en ciruelas tenía un contenido de antocianinas mucho menor en comparación con las frutas sin recubrimiento.

La reducción en los niveles de antocianinas puede haber ocurrido como resultado de la degradación por enzimas endógenas presentes en tejidos vegetales, como glucosidasas o polifenol oxidasa (Silva,

2010). El oxígeno también puede provocar que los mecanismos de

oxidación degraden las antocianinas, y también se deterioren debido a enzimas y azúcares, compuestos metálicos y complejos con muchos componentes diferentes, como proteínas, ácidos nucleicos, ácidos orgánicos y polisacáridos (Mota *et al.*, 2016).

Dantas, (2017) concluyó que las diferencias no significativas en los niveles de antocianinas dependiendo de la aplicación de 1-MCP demuestra que el metabolismo del fruto no fue afectado por el tratamiento.

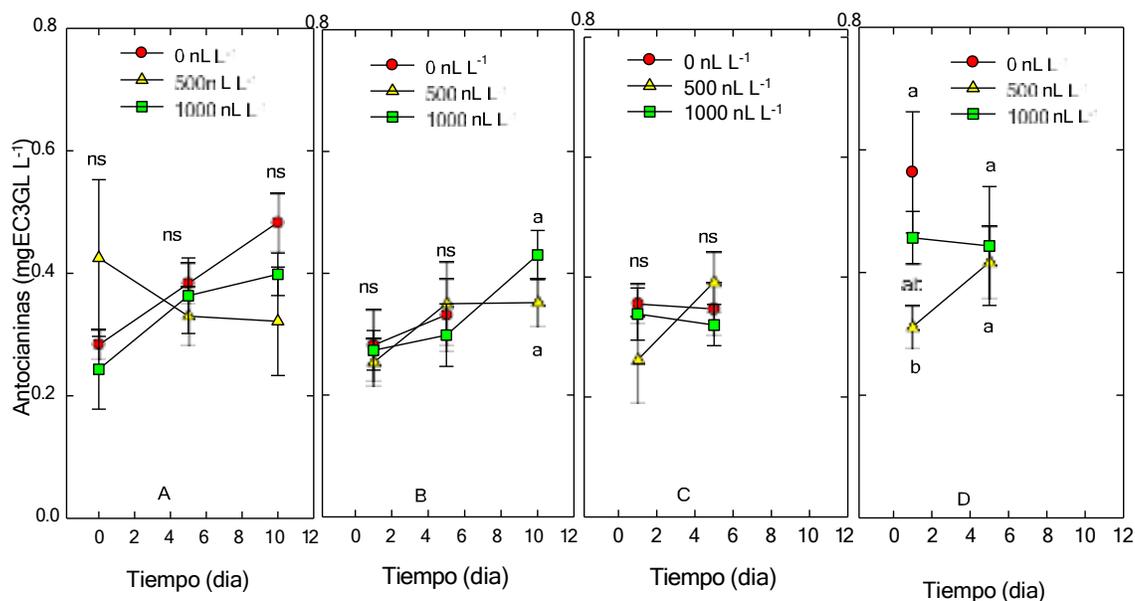


Figura 12. Contenido de Antocianinas de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Q y almacenados por 0 (A) a 25±1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C. cada punto simboliza la media de 6 observaciones y su error estándar correspondiente.

#### 4.3.6 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos en *Spondias purpurea* L. funcionan como antioxidantes naturales y para la protección contra enfermedades crónico-degenerativas cuando se consumen. Además, en algunos fenómenos fisiológicos tienen tendencia a inducir el pardeamiento

durante el procesamiento industrial e interferir en el sabor de la fruta (Maldonado-Astudillo *et al.*, 2014; Tiburski *et al.*, 2011).

El contenido de compuestos fenólicos a los 5 días a temperatura ambiente mostró diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo (Figura 10 A). Los frutos almacenados a 18 °C durante los días 7, 14 y 21 tratados con 1-MCP  $\pm$  Q o sin aplicación no mostraron diferencias significativas entre ellos. Hubo un aumento en la concentración de los compuestos fenólicos mientras avanzó la maduración (Figura 10 C)

Suárez Vargas *et al.* (2018) reportaron concentraciones de fenoles totales en la pulpa de la ciruela mexicana de 89.21 y 77.7 mg EAG 100 g<sup>-1</sup> en los frutos con madurez ½ verde y ¾ de madurez respectivamente, en la etapa de plena madurez mostró la mayor concentración total en el epicarpio con 190.6 mg EAG 100 g<sup>-1</sup>. Por otra parte, Tránsito Damaso, (2023), reportó que no hubo diferencias significativas en ciruela mexicana estación húmeda “Cuernavaqueña” tratada con 1-MCP cuyos valores entre 141.9-147.5, 156.7-170.0 y 186.5-192.4 mg EAG 100 g<sup>-1</sup> para los tratamientos de 0, 500 y 1000 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP respectivamente; estos resultados son similares a los que se encontró en dicha investigación.

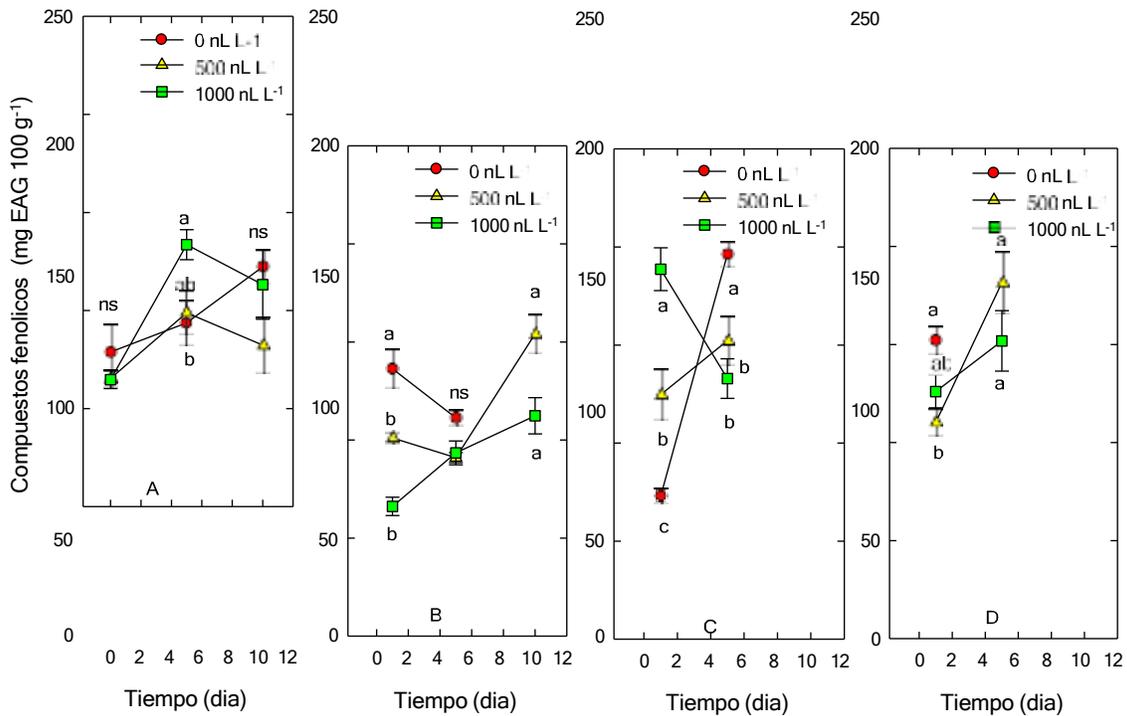


Figura 13. Contenido de compuestos fenólicos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP  $\pm$  Q y almacenadas por 0 (A) a 25 $\pm$ 1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C. cada punto simboliza la media de 6 observaciones y su error estándar correspondiente.

#### 4.3.7 Actividades Antioxidantes

Los frutos cuando se aplicó 1-MCP  $\pm$  Q tuvieron efectos significativos en las diferentes metodologías usadas para determinar las actividades antioxidantes. En el radical FRAP hubo diferencias significativas tanto a temperatura ambiente como almacenamiento a 18 °C, excepto a los 21 d (Figura 12 D). Las actividades antioxidantes evaluadas por el método FRAP en general se incrementó a medida que avanza en proceso de maduración, los frutos conservados a temperatura ambiente no presentaron variaciones entre los diferentes tratamientos (Figura 12 A). No así en los frutos almacenados por 7 y 14 d, donde los frutos testigo alcanzaron valores mayores una vez de salir del almacenamiento a 18 °C (Figura 12 B y 12 C). Igual comportamiento observado en los frutos almacenados a 21 d, sólo que los frutos testigo mostraron corta vida postcosecha (Figura 12 D).

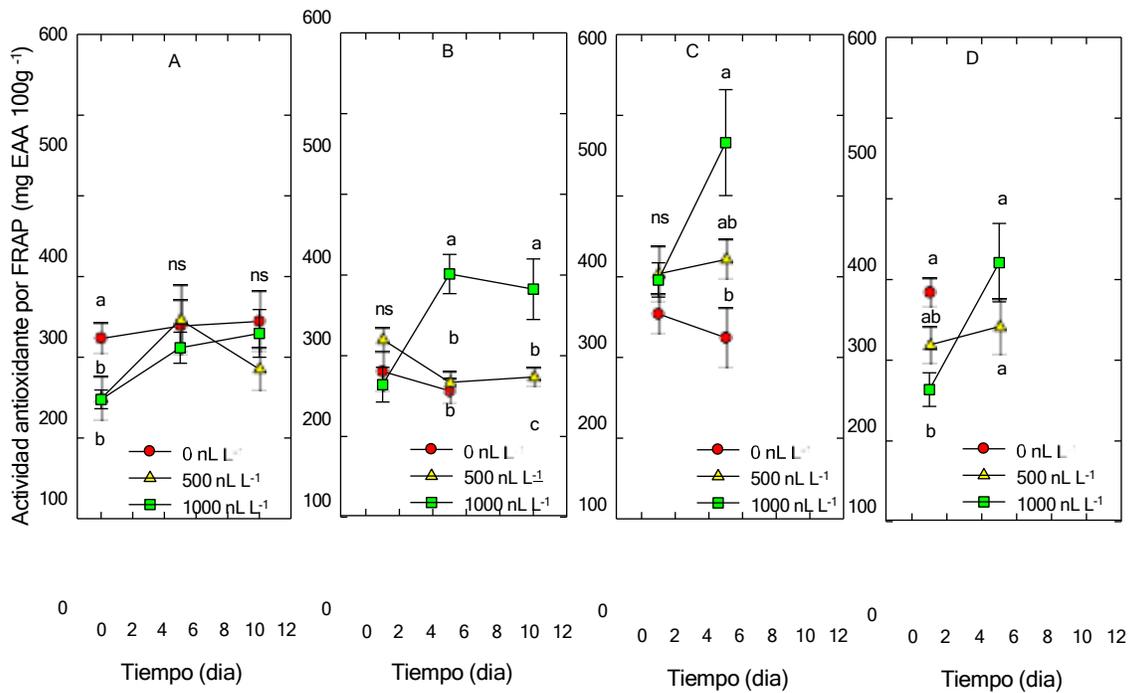


Figura 14. Actividad antioxidante evaluada por el método de radical FRAP de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Q y almacenados por 0 (A) a 25±1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C. Cada punto representa la media de 6 observaciones y su error estándar.

Las actividades antioxidantes evaluadas por ABTS mostraron un comportamiento descendente, es decir, a medida que avanzaba la maduración las actividades antioxidantes disminuían. En los frutos conservados a temperatura ambiente la mayor actividad se registró el primer día del tratamiento con 1000 nL L<sup>-1</sup> y los frutos testigo mostraron el valor menor (Figura 13 A). El almacenamiento de los frutos por 7, 14 y 21 d los frutos testigo mostraron la menor actividad y mayor pronunciada su disminución en postcosecha (Figura 13 B, C y D).

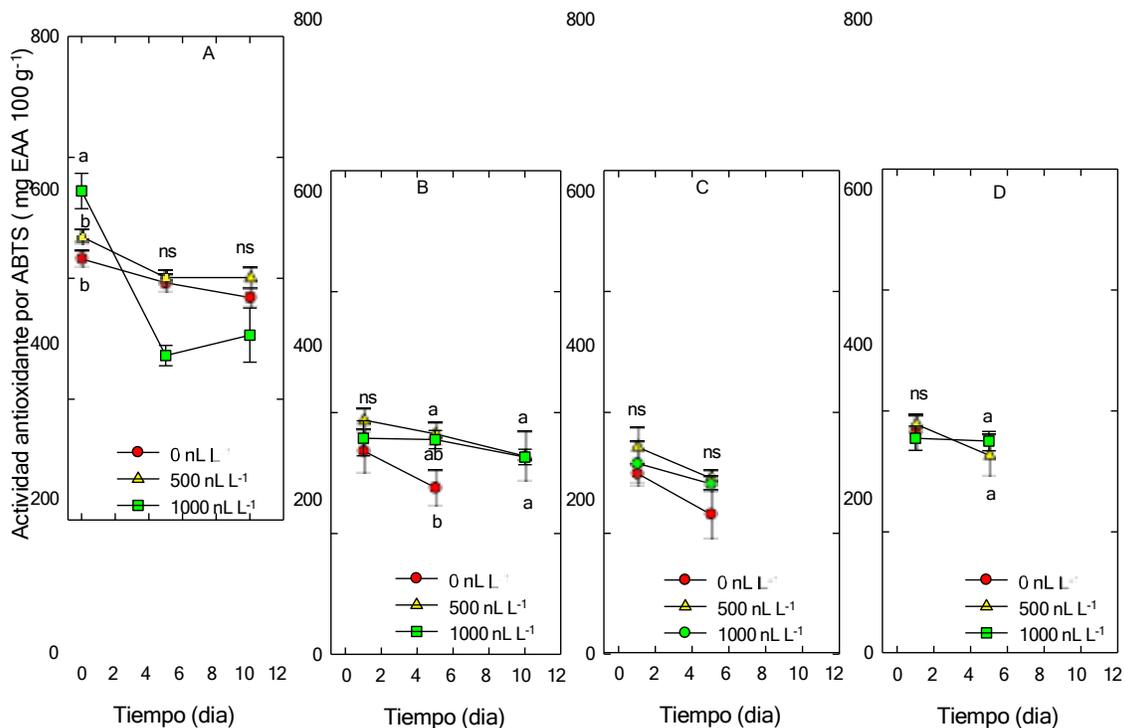


Figura 15. Actividad antioxidante evaluada por método del radical ABTS de ciruela mexicana ‘cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP  $\pm$  Q y almacenados por 0 (a) a  $25\pm 1$  °C y 7 (b), 14 (c) y 21 (d) a 18°C. Cada punto simboliza la media de 6 observaciones y su error estándar correspondiente.

A temperatura ambiente y frutos almacenados por 7 días, hubo una tendencia descendente de la actividad antioxidante determinado por método de DPPH (Figura 14 A y B), mientras que aumentó en frutos almacenados por 14 y 21 días a 18 °C (Figura 14 C y D). No se observó una tendencia clara entre tratamientos.

Álvarez-Vargas et al., (2019) informaron que el método de FRAP incrementó la actividad antioxidante en la ciruela mexicana "Cuernavaqueña", registrando un promedio de 154.31 mg EAA 100 g<sup>-1</sup>.

Los resultados reportados por Spínola *et al.* (2015) de las actividades antioxidantes determinados por el método ABTS en diferentes frutos tropicales como chirimoya, lima, papaya, maracuyá y fresa tuvieron valores entre 121,2 y 316,15 AAE 100 g<sup>-1</sup> son inferiores a los que se encontró en esta investigación por dicho método.

De igual forma, Suárez Vargas *et al.*, (2017) informaron que en el método de ABTS, encontraron un aumento de la actividad antioxidante en la pulpa en estados  $\frac{1}{2}$  verde y  $\frac{3}{4}$  maduro (61.5-73.7 mg EAA

100 g-1), mientras que por el método de FRAP, la actividad

antioxidante disminuye en la pulpa a medida que avanza la maduración ( $\frac{1}{2}$  verde 90.48 mg EAA 100 g<sup>-1</sup> y  $\frac{3}{4}$  maduro; 73.69 mg EAA 100 g<sup>-1</sup>), lo contrario ocurrieron en esta investigación, a medida que pasan los días, los resultados encontrados mediante el método de ABTS tuvieron un comportamiento descendente mientras que por el método de FRAP tuvieron una tendencia a aumentar mientras pasan los días. Esto podría atribuirse a la presencia de niveles altos de compuestos bioactivos como carotenoides y fenoles. También reportaron que la actividad antioxidante se relaciona con el contenido de fenoles, flavonoides y carotenoides; no obstante, puede haber otros compuestos con propiedades antioxidantes (vitaminas, enzimas, minerales) en la matriz de la muestra (Serrano *et al.*, 2007).

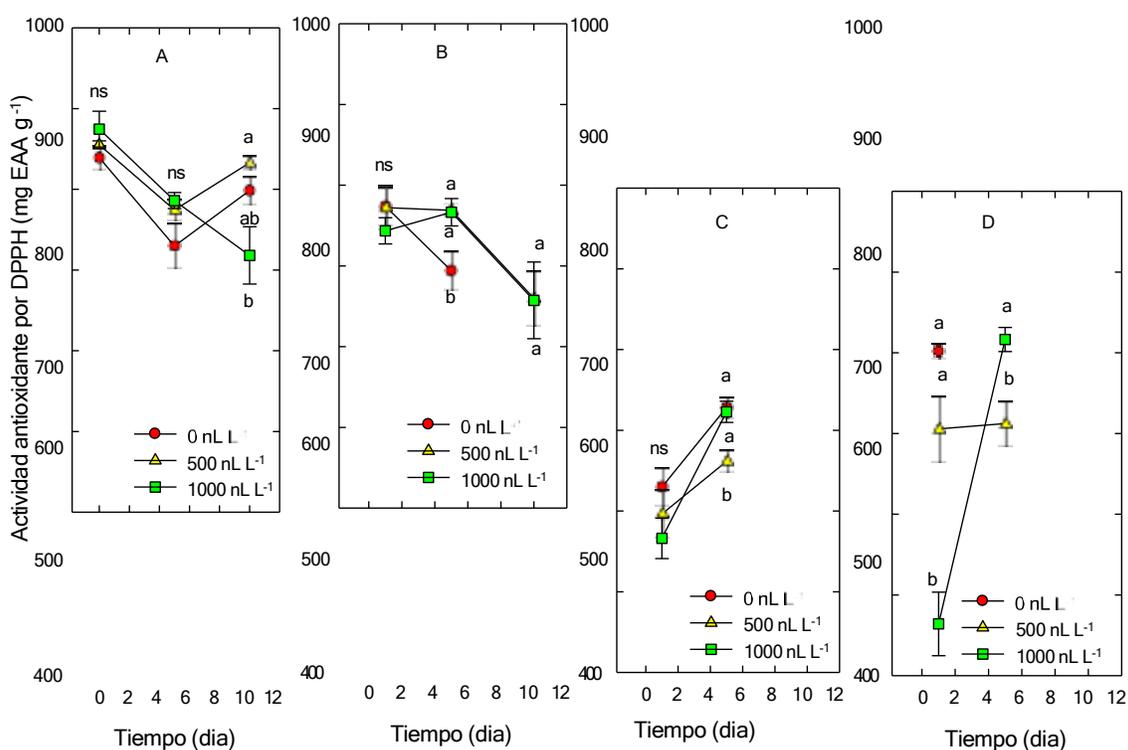


Figura 16. Actividad antioxidante evaluada por método del radical DPPH de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ tratadas con 1-MCP ± Q y almacenados por 0 (A) a 25±1 °C y 7 (B), 14 (C) y 21 (D) a 18°C. Cada punto simboliza la media de 6 observaciones y su error estándar correspondiente.

#### 4.4 Correlación de variables

A temperatura ambiente, existió una correlación positiva entre el porcentaje de los sólidos solubles totales y el índice de sabor; lo que sugiere una fuerte asociación entre estas dos variables, ya que a mayor contenido de SST mayor sensación de dulzura lo que explica un bajo contenido de ácidos orgánicos que generan la acidez titulable. Esto podría deberse a la hidrólisis de almidón a azúcares simples.

Los parámetros de color luminosidad y cromaticidad mostraron una correlación entre sí, debido al avance simultáneo del color amarillo y rojo durante el proceso de maduración. Los cambios observados en los frutos de ciruela mediante la aplicación de recubrimiento quitosano que implica un retraso en la tasa de maduración debido a la supresión de las actividades metabólicas que finalmente condujeron a la inhibición de la síntesis de antocianinas (Valero et al. ,2013). Blankenship & Dole (2003) notaron que el 1-MCP aplaza la degradación de la clorofila y las variaciones de color en una extensa diversidad de especies de frutas y hortalizas.

A partir de los 7 d después de almacenamiento a 18 °C y 80 % HR, los radicales ABTS y DPPH; ABTS y SST mostraron una fuerte correlación entre sí. Pues, un incremento en la producción de etileno se asocia con un aumento de la tasa de respiración, este proceso es necesario para lograr una acumulación de pigmentos, síntesis de compuestos aromáticos y ablandamiento general del fruto que influyen en los atributos de calidad del fruto (Martínez -González et al., 2017; Espinal et al., 2021).

**Tabla 2. Correlación de variables a temperatura ambiente, 1er periodo de refrigeración (7d), 2do periodo de refrigeración (14 d), 3er periodo de refrigeración (21 d).**

<b>Variables</b>	<b>T Amb.</b>	<b>1<sup>er</sup> P Ref.</b>	<b>2<sup>do</sup> P Ref</b>	<b>3<sup>er</sup> P Ref</b>
L* vs C*	0.91***	0.86**	0.91	0.9
L * vs h	- 0.78*	0.79*	-	0.92
IS vs AT	0.99***	-	0.78	-
IS vs SST	0.99***	0.87**	-	-
DPPH vs ABTS	-	0.86**	-	-
DPPH vs AT	-	0.78*	-	-
DPPH vs SST	-	0.75*	-	0.9
DPPH vs Azúcares	-	0.75*	-	0.77
DPPH vs Compuestos fenólicos	-	-	-	0.82
Comp. Fenol. vs SST	-	-	-	0.81
ABTS vs Azúcares	-	0.74	-	-
Textura vs AT	-	0.77	-	-
Textura vs SST	-	-	-	-
Antocianinas vs SST	-	-	-	-
Antocianinas vs Azúcares	-	-	-	0.76

## **5. CONCLUSIÓN**

De acuerdo con los objetivos propuestos en dicho estudio, se determinó que la aplicación de 1-MCP  $\pm$  Q en las diferentes concentraciones de dosis (0, 500 y 1000 nL L<sup>-1</sup>) inhibe la producción de etileno y respiración durante el proceso de maduración de la ciruela cuernavaqueña, así como la síntesis de pigmentos y la pérdida de firmeza. Por otro lado, esa combinación (1-MCP  $\pm$  Q) disminuye la acumulación del contenido de sólidos solubles totales y azúcares totales, sin efecto definido en la acidez titulable, el contenido de fenoles totales y las actividades antioxidantes. Por ende, se recomienda continuar con las investigaciones para ampliar los conocimientos sobre la fisiología postcosecha de este ecotipo y su comportamiento respecto al 1-metilciclopropeno combinado con quitosano.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Albuquerque, E. M. B., Oliveira, E. N. A., Santos, D. C. (2010). Comportamento dos açúcares redutores em manga *in natura* armazenada em atmosfera modificada. *Tecnologia e Ciência Agropecuária* 4(3):27-31.
- Ali, A., Zahid, N., Manickam, S., Siddiqui, Y., Alderson, P. G., & Maqbool, M. (2013). Effectiveness of submicron chitosan dispersions in controlling anthracnose and maintaining quality of dragon fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 86.
- Alia Tejacal I., Astudillo M.Y., Núñez C.C., Valdez A.L., Bautista B.S, García V.E., Ariza F.R. & Rivera C.F. (2012) Caracterización de frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) del sur de México. *Fitotec. Mex.* 35(Núm. Esp. 5):21-26.
- Alia-Tejacal, I., Maldonado-Astudillo, Y. I., Núñez-Colín, C. A., Valdez-Aguilar, L. A., Bautista-Baños, S., García-Vázquez, E., Ariza-Flores, R., y Rivera-Cabrera, F. (2012). Caracterización de frutos de Ciruela Mexicana (*Spondias purpurea* L.) del sur de México. *Fitotecnia Mexicana*, 35(5), 21-26.
- Álvarez-Vargas JE, Alia-Tejacal I, Chávez-Franco SH, Colinas-León MT, Nieto-Ángel D, Rivera-Cabrera F, Aguilar-Pérez LA. (2017). Ciruelas mexicanas (*Spondias purpurea* L) de clima húmedo y seco: calidad, metabolitos funcionales y actividad antioxidante. *Interciencia* 42(10): 654-660.
- Álvarez-Vargas, J.E., Alia-Tejacal, I., Chávez-Franco, S.H., Colinas-León, M.T., Rivera-Cabrera D., Nieto-Ángel, Cruz L.A., Aguilar Pérez, L.A. & Pelayo, C.Z. (2019). Phenological stages and fruit development in the mexican plum ecotype 'Cuernavaqueña' (*Spondias purpurea* L.). *ISHS*, 74(4), 194-200. Doi:10.17660/th2019/74.4.
- Álvarez-Vargas, J.E., Alia-Tejacal, I. (2020). Abcisión de frutos en ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) 'Cuernavaqueña. *ACTA AGRÍCOLA Y PECUARIA*. <https://doi.org/10.30973/aap/2020.6.0061001> .
- Altube, H. A.; Ontivero, M. G.; Rivata, R. S.; Baghin, L.; Taborda, R. J. y Blanco, M. P. 2017. Aspectos fisiológicos durante la maduración que reflejan el momento adecuado de cosecha, mejorando la calidad organoléptica de los frutos de Duraznos cv. "Flavorcrest" (*Prunus persica* L. Batsch). *Rev. Inter. Bot. Exp.* 86(1):79-83.
- AOAC. (1998). Official Methods of Analysis.. *AOAC International, 16th edition.* , 1298.

- Arora, A. (2008). Biochemistry of flower senescence. En: Paliyath, G., D. Murr., A. Handa y S. Lurie (eds.). *Postharvest biology and technology of fruits, vegetables, and flowers. Wiley-Blackwell Publishing, New Delhi, India.*51-85
- Avitia, G. E., Castillo G. A. M., y Pimienta B. E. (2003). Ciruela mexicana y otras especies del género *Spondias* L. *Universidad Autónoma Chapingo*. Chapingo, Estado de México. 60 p.
- Balaguera Lopez, H. E., Martinez Cardenas, C. A., & Arevalo, H. (2016). Comportamiento poscosecha de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.): Efecto de diferentes de dosis y tiempos de exposicion al 1-metilciclopropeno. *Bioagro*, 21-28.
- Blankenship, S. M., & Dole, J. M. (2003). 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology*, 1-25.
- Bapat, V.A., Trivedi, P. K., Ghosh, A., Sane, V.A. Ganapathi, T.R & Nath, P. (2010). Ripening of fleshy fruit: Molecular insight and the role of ethylene. *Biotechnol. Adv.* 28, 94-107. Doi: 10.1016/j.biotechadv.2009.10.00.
- Bautista Baños, S., Díaz Pérez, J., Barrera Necha, L., & Bravo-Luna, L. (2003). postharvest study of red-mombin (*Spondias purpurea*) fruit during storage. *Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 5(2), 82-85.
- Bautista Baños, S., Hernandez Lopez, M., Guillen Sanchez, D., & Alia Tejacal, I. (2006). Influencia del recubrimiento con quitosano y la temperatura de almacenamiento en la calidad postcosecha y niveles de infeccion en la ciruela mexicana. *Iberoamericana de tecnologia postcosecha*, 7(2), 114-121.
- Bautista-Baños, S., Ventura-Aguilar, R. I., Correa-Pacheco, Z. & Corona-Rangel, M. L. (2017). Chitosan: a versatile antimicrobial polysaccharide for fruit and vegetables in postharvest-a review. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, **23(2)**, 103-121. DOI: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.11.030>.
- Bautista Baños, S., Hernandez Lopez, M., Guillen Sanchez, D., & Alia Tejacal, I. (2006). Influencia del recubrimiento con quitosano y la temperatura de almacenamiento en la calidad postcosecha y niveles de infeccion en la ciruela mexicana. *Iberoamericana de tecnologia postcosecha*, 7(2), 114-121.

- Bautista-Baños, S., Ventura-Aguilar, R. I., Correa-Pacheco, Z., & Corona-Rangel, M. L. (2016). Quitosano: un polisacárido antimicrobiano versátil para frutas y hortalizas en poscosecha. Yautepec, Morelos, Mexico. doi:doi: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.11.030>
- Bautista-Baños, S., Ventura-Aguilar, R., Correa-Pacheco,Z. & Corona-Rangel,M. (2017). Chitosan: a versatile antimicrobial polysaccharide for fruit and vegetables in postharvest - a review. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.11.030>.
- Berumen Varelal, G., Coronado Partidal, L., Ochoa Jiménez, V., Chacón López, M.A., & Gutiérrez Martínez, P. (2015). Effect of chitosan on the induction of disease resistance against Colletotrichum sp. in mango (*Mangifera indica* L.) cv. Tommy Atkins. *Investigación y Ciencia*. 23(66), 16-21.
- Benzie, I., & Strain, J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. . *Anal. Biochem.*, 239(1), 70-76.
- Brand, W., ME Cuvelier y C. Berset. 1995. Uso de un método de radicales libres para evaluar la actividad antioxidante. *LWT - Ciencia y tecnología de los alimentos* 28(1): 25-30.
- Cosme, C. R., da Silva-Dias, N., Silva, K. M. P., Silva, C. V. T., de Queiroz, Í. S. R., Rebouças, T. C., & dos Santos-Fernandes, C. (2017). Yield and quality of gália'melon grown in coconut fiber under different concentrations of macronutrients in the nutrient solution. *Idesia*, 35(4), 119-128.
- Cruz L.A. & Gutiérrez J.A.G (2012) Distribución geográfica del género Spondias en México. En Cruz LA, Pita DA, Rodríguez HB (Eds.) *Jocotes, Jobos, Abales o Ciruelas Mexicana. Universidad Autónoma Chapingo*. México. pp. 31-38.
- Dantas, E. da S., Rebouças, T. N. H., Luz, J. M. Q., & Amaral, C. L. F. (2017). Frutos de cultivares de morangueiros submetidos ao 1-mcp em temperatura refrigerada. *Scientia Plena*, 13(9). <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2017.090202>.
- Dantas, L.A.; Silva D.M.S.; Dantas, L.R.; De Sousa, B.S.A.; Schunemann, P.P.A. (2016). Development physiology of maturation and indication of harvest point of umbuguela tree fruits (*Spondias* sp.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38; 1 033-42.

- Díaz-Mula, H.M., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Serrano, M. & Valero, D. 2011. Modified atmosphere packaging of yellow and purple plum cultivars. 1. Effect on organoleptic quality. *Postharvest Biology and Technology* 61: 103-109.
- Dos Santos, R. S., Arge, L. W., Costa, S. I., Machado, N. D., de Mello-Farias, P. C., & Rombaldi, C. V. (2015). Genetic regulation and the impact of omics in fruit ripening. *Plant Omics*, 78-88.
- Duarte O. & Paull R.E. (2015) Exotic Fruits and Nuts of the New World. CABI. *Wallingford, UK*. 332 p.
- Engels, C., Gräter, D., Esquivel, P., Jiménez, V.M., Gänzle, M.G., Schieber, A., 2012.Characterization of phenolic compounds in jocote (*Spondias purpurea* L.) peels by ultra high-performance liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry. *Food Res. Int.* 46, 557-562.
- Espinal-Hernandez, P. (2018). Respuestas poscosecha de frutos de pitaya (*Stenocereus griseus* H.), con y sin espinas a tratamientos con 1-mcp y recubrimiento de quitosano. Mexico.
- Espinal-Hernández, P., Colinas-León, M. T., Barra-Moncada, M. C., Méndez-Zúñiga, S. M., & Corrales-García, J. (2021). Postharvest effects of 1-mcp and chitosan/oleic acid coating in pitaya (*Stenocereus griseus* H.). *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. doi:DOI: 10.56890/jpacd.v23i.322.
- Fortuny-Fernández, N. M., Ferrer, M. M. & Ruenes-Morales, M. 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, E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, México, Offset Larios, 217 p
- García-Mateos, M. d., Corrales-García, J., Cornejo-Vivar, T., & Hernández-Ramos, L. (2022). Recubrimiento biodegradable antifúngico a base de quitosano y aceite esencial de cítricos para la conservación de papaya (*Carica papaya* L.) en poscosecha. *Biotecnología y Ciencias Agropecuarias*, 17(2), 165-180. doi:<https://doi.org/10.29059/cienciauat.v17i2.1703>.

- García-Gonzalez, M., Alia-Tejacal, I., Rivera-Cabrera, F., Díaz de León-Sánchez, F., López-Martínez, V., & Pérez-Flores, L. J. (2016). Refrigeración de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) 'Cuernavaqueña'. *Acta agrícola y pecuaria*, 2(2), 27-33.
- Hajji, S., Younes, I., Affes, S., Boufi, S. & Nasri, M. (2018). Optimization of the formulation of chitosan edible coatings supplemented with carotenoproteins and their use for extending strawberries postharvest life. *Food Hydrocolloids*, 83(1), 375-392. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.013>.
- Hiwasa-Tanase, K., & Hiroshi, E. (2014). *Climateric and Non Climateric Ripening*. Tsukuba-Japan: CAB international.
- Hu, Z., Tang, C., He, Z., Lin, J., & Ni, Y. (2017). 1-Methylcyclopropene (MCP)-containing cellulose paper packaging for fresh fruit and vegetable preservation: a review. *BioResources*, 12(1), 2234-2248.
- INIA, (2003). Fisiología de la respiración y transpiración de frutas y hortalizas.
- Inestroza-Lizardo, C., Voigt, V., Muniz, A. C., Gomez-Gomez, H (2016). Métodos de enfriamiento aplicables a frutas y hortalizas enteras y mínimamente procesadas *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 17, núm. 2, 2016, pp. 149-161.
- Jiao, W., Shu, C., Li, X., Cao, J., Fan, X. & Jiang, W. (2019). Preparation of a chitosan-chlorogenic acid conjugate and its application as edible coating in postharvest preservation of peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 154(1), 129-136.
- Koziol, J. M. & Macía, M. (1998) Chemical composition, nutritional evaluation, and economic prospects of *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). *Econ. Bot.* 52:373-380
- Kumar, R., Khurana, A., & Sharma, A. K. (2014). Role of plant hormones and their interplay in development and ripening of fleshy fruits. *Exp. Bot.*, 45-61.
- Kumar, P., Sethi, S., Sharma, R. R., Srivastav, M., & Varghese, E. (2017). Effect of chitosan coating on postharvest life and quality of plum during storage at low temperature. *Scientia Horticulturae*, 226(13), 104-109.
- Lee, J.; Durst, R.W. & Wrolstad, R.E. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *J. AOAC Int.* 88(5):1269-1278.

- Li, C., Shen, W., Lu, W. J., Xie, J., & Chen, J. (2009). 1-MCP retrasó el ablandamiento y afectó la expresión de los genes XET y EXP en frutos de chirimoya cosechados. *Biología y Tecnología Poscosecha*, 254-259.
- Liu, C., Jin, T., Liu, W., Hao, W., Yan, L., & Zheng, L. (2021). Effects of hydroxyethyl cellulose and sodium alginate edible coating containing asparagus waste extract on postharvest quality of strawberry fruit. *LWT*, 148, 111770. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111770>
- Maldonado-Astudillo, Y.I., Alia Tejacal, I., Núñez-Colin, C.A., Jiménez Hernandez, J., Pelayo Zaldivar, C., López Martínez, V., et al. (2014) Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* and *S. mombin* L. *Scientia Horticulturae* 174: 193- 206.
- Martínez-González, M., Balois-Morale R., Alia Tejacal, I., Cortes -Cruz, M., Palomino-Hermosillo Y. & López-Gúzman G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* , 4075-4087.
- Maduwanthi, S. Marapana, R. (2019). Induced Ripening Agents and Their Effect on Fruit Quality of Banana. *International Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1155/2019/2520179x>.
- Miller, A. J. & Schaal, B. A. (2005). Domestication of a Mesoamerican cultivated fruit tree, *Spondias purpurea*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102 (36): 12801-12806. DOI: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0505447102>.
- Mohandas, A., Deepthi, S., Biswas, R. & Jayakumar, R. (2017). Chitosan based metallic nanocomposite scaffolds as antimicrobial wound dressings. *Bioactive Materials*, 3, 267-271.
- Montalvo-González, H. S., García, M., Mata-Montes de Oca & B. Tovar Gómez, B. (2011). Effect of light on Mexican plum stored under different storage conditions, *CyTA - Journal of Food*, 9:1, 65-70, DOI: 10.1080/19476331003642562
- Montero-Calderón, M., & Cerdas-Araya, M. (2012). Tropical and Subtropical Fruits: Postharvest Physiology, Processing and Packaging. *Tropical and Subtropical Fruit*, 17-33. doi:DOI:10.1002/9781118324097

- Morton J. (1987). Purple mombin. In: Morton JF, editor. Fruits of warm climates. Miami, Julia F. Morton. P. 242-245.
- Mota C., Santos M., Mauro R., Samman N., Matos A.S., Torres D., Castanheira I. (2016). Protein content and amino acids profile of pseudocereals. *Food Chemistry* 15: 55-61.
- Mubarok, S., Rahmán, a. m., Kamaluddin, N. n., & Solihin, E. (2022). impact of 1-Metilciclopropeno combined with chitosan on postharvest quality of tropical banana "Lady Finger". *International Journal of Food Properties*, 25(2), 1171-1185. doi:doi.org/10.1080/10942912.2022.2074028.
- Mujtaba, M., Mosri, RE, Kerch, G., Elsabee, MZ, Kaya, M., Labidi, J. y Khawar, KM (2019). Avances actuales en la producción de películas a base de quitosano para tecnología alimentaria: una revisión. *Revista Internacional de Macromoléculas Biológicas*, 121(1), 889-904. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.109>.
- Muñoz, L.C., Urrea, G.G.R., Jiménez, F.M., Rodríguez, J.G.C & Luna, S.G (2018). Efecto de las condiciones de liofilización en propiedades fisicoquímica, contenido de pectina y capacidad de rehidratación de rodajas de ciruela (*Spondias purpurea* L.). *Agrociencia* 52: 1-13.
- Muy Rangel, D., Espinoza Valenzuela, B., Siller Cepeda, J., & Adriana, S. B. (2009). Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) y de una película comestible. *Fitotecnia Mexicana*. (Vol. 32).
- Nunes, C. N., & Emond, J. P., (2007). Relationship between Weight Loss and Visual Quality of Fruits and Vegetables proceedings of the Florida State. *Horticultural Society*. Florida. 120: 235-245.
- O'Neill, S. D. (1997). Pollination regulation of flower development. *Plant Phys*, 48, 547-574.
- Omboki, R., Wu, W., Xie, X., & Mamadou, G. (2015). Ripening genetics of the tomato fruit. *Agri. Crop Science*, 4, 567-572. Mesoamerican fruit tree, *Spondias purpurea* L. (*Anacardiaceae*). [Tesis de Doctorado, Washington University].
- Olivares-Tenorio, M. L.; Dekker, M.; van Boekel, M. A. J. S.; Verkerk, R. (2017) Evaluating the Effect of Storage Conditions on the Shelflife of Cape Gooseberry (*Hyalis*

- Peruviana L). *LWT Food Sci. Technol.* 2017, (80).523-530. DOI: [10.1016/j.lwt.2017.03.027](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.027).
- Osuna, G.J.A., Pérez, B.M.H., Vázquez, V.V. & Gómez, J.R. (2011) Application of 1 methylcyclopropene (1-Mcp) en mexican plum (*Spondias purpurea* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 34: 197-204.
- Pech, J. C., & Latché, A. & Van der R. (2013). Genes involved in the biosynthesis of aroma volatiles in fruit and vegetables and biotechnological applications. *Fruit and Vegetable Flavour*., 254-271.
- Pereira, L., de Melo, S., Elesbao, R., & Cunha, H. A. (2003). Desenvolvimento de frutos de ciriguela (*Spondias purpurea*L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25(1), 11-14. doi:<https://doi.org/10.1590/S0100-29452003000100005>.
- Pinto Mosquera, N., Arias, R., Berutti, L., Chalampunte, D., Gualli, A., Jarrin, P., Sanchez de Cesped, I.-S. (2019). Aplicación de métodos de conservación a frutas de clima templado para preservar sus propiedades nutraceuticas. En G. Tenea N., *Nutraceuticos y Nutraingredientes: el futuro de los alimentos inteligentes para la salud* (págs. 263-285). Ibarra: Rayuela Editores.
- Ramírez, H., Pimienta, E., Castellanos, J., Muñoz, R., Palomino G., & Pimienta, E. (2008). Sistemas de producción de *Spondias purpurea* (Anacardiaceae) en el centro-occidente de México. *Biología Tropical* 56(2): 675-687.
- Rahimi, R., ValizadehKaji, B., Khadivi, A., and Shahrjerdi, I. (2019). Effect of chitosan and thymol essential oil on quality maintenance and shelf-life extension of peach fruits cv. 'Zaferani'. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*. 2(2): 143-156.
- Razzaq, K., Singh, Z., Khan, A.S. *et al.* (2016). Role of 1-MCP in regulating 'Kensington Pride' mango fruit softening and ripening. *Plant Growth Regul* 78, 401-411. <https://doi.org/10.1007/s10725-015-0101-7>.
- 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 Radic Biol Med.* 26(10);1231-1237. doi: 10.1016/s0891-5849(98)00315-3.
- Rinaudo, M. (2008). Behaviour of amphiphilic polysaccharides in aqueous medium. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 11(1), 35-40.

- Ruenes-Morales, M. R., Casas, A., Jiménez-Osornio, J. J. & Caballero, J. (2010). Etnobotánica de (*Spondias purpurea* L.) (Anacardiaceae) en la península de Yucatán. *Interciencia*. 35(4),247-254.
- Salazar Diaz, J. S. (2018). Daño por compresión en frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.). Obtenido de <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/562>
- Saltveit, M. E. (2016). Respiratory metabolism. In S. Pareek (ed.), *Postharvest ripening physiology of crops* (pp. 139-156). CRC Press. doi: <https://doi.org/doi.org/10.1201/b19043>.
- Serrano, J., Goni I., Saura-Calixto F. 2007. Food antioxidant capacity determined by chemical methods may underestimate the physiological antioxidant capacity. *Food Research International*, 40; 15-21.
- Seymour, G. B., Ostergaard, L., Chapman, N. H., Knapp, S., & Martin, P. (2013). Fruit development and ripening. *Plant Biol.*, 219-261.
- SIAP. (2022) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción anual. En línea: <http://www.siao.gob.mx/agricultura-produccion-anual/>.
- Silva, M., Rogez,H. & Larondelle, Y. (2010). Optimization of extraction of phenolics from *Inga edulis* leaves using response surface methodology. *Separation and Purification Technology* 55 (3): 381- 387.
- Singleton, V.L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R.M (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent, *Methods in Enzymology,Academic Press*, 299,152-178.
- Shakya, R. and Lal, M. A. (2018). Fruit Development and Ripening. In *Plant Physiology, Development and Metabolism*. Springer, Singapur. 857-883 Pp
- Sisler, E. C.; Serek, M., (1997) Inhibitors of Ethylene Responses at the Receptor Level: Recent Developments. *Physiol.Plant.* 100, 577-582. DOI: [10.1111/j.1399-3054.1997.tb03063.x](https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb03063.x).
- Solano-Doblado, L. G., Alamilla-Beltrán, L. & Jiménez- Martínez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, **21(2)**, 30-42. DOI: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>

- Solórzano M.S., Alía Tejacal I., Rivera C.F., López M.V., Pérez F.L.J. & Pelayo Z.C. (2015) Quality attributes and functional compounds of Mexican plum (*Spondias purpurea* L.) fruit ecotypes. *Fruits* 70: 261-270.
- Sollano-Mendieta, X.C.; Meza-Márquez, O.G.; Osorio-Revilla, G.; Téllez-Medina, D.I. (2021). Effect of In Vitro Digestion on the Antioxidant Compounds and Antioxidant Capacity of 12 Plum (*Spondias purpurea* L.) Ecotypes. *Foods*. <https://doi.org/10.3390/10091995>.
- Spínola, V., Pinto, J., Castillo, C, P. (2015). Identification and quantification of phenolic compounds of selected fruits from Madeira Island by HPLC-DAD-ESI-MSn and screening for their antioxidant activity. *Food Chemistry*, 173; 14-30.
- Suárez V.A., Juárez L.P., López Martínez., Pérez L.J.F., Guillén D.S. & Alía Tejacal I. (2017) Antioxidant activity and physicochemical parameters in 'Cuernavaqueña' mexican plum (*Spondias purpurea* L.) at different ripening stages. *Brasileirade Fruticultura* 39,4: 1-10 Doi: 10.1590/0100-29452017787.
- Suárez Vargas A., (2018). Concentración de compuestos bioactivos y actividad antioxidante en ciruela mexicana (*spondias purpurea* l.) a diferentes etapas de madurez. Obtenido de <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/1422/VAADSU01T.pdf?s>  
e
- Tiburski, J.H., Rosenthal, A., Deliza, R., Godoy, R.L.O., Pacheco, S., 2011. Nutritional properties of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) pulp. *Food Res. Int.* 44,2326-2331.
- Transito Damaso, M. G. (2023). Aplicación de 1-MCP en diferentes ecotipos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) de México. Obtenido de <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/4327>
- Tripathi, K., Saurabh, P., Malik, M., & Kaul, T. (2016). Fruit ripening of climacteric and non climacteric fruit. *Journal of Environmental and Applied Bioresearch*, 04, 27-34.
- Vrebalov, J.; Ruezinsky, D.; Padmanabhan, V.; White, R.; Medrano, D.; Drake, R.; Schuch, W. and Giovannoni, J. 2002. A MADS-box gene necessary for fruit ripening at the tomato ripening-inhibitor (*rin*) locus. *Science*. 296: 343-346.

- USDA. (2016). United States Department of Agriculture. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. En K. C. Gross, C. Y. Wang, & M. Saltveit (Eds.), *Agriculture Handbook* (pp. 11-166). California, USDA. <https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/oc/np/commercialstorage/CommercialStorage.pdf>.
- Valero, D., Díaz-Mula, H.M., Zapata, P.J., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Serrano, M., 2013. Effects of alginate edible coating on preserving fruit quality in four plum cultivars during postharvest storage. *Postharvest Biol. Technol.* 77:1-6.
- Vargas S.G., Hernández C.R. & Moguel O.E (2011) Caracterización morfológica de ciruela (*Spondias purpurea* L.) en tres municipios del estado de Tabasco. *Bioagro* 23: 141-149.
- Vargas-Simón, G. (2018). Ciruela/Mexican Plum-*Spondias purpurea* L. En: Exotic Fruits.
- Velázquez, D. M., Romero, W. C., Lara, E. G., Martínez, A. I., Diaz, J. M. B., & Diaz, B. B. (2016). Cambios fisicoquímicos poscosecha en tres cultivares de pepino con y sin película plástica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 909- 920.
- Ventura-Aguilar, R., Colinas-León, M. T., Martínez-Damián, M. T., & Valle-Guadarrama, S. (2011). Atmósferas modificadas, frigo conservación e inhibidores de oscurecimiento en poscosecha de *Pleurotus ostreatus*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(2), 197-206.
- Watkins, C. B. (2006). The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnol. Biotechnol. Adv.*, 24(4), 389-409
- Win, N.M., Yoo, J., Kwon, S.I., Watkins, C.B., Kang, I.K., 2019. Characterization of fruit quality attributes and cell wall metabolism in 1-methylcyclopropene (1-MCP)- treated “Summer King” and “Green Ball” apples during cold storage. *Front. Plant Sci.* 10, 1513. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01513>.
- Witham, F.H., Blaydes D.F. & Devlin R.M. (1971). Experiments in plant physiology. New York: *Van Nostrand Reinhold Company*. 245.
- Xiao, Y.; Kuang, J.; Qi, X.; Ye, Y.; Qu, Z.; Chen, J.; Lu, W. A. (2018). Comprehensive Investigation of Starch Degradation Process and Identification of A Transcriptional

Activator MabHLH6 during Banana Fruit Ripening. *Plant Biotechnol. J.* 16(1), 151-164. DOI: [10.1111/pbi.12756](https://doi.org/10.1111/pbi.12756).

Xie, G., Liu, N., Cancion, Y., & L. y. (2022). El análisis integrado de transcriptómica y ARN pequeño revela que el 1-MCP inhibe la lignocelulosis de los frijoles frescos al regular el metabolismo de la pared celular secundaria. 186. doi:<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111836>.

Zhengke, Z., Donald, J. H., Brandon, M. H., & Jing, P. R. (2009). Delay of tomato fruit ripening in response to 1-methylcyclopropene is influenced by internal ethylene levels. *Postharvest Biol. Technol.*, 54(1), 1-8.