

2  
3 **Almacenamiento de frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.)**  
4 **‘Cuernavaqueña’ en atmósfera modificada pasiva**

5  
6  
7 Adriana Herrero-Galindo<sup>1\*</sup>

8 María Teresa B. Colinas-León<sup>1\*</sup>

9 Irán Alia-Tejacal<sup>2</sup>

10 Nallely Rosas-Flores<sup>3</sup>

11  
12  
13 <sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo, carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco,  
14 Estado de México, México. C.P. 56230.

15 <sup>2</sup>Universidad Autónoma del Estado de Morelos. avenida Universidad núm. 1001,  
16 Cuernavaca, Morelos, México, C.P. 66209.

17 <sup>3</sup>Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan, División de Ingeniería en Gestión  
18 Empresarial. Camino al Monte s/n col. Loma de Guadalupe, C.P.56380.

19  
20  
21  
22 \*Corresponding authors: [adris10ap00@gmail.com](mailto:adris10ap00@gmail.com), [mcolinas1@chapingo.mx](mailto:mcolinas1@chapingo.mx)

23 **Citar es artículo como:**

24 Adriana Herrero-Galindo, A., Colinas-León, M. T. B., Alia-Tejacal, I., Rosas-Flores, N.  
25 (2024). Storage of ‘Cuernavaqueña’ mexican plum (*Spondias purpurea* L.) fruits in passive

26 modified atmosphere. *Current Topics in Agronomic Science*, 4 (2).  
27 <https://doi.org/10.5154/r.ctas.2024.0403>

28

## 29 **Resumen**

30 Los frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) son altamente perecederos, por lo que  
31 la modificación pasiva de la atmósfera circundante del producto y una temperatura baja de  
32 almacenamiento pueden ayudar a incrementar la vida de anaquel del fruto. El objetivo fue  
33 evaluar el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el comportamiento postcosecha  
34 de ciruela mexicana envasada en atmósfera modificada pasiva. Frutos de ciruela mexicana  
35 ‘Cuernavaqueña’ en madurez fisiológica, se colocaron en bolsas de polietileno de baja  
36 densidad (0.062 µm de grosor) almacenándose a 14 y 25 °C y 93 ± 2 % de humedad relativa,  
37 durante ocho días. Los resultados en la producción de CO<sub>2</sub>, etileno, pérdida de peso y firmeza,  
38 indican que el uso de un empaque de baja densidad, bolsa de polietileno, y el almacenamiento  
39 a una temperatura de 14 °C retrasa el proceso de maduración de los frutos. En cuanto a los  
40 compuestos bioactivos evaluados en pulpa y cáscara, en ambos tratamientos, el contenido  
41 resulta atractivo con fines de potencializar el consumo en fresco de estos frutos que resultan  
42 benéficos a la salud humana.

43 **Palabras clave:** *Spondias purpurea* L., capacidad antioxidante, compuestos bioactivos,  
44 etileno, firmeza, respiración.

45 **Storage of ‘Cuernavaqueña’ mexican plum (*Spondias purpurea* L.) fruits in passive**  
46 **modified atmosphere**

## 47 **Abstract**

48 Mexican plum fruits (*Spondias purpurea* L.) are highly perishable, so passive modification  
49 of the products surrounding the atmosphere and low storage temperature can help in  
50 increasing fruit shelf life. The objective was to evaluate the effect of storage temperature on  
51 the postharvest behavior of Mexican plums packed in passive modified atmosphere.  
52 Physiologically mature Mexican plum fruits 'Cuernavaqueña' were placed in low-density  
53 polyethylene bags (0.062 µm thick) and stored at 14 and 25 °C and 93 ± 2 % relative humidity  
54 for eight days. The results in the production of CO<sub>2</sub>, ethylene, weight loss and firmness,

55 indicate that the use of a low-density packaging, polyethylene bag, and storage at a  
56 temperature of 14 °C delayed the ripening process of the fruits. Regarding the bioactive  
57 compounds evaluated in pulp and peel, in both treatments, their content is attractive in order  
58 to enhance the fresh consumption of these fruits that are beneficial to human health.

59 **Keywords:** *Spondias purpurea* L., antioxidant capacity, bioactive compounds, ethylene,  
60 firmness, respiration.

61 **Recibido:** Julio 01, 2024

62 **Aceptado:** Septiembre 02, 2024

63

64

65

## Introducción

66

67

68 La ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) es una especie nativa de México, algunos  
69 autores indican que puede ser clasificada dentro de tres tipos: 1) ciruelas de estación seca con  
70 fructificación de febrero a mayo; 2) ciruelas de estación húmeda con fructificación de  
71 septiembre a diciembre y, 3) ciruelas de temporada intermedia con fructificación en junio y  
72 julio (Álvarez-Vargas et al., 2019). La ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ es de estación  
73 húmeda y goza de una gran aceptación en forma regional, debido a su sabor y color de  
74 epicarpio. Además, su consumo proporciona polifenoles, vitaminas A, B, C, E, y  
75 carotenoides, los cuales pueden otorgar protección frente a enfermedades crónico-  
76 degenerativas, lo que permite un alto potencial de comercialización en el mercado de  
77 exportación (Maldonado-Astudillo et al., 2014; Shahidi & Ambigaipalan, 2015).

78 No obstante, la concentración de estos compuestos bioactivos en los frutos se encuentra  
79 altamente asociada a la especie, cultivar, grado de madurez y condiciones de manejo pre y  
80 postcosecha, conduciendo a cambios importantes en la calidad nutracéutica del producto  
81 (Tomás-Barberán & Espín, 2001; Belitz et al., 2008; Li et al., 2014). Álvarez-Vargas et al.  
82 (2019) reportan en ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ al momento de la cosecha (mes de

83 octubre), un contenido de carotenoides totales de  $50.8 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  en peso fresco en el epicarpio  
84 y de  $27 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  en peso fresco en el mesocarpio, lo cual coincidió con la coloración amarilla  
85 en el exocarpio. Asimismo, los autores indicaron valores medios para fenoles totales de  $266.7$   
86  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  en peso fresco de pulpa.

87 La ciruela mexicana es un fruto climatérico altamente percedero y sensible a bajas  
88 temperaturas, debido a su origen tropical, por lo que es susceptible a presentar daños por frío  
89 y, en consecuencia, durante el manejo poscosecha disminuye la calidad del fruto  
90 rápidamente, haciendo necesario el uso de tecnologías para su conservación, tales como  
91 refrigeración y almacenamiento en atmósferas modificadas (Tomás-Barberán & Espín, 2001;  
92 Maldonado-Astudillo et al., 2014; Vargas-Simón, 2018). Por lo anterior, la combinación de  
93 diferentes técnicas de conservación, tales como las tecnologías de barrera, son una alternativa  
94 para evitar crecimiento microbiano y pérdidas de calidad del fruto. Una de estas técnicas es  
95 la modificación pasiva de la atmósfera circundante del producto, por efecto de su respiración  
96 y permeación de los gases a través del envase plástico, en combinación con una baja  
97 temperatura de almacenamiento para incrementar la vida de anaquel (Ospina-Meneses &  
98 Cartagena-Valenzuela, 2008; Barrios et al., 2014; Oliveira et al., 2015).

99 En el envasado en atmósfera modificada (MAP) pasiva se emplea material de barrera baja  
100 (baja densidad), como el polietileno, que una vez que el paquete está sellado permite  
101 establecer un equilibrio de los gases dentro del envase durante el almacenamiento  
102 (Priyadarshi et al., 2020). En frutas como la ciruela mexicana, cuyo comportamiento es de  
103 tipo climatérico, la vida de anaquel dependerá de la temperatura de almacenamiento, ya que  
104 uno de los objetivos del uso de MAP es minimizar la tasa respiratoria y producción de etileno  
105 y, con ello, retrasar el proceso de maduración, senescencia y evitar el deterioro del producto  
106 (García-González et al., 2016; Priyadarshi et al., 2020).

107 Considerando lo anterior, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la  
108 temperatura de almacenamiento ( $14$  y  $25$  °C) y envasado en atmósfera modificada pasiva en  
109 algunos parámetros fisiológicos, físicos y bioquímicos durante la poscosecha de frutos de  
110 ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’.

111

112

113

## **Materiales y métodos**

114

115

116

### **Material vegetal y tratamientos**

117

118

119 Se cosecharon frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) variante ‘Cuernavaqueña’  
120 en el municipio de Atlatahuacan, Morelos, México. Para la cosecha se empleó el color de la  
121 epidermis del fruto como índice, con 75 % de coloración verde, frutos de tamaño homogéneo  
122 (30 g), así como libres de daños físicos y patógenos. Se cosecharon 180 frutos y se trasladaron  
123 en cajas de plástico vía terrestre al laboratorio de usos múltiples del Departamento de  
124 Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Los frutos se lavaron con una solución  
125 clorada (1 %) para desinfectarlos y se dejaron expuestos a condición ambiental durante 4 h  
126 para su secado.

127 Se evaluaron dos temperaturas de almacenamiento, 14 y 25 °C, así como una condición de  
128 almacenamiento en bolsa (Ziploc®) de polietileno de baja densidad (16.5 x 14.9 cm) de 0.062  
129 µm de grosor. Se empleó un diseño experimental completamente al azar, con unidad  
130 experimental de seis frutos de ciruela mexicana y tres repeticiones. Después de iniciados los  
131 tratamientos se realizaron evaluaciones a los 1, 2, 4, 6 y 8 d, de algunas variables fisiológicas,  
132 físicas y bioquímicas.

133

134

135

### **Variables evaluadas**

136

137

138 Se determinó la respiración y producción de etileno mediante un sistema estático, se  
139 colocaron seis frutos en un recipiente hermético de volumen conocido, después de una hora

140 se tomó 1 mL del espacio de cabeza para ser inyectado a un cromatógrafo de gases Varian  
141 (3400CX®, USA) equipado con una columna capilar Chrompack® tipo paraploteo Q, un  
142 detector de conductividad térmica (TCD, por sus siglas en inglés) y un detector por ionización  
143 de flama (FID, por sus siglas en inglés) (Tovar et al., 2011). Se usaron temperaturas de 80,  
144 150 y 170 °C en la columna, inyector y detectores, respectivamente, con N<sub>2</sub> como gas de  
145 arrastre y presión en la columna de 158.5 KPa. Los datos de respiración se reportaron como  
146 mL·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> y la concentración de etileno μL·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>, mediante el uso de una curva  
147 de calibración.

148 Se registró el peso de los frutos con una balanza digital (Ohaus, USA) y los resultados se  
149 expresaron en porcentaje de pérdida de peso (%). La firmeza se midió en la parte ecuatorial  
150 de cada fruto con un texturómetro FDV-30 (Greenwich, CT 06836, USA) de puntal cónico  
151 (8 mm de diámetro) y los resultados se expresaron en newton (N).

152 Para la cuantificación de los sólidos solubles totales se usaron dos frutos, de los cuales se  
153 extrajo jugo de la pulpa y se colocó 1 mL en el lector de un refractómetro digital (ATAGO  
154 PAL-1, Japón) con resultados expresados en grados Brix (°Brix). La acidez titulable se  
155 determinó con la metodología de Marsh et al. (2011), para lo cual se homogeneizaron 5 g de  
156 pulpa con 10 mL de agua destilada, se filtraron y de la fase líquida recuperada se tomó una  
157 alícuota de 5 mL, a la cual se le agregaron dos gotas de fenolftaleína como indicador y se  
158 llevó a titulación con hidróxido de sodio (NaOH) al 0.1 N. Los resultados se expresaron en  
159 % de ácido cítrico.

160 Los carotenoides totales se cuantificaron en pulpa y epicarpio, empleando el método  
161 propuesto por Speek et al. (1988), en el cual a 2 g de muestra se le agregaron 10 mL de una  
162 solución n-hexano-acetona-etanol (50:25:25 v/v), manteniendo la solución en oscuridad a  
163 temperatura ambiente (20 °C) durante una hora. Posteriormente, se aplicó centrifugación  
164 (Thermo Scientific Sorvall RC 6, centrifuge) a 1000 x g por 5 min y la fase orgánica se  
165 aforó a 25 mL con hexano, a la cual se le midió la absorbancia a 450 nm en un  
166 espectrofotómetro 10s-vis (Thermo Scientific, Florida, USA). La concentración se calculó  
167 utilizando el coeficiente de extinción de β-caroteno, ε=2505 como estándar y los resultados  
168 se reportaron en μg de β-caroteno·g<sup>-1</sup> de peso fresco (μg β-caroteno·g<sup>-1</sup> pf).

169 El contenido de clorofilas totales se determinó en la epidermis del fruto de acuerdo con el  
170 método propuesto por Pompelli et al. (2013). Para ello, se pesó 1 g de la epidermis y se  
171 homogeneizó con 10 mL de acetona-agua (8:2 v/v) durante 15 s y se filtró. Posteriormente,  
172 se midió la absorbancia a tres longitudes de onda (445, 663 y 645 nm) y los resultados se  
173 expresaron como  $\mu\text{g}$  de clorofila total  $\cdot\text{g}^{-1}$  de peso fresco ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  pf).

174 La cuantificación del contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y actividad  
175 antioxidante se realizó a partir de un extracto metanólico de la pulpa para cada tratamiento,  
176 de acuerdo con el método descrito por Chang et al. (2002). A 1 g de pulpa se le añadieron 10  
177 mL de una solución metanol-agua (80:20 v/v). La mezcla se homogeneizó con un vórtex  
178 (Vortex Synergy, *WVR* International) durante 15 s, se colocó en sonicación (Branson 1510  
179 Ultrasonic Cleaner) por 15 min y se dejó reposar por 24 h bajo refrigeración (8 °C);  
180 finalmente, se centrifugó en un equipo Thermo Scientific Sorvall (RC 6, USA) a 600 x g por  
181 10 min.

182 La concentración de compuestos fenólicos totales se determinó por el método Folin-  
183 Ciocalteu (Jiménez-Arellanes et al., 2011), donde a 0.5 mL del extracto metanólico se le  
184 adicionaron 0.5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu (0.2 N), 4 mL de una solución de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$   
185 a 0.7 M y se mantuvo en reposo por 2 h en oscuridad a temperatura ambiente. Finalmente, se  
186 midió la absorbancia a 760 nm en un espectrofotómetro Genesys 10s-vis (Thermoscientific,  
187 Florida, USA). La concentración se calculó a partir de una curva estándar ( $y = 0.0074 x +$   
188  $0.0118$ ;  $R^2 = 0.999$ ) preparada a base de ácido gálico (20-200 mg) y el contenido de  
189 compuestos fenólicos se expresó en mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso fresco  
190 ( $\text{mg EAG } 100\cdot\text{g}^{-1}$  pf).

191 Los flavonoides totales se cuantificaron de acuerdo con el método propuesto por Chang et al.  
192 (2002) donde a 0.5 mL del extracto metanólico preparado anteriormente, se le agregaron 1.5  
193 mL de etanol:agua (90:10 v/v), 0.1 mL de solución de  $\text{AlCl}_3$ -agua (1:9 p/v), 0.1 mL de  
194 solución 1 M de acetato de potasio ( $\text{CH}_3\text{COOK}$ ) y 2.8 mL de agua destilada. La mezcla se  
195 incubó durante 30 min a temperatura ambiente ( $25 \pm 1$  °C). Se cuantificó la absorbancia a  
196 415 nm. Los resultados se reportaron en mg equivalentes de quercetina por 100 g de peso  
197 fresco ( $\text{mg EQ } 100\cdot\text{g}^{-1}$  peso fresco). Para determinar la concentración de flavonoides se  
198 construyó una curva estándar ( $y = 0.0365 x - 0.0047$ ;  $R^2 = 0.999$ ) de quercetina (3-30 mg).

199 La capacidad antioxidante se determinó de acuerdo con el método descrito por (Re et al.,  
200 1999). El radical libre ABTS<sup>•+</sup> (ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico) se  
201 generó mezclando 10 mL de una solución 7 mM de ABTS<sup>•+</sup> con 6.61 mg de K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. La  
202 mezcla se incubó durante 12-16 h en oscuridad para generar el radical ABTS<sup>•+</sup>. La solución  
203 del radical ABTS<sup>•+</sup> se diluyó con etanol anhidro hasta lograr obtener una absorbancia de 0.7  
204 ± 0.1 (máxima concentración de radical ABTS<sup>•+</sup> formado) medida en un espectrofotómetro  
205 Genesys 10s-vis (Thermoscientific, Florida, USA) a una longitud de onda de 734 nm. Para  
206 determinar la actividad antioxidante, a 1 mL de la solución del radical libre de ABTS<sup>•+</sup> se le  
207 adicionaron 10 µL del extracto metanólico de la muestra, la mezcla se incubó en baño maría  
208 a 30 °C en oscuridad por 7 min. Posteriormente, se midió la absorbancia a una longitud de  
209 onda de 734 nm. Para la cuantificación de la actividad antioxidante se realizó una curva  
210 estándar ( $y = -0.0393x + 0.6931$ ;  $R^2 = 0.999$ ) a base de trolox (ácido 6-hidroxi-2, 5, 7, 8-  
211 tetrametilroman-2-carboxílico), para lo cual se preparó una solución de trolox a una  
212 concentración de 17.5 mg y, a partir de esta solución, se obtuvieron diferentes  
213 concentraciones. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de trolox por cada 100 g  
214 de peso fresco (mg ET 100·g<sup>-1</sup> pf).

215

216

217

### **Análisis estadístico**

218

219

220 Los datos se presentan como la media ± desviación estándar (DE). Se realizó una  
221 comparación de medias empleando la prueba estadística *t*, a una  $P=0.05$ . La media se obtuvo  
222 a través del tiempo de cada tratamiento y para cada variable. El análisis estadístico se llevó  
223 a cabo usando el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc., 1999).

224

225

226

### **Resultados y discusión**

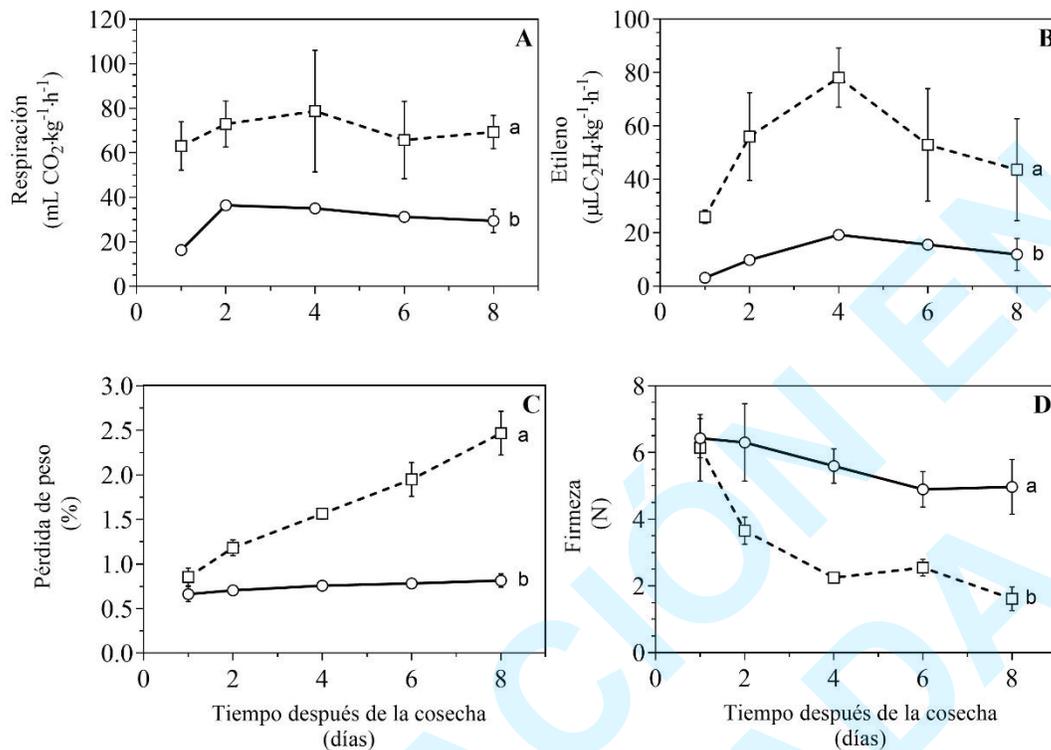
227

228

229 La máxima producción de CO<sub>2</sub> y de etileno, en frutos almacenados a 25 °C, se obtuvo al  
230 cuarto día, con 78.77 mL CO<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> y 78.15 μL·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>, respectivamente (Figuras 1 A y  
231 B). En los frutos almacenados a 14 °C, la respiración y producción de etileno fue  
232 significativamente menor, entre 40 y 60 % con respecto a los frutos almacenados a 25 °C  
233 (Figura 1 A y B). Maldonado-Astudillo et al. (2014) reportaron que la ciruela mexicana  
234 ‘Cuernavaqueña’ es climatérica al presentar un incremento en la respiración y producción de  
235 etileno, luego de siete días de la cosecha. Los frutos almacenados a temperatura baja y con  
236 una barrera de baja densidad (polietileno) permitieron ralentizar significativamente la  
237 respiración del fruto. La disminución de la tasa de respiración y producción de etileno se  
238 debe a que el envasado en atmósfera modificada ralentiza los procesos fisiológicos,  
239 bioquímicos y retarda la senescencia (Caleb et al., 2012).

240 En ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’, una vez transcurridos los ocho días de evaluación, la  
241 pérdida de peso de los frutos almacenados a 14 °C fue menor a 1.0 %, mientras que en los  
242 expuestos a 25 °C la pérdida de peso resultó mayor a 2.5 % (Figura 1 C). Maldonado-  
243 Astudillo et al. (2014) mencionaron que en frutos del ecotipo de *Spondias purpurea*  
244 ‘Cuernavaqueña’ almacenados a 25 °C pierden 11.46, 11.09 y 12.38 % de peso de los frutos  
245 cosechados en etapa inmadura, medio madura y madura a los seis días de almacenamiento,  
246 respectivamente. Pérez-López et al. (2004) reportaron pérdidas de peso de hasta 17.6 % en  
247 frutos de ciruela mexicana ‘Amarilla’ almacenados a 20 °C por cuatro días. El uso de un  
248 material de barrera de baja densidad (polietileno) impidió la pérdida excesiva de agua por  
249 transpiración minimizando la pérdida de peso. La pérdida de peso fue influenciada por la  
250 temperatura de almacenamiento y la humedad relativa. Además, se asocia con la  
251 transpiración y deterioro del fruto (Maldonado-Astudillo et al., 2014).

252



253

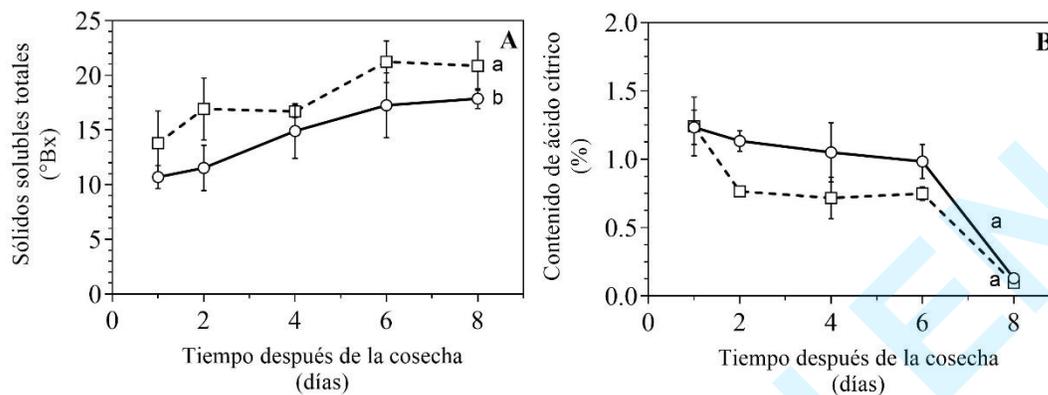
254 **Figura 1.** Tasa de respiración (A), producción de etileno (B), pérdida de peso (C) y firmeza  
 255 (D) de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenada a 14 °C (—○—) o 25 °C (---□---)  
 256 en bolsas de polietileno. Medias ± DE, n=3. Medias con letras diferentes indican diferencias  
 257 significativas para la prueba de t-student ( $P < 0.05$ ).

258 La firmeza en los frutos almacenados a 25 °C disminuyó 57.37 % después de ocho días,  
 259 mientras que en los almacenados a 14 °C disminuyó 23.94 % con respecto a la firmeza inicial  
 260 (6.0 N; Figura 1 D). Los resultados sugieren que la temperatura menor permitió conservar la  
 261 calidad de los frutos y retrasar el ablandamiento. Durante el proceso de maduración, la  
 262 protopectina, sustancia adherente de las células, se degrada junto con las sustancias pécticas,  
 263 lo que modifica la textura y consistencia del fruto. El uso de temperaturas que favorecen la  
 264 maduración incrementa la pérdida de firmeza asociada con la pérdida de agua, síntesis de  
 265 carbohidratos libres a partir de carbohidratos de reserva y aumento de la actividad de enzimas  
 266 que actúan sobre la pared celular, causando ablandamiento (Arenas-Ocampo et al., 2007;  
 267 Prasanna, et al., 2007).

268 Los sólidos solubles totales se incrementaron en ambos tratamientos y estuvieron entre 11 y  
269 14 °Brix al inicio del experimento, en tanto que al final del almacenamiento alcanzaron entre  
270 14.15 y 17.90 °Brix (Figura 2 A). El análisis estadístico determinó diferencias significativas  
271 entre ambos tratamientos, donde los frutos almacenados a 25 °C alcanzaron mayor  
272 acumulación de sólidos solubles totales. Pérez-Arias et al. (2008) reportaron entre 12.47 hasta  
273 17.43 °Brix en diversos ecotipos de ciruela mexicana en estado de madurez de consumo.  
274 García-González et al. (2016) evaluaron frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en tres  
275 estados de madurez, verde, cambiante y maduro, reportando que, luego de nueve días  
276 almacenados a 20 °C los SST se incrementaron entre 23.4 y 25.8 °Brix. Los SST son  
277 frecuentemente empleados para evaluar la calidad de los frutos. Además, esta variable es  
278 influenciada por la etapa de madurez, condiciones de almacenamiento y tratamientos  
279 postcosecha (Maldonado-Astudillo et al., 2014), por lo que las diferencias encontradas para  
280 esta variable entre los tratamientos pueden explicarse por efecto del uso de bolsas de  
281 polietileno de baja densidad y temperatura de almacenamiento, sugiriendo un proceso de  
282 maduración más acelerado en los frutos almacenados a 25 °C.

283 La acidez titulable disminuyó durante el periodo de evaluación en ambos tratamientos. Al  
284 inicio presentaban 1.2 %, después de ocho días el valor fue alrededor de 0.09 % (Figura 2  
285 B). Aunque en los días 2 y 4 los frutos almacenados a 14 °C mantuvieron valores mayores,  
286 no hubo efecto de la temperatura de almacenamiento en el proceso de maduración (Figura 2  
287 B). Como parte del proceso de maduración de un fruto climatérico el contenido de ácidos  
288 orgánicos, en este caso el ácido cítrico, se reducen (Parra & Fischer, 2013); tal como ocurrió  
289 en los frutos de ciruela mexicana donde el contenido de ácido cítrico disminuyó de forma  
290 significativa a través del proceso de maduración (Figura 2 B). De acuerdo con los resultados  
291 obtenidos, el uso de bolsas de plástico permitió modificar la atmósfera del fruto, lo cual  
292 contribuyó a reducir la incidencia y mantener la calidad de los frutos de ciruela mexicana  
293 durante el tiempo de almacenamiento.

294

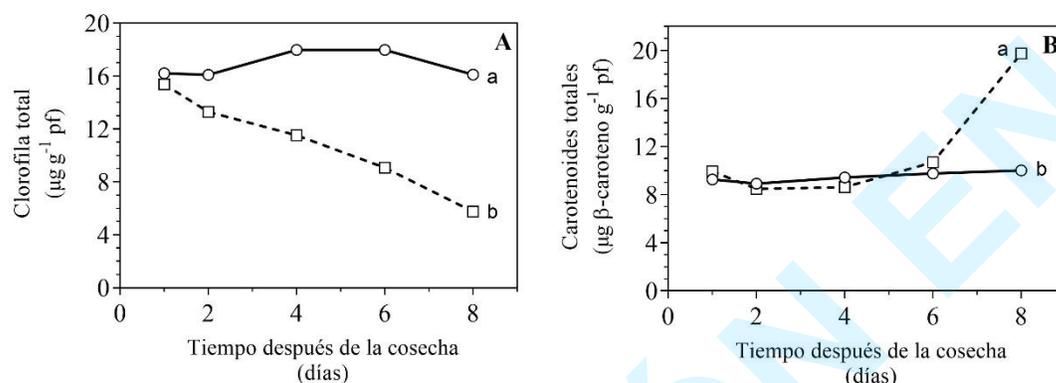


295

296 **Figura 2.** Sólidos solubles totales (A) y acidez titulable en frutos de ciruela mexicana  
 297 ‘Cuernavaqueña’ almacenada a 14 °C (—○—) y 25°C (—□·) en bolsas de polietileno. Medias  
 298 ± DE, n=3. Medias con letras diferentes indican diferencias significativas para la prueba de  
 299 t-student ( $P < 0.05$ ).

300 En el epicarpio, el contenido de clorofilas totales en los frutos almacenados a 25 °C  
 301 disminuyó de 16.0 a 5.0  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  pf en ocho días y los carotenoides totales se incrementaron  
 302 de 9.9 a 19.7  $\mu\text{g}\ \beta\text{-caroteno}\cdot\text{g}^{-1}$  pf en el mismo periodo (Figura 3 A y B). En contraparte, en  
 303 los frutos de ciruela almacenados a 14 °C, el contenido de clorofilas se mantuvo en 16.0  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$   
 304  $\text{pf}$  y los carotenoides totales se mantuvieron en aproximadamente 9.5  $\mu\text{g}\ \beta\text{-caroteno}\cdot\text{g}^{-1}$  pf,  
 305 lo que sugiere que los frutos de este último tratamiento no cambiaron en el color de la  
 306 epidermis (Figura 3). En los frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ se inicia una  
 307 disminución de las clorofilas presentes en la cáscara durante la etapa preclimática y el  
 308 contenido de carotenoides totales se incrementa dando lugar a coloraciones amarillas y  
 309 rojizas una vez alcanzada la etapa climática (Maldonado-Astudillo et al., 2014; Álvarez-  
 310 Vargas et al., 2019). Álvarez-Vargas et al. (2017) reportaron para *Spondias purpurea* L.  
 311 colectadas en los estados de Guerrero, Morelos y Chiapas, México y evaluadas en estado de  
 312 madurez de consumo una concentración de 148.21 a 1 993.12  $\mu\text{g}\ \beta\text{-caroteno}\cdot\text{g}^{-1}$  pf, valores  
 313 superiores a lo encontrado en esta investigación. Los resultados concuerdan con lo reportado  
 314 por Zuo et al. (2024) quienes almacenaron frutos de la familia *Rhamnaceae* en bolsas de  
 315 polietileno de baja densidad, donde el contenido de clorofila disminuyó gradualmente

316 durante el tiempo de almacenamiento, mientras que el contenido de carotenoides mostró una  
317 tendencia creciente.



318

319 **Figura 3.** Comportamiento de clorofila total (A) y carotenoides totales (B) en el epicarpio  
320 de ciruela mexicana almacenada a 14 °C (-○-) y 25°C (-□-) en bolsas de polietileno.  
321 Medias ± DE, n=3. Medias con letras diferentes indican diferencias significativas para la  
322 prueba de t-student (P < 0.05).

323 Los frutos de *Spondias purpurea* L. poseen elevado potencial comercial debido a sus  
324 cualidades sensoriales y nutricionales. Además, son una fuente de compuestos bioactivos  
325 tales como fenólicos, vitaminas, carotenoides y minerales, que hacen que sean alimentos  
326 funcionales y nutracéuticos, por sus propiedades antioxidantes (Beserra-Almeida et al., 2011;  
327 Villa-Hernández et al., 2017). Durante el almacenamiento, la concentración de compuestos  
328 fenólicos en los frutos almacenados a 14 y 25 °C no mostraron diferencias significativas  
329 (Figura 4 A) presentando, al octavo día, ambos tratamientos, una concentración de 73.53 mg  
330 EAG 100·g<sup>-1</sup> pf. Los valores de compuestos fenólicos en este trabajo son menores a los  
331 reportados por Suárez-Vargas et al. (2017), quienes obtuvieron valores de 89.21 mg EAG  
332 100·g<sup>-1</sup> pf en pulpa de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ en cuatro estados de madurez.  
333 Estos resultados pueden deberse a los diferentes métodos de extracción utilizados en ambas  
334 investigaciones.

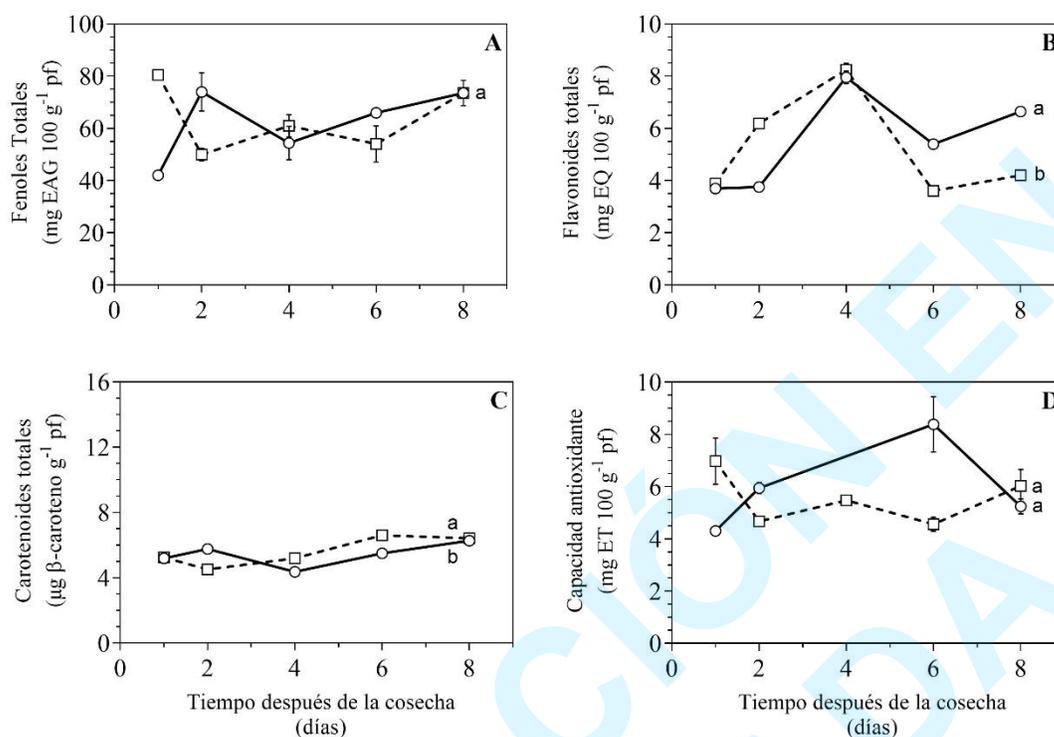
335 En cuanto al contenido de flavonoides totales, en ambos tratamientos se incrementó durante  
336 los primeros cuatro días, alcanzando 8.0 mg EQ 100·g<sup>-1</sup> pf; no obstante, aunque  
337 posteriormente disminuyó su contenido, estadísticamente la mayor concentración se presentó

338 en los frutos almacenados a 14 °C (5.49 mg EQ 100·g<sup>-1</sup>) con respecto a los expuestos a 25  
339 °C (5.22 mg EQ 100·g<sup>-1</sup>) (Figura 4 B). Suárez-Vargas et al. (2017) reportaron valores del  
340 contenido de flavonoides totales entre 17.11 y 23.26 mg EQ 100·g<sup>-1</sup> en pulpa para ciruela  
341 mexicana ‘Cuernavaqueña’ en diferentes estados de madurez. Estos valores son mayores a  
342 los reportados en la presente investigación, posiblemente derivado de los distintos métodos  
343 de cuantificación.

344 El contenido de carotenoides totales en frutos de *S. purpurea* ecotipo ‘Cuernavaqueña’ se  
345 incrementa durante el proceso de maduración, con mayor concentración en el epicarpio y  
346 menor concentración en la pulpa (Maldonado-Astudillo et al., 2014), lo cual coincide con lo  
347 encontrado en esta investigación, donde el contenido de carotenoides totales presentes en la  
348 pulpa, en ambos tratamientos, resultó menor en comparación con los encontrados en el  
349 epicarpio (Figura 3 B y 4 C). En pulpa, el día uno se cuantificó 5.2 µg β-caroteno·g<sup>-1</sup> pf y en  
350 el octavo día 6.4 µg β-caroteno·g<sup>-1</sup> pf, para ambos tratamientos (Figura 4 C), en tanto que en  
351 el epicarpio se observó un incremento significativo del contenido de carotenoides totales en  
352 los frutos almacenados a 25 °C (Figura 4C). Solorzano-Morán et al. (2015) determinaron que  
353 el contenido de carotenoides totales en pulpa de 11 ecotipos evaluados de ciruela mexicana,  
354 osciló entre 0.5 y 3.4 mg 100·g<sup>-1</sup> pf. Por otro lado, Suárez-Vargas et al. (2017) reportaron  
355 valores entre 37 y 150.2 µg β-caroteno·g<sup>-1</sup>, cuyos valores son mayores a los encontrados en  
356 los frutos evaluados en este trabajo.

357 La calidad nutracéutica de un alimento y su contenido de antioxidantes se estima a través de  
358 la capacidad antioxidante total, la cual está dada por una mezcla de diversos antioxidantes  
359 que pueden prevenir o retrasar los procesos de oxidación causado por los radicales libres y  
360 las especies reactivas de oxígeno (Heo et al., 2007; Beserra-Almeida et al., 2011; Solorzano-  
361 Morán et al., 2015). En ciruela mexicana se han realizado diversos estudios con fines de  
362 obtener materiales genéticos con características sobresalientes en cuanto a calidad y aporte  
363 de compuestos bioactivos, y así potenciar su comercialización (Álvarez-Vargas et al. 2017).

364



365

366 **Figura 4.** Compuestos antioxidantes y su actividad en la pulpa de ciruela mexicana  
 367 almacenada a 14 (—○—) y 25 °C (---□---) en bolsas de polietileno. Medias ± DE, n=3. Medias  
 368 con letras diferentes indican diferencias significativas para la prueba de t-student ( $P <$   
 369 0.05).

370 Con respecto a la capacidad antioxidante determinada por el método ABTS en los frutos de  
 371 estudio, se observó aumento de 4.3 a 8.3 mg ET 100·g<sup>-1</sup> pf durante los primeros seis días de  
 372 evaluación en los frutos almacenados a 14 °C, pero al octavo día disminuyó a 5.2 mg ET  
 373 100·g<sup>-1</sup> pf. Por otro lado, en los frutos almacenados a 25 °C la capacidad antioxidante  
 374 disminuye de 6.9 a 6.0 mg ET 100·g<sup>-1</sup> pf (Figura 4 D). Al respecto, Suárez-Vargas et al.  
 375 (2017) reportaron un comportamiento similar en la capacidad antioxidante medida por el  
 376 método ABTS, donde se incrementó de 43.4 a 73.7 mg equivalente de ácido ascórbico (EAA)  
 377 100·g<sup>-1</sup> pf, de estado de madurez fisiológica. Sin embargo, una vez alcanzada la madurez de  
 378 consumo disminuyó a 57.3 mg EAA 100·g<sup>-1</sup> pf. Villarreal-Fuentes et al. (2019) evaluaron la  
 379 capacidad antioxidante en frutos de diversos genotipos de ciruela mexicana en estado de

380 madurez de consumo, donde encontraron un mínimo 21.4 mg EAA 100·g<sup>-1</sup> pf y un máximo  
381 de 377.8 mg EAA 100·g<sup>-1</sup> pf. para la capacidad antioxidante evaluada con el método ABTS.

382

383

384

## Conclusiones

385

386

387 El uso de un empaque de baja densidad, en combinación con almacenamiento a 14 °C, retrasó  
388 el proceso de maduración de frutos de *Spondias purpurea* L. ecotipo ‘Cuernavaqueña’, dado  
389 por una disminución en la intensidad de respiración, producción de etileno y pérdida de peso,  
390 así como un menor desarrollo de sabor, indicado por un contenido mayor de SST y menor  
391 contenido de ácido cítrico. En el epicarpio se encontró un mínimo desarrollo de color dado  
392 por un contenido mayor de clorofila y menor concentración de carotenoides, comparado con  
393 los frutos almacenados en bolsas de polietileno a 25 °C, luego de ocho días de  
394 almacenamiento. En cuanto a los compuestos bioactivos presentes en pulpa, su contenido  
395 resulta atractivo con fines de potencializar el consumo fresco de estos frutos tropicales  
396 exóticos. Finalmente, con la modificación de la atmósfera, los frutos extienden la vida útil y  
397 mantienen la calidad.

398

399

400

## Referencias

401

402

403 Álvarez-Vargas, J. E., Alia-Tejacal, I., Chávez-Franco, S. H., Colinas-León, M. T., Rivera-  
404 Cabrera, F., Nieto-Ángel, D., Cruz L., Aguilar-Pérez, L. A., & Pelayo Z. C. (2019).  
405 Phenological stages and fruit development in the Mexican plum ecotype ‘Cuernavaqueña’  
406 (*Spondias purpurea* L.). *Fruits*, 74 (4), 194-200. doi: 10.17660/th2019/74.4.6

407 Álvarez-Vargas, J. E., Alia-Tejacal, I., Chávez-Franco, S. H., Colinas-León, M. T., Nieto-  
408 Ángel, D., Rivera-Cabrera, F., & Aguilar-Pérez, L. A. (2017). Ciruelas mexicanas (*Spondias*  
409 *purpurea* L.) de clima húmedo y seco: calidad, metabolitos funcionales y actividad  
410 antioxidante. *Interciencia*, 42 (10), 653-660. Obtenido de  
411 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=339/33953313005>

412 Arenas-Ocampo, M. L., Evangelista-Lozan, S., Arana-Errasquin, A., Jiménez-Aparicio, A.,  
413 & Dávila-Ortíz, G. (2007). Softening and biochemical changes of sapote mamey fruit  
414 (*Pouteria sapota*) at different development and ripening stages. *Journal of Food*  
415 *Biochemistry*, 27(2), 91-107. doi:10.1111/j.1745-4514.2003.tb00269.x

416 Barrios, S., De Aceredo, A., Chao, G., De Armas, V., Ares, G., Martín, A., & Lema, P.  
417 (2014). Passive modified atmosphere packaging extends shelf life of enzymatically and  
418 vaccum-peeled ready-to-eat valencia orange segments. *Journal of Food Quality*, 37, 135-  
419 147. doi:10.1111/jfq.12074

420 Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2008). Aroma Compounds. In H.-D. Belitz, W.  
421 Grosch, y P. Schieberle, *Food Chemistry* (págs. 340-402). Springer-Verlag Berlin  
422 Heidelberg. doi:10.1007/978-3-540-69934-7\_6

423 Beserra-Almeida, M. M., Machado de Sousa, P. H., Campos-Arriaga, Â. M., Matias do  
424 Prado, G., Carvalho-Magalhães, C. E., Arraes-Maia, G., & Gomes de Lemos, T. L. (2011).  
425 Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil.  
426 *Food Research International*, 44, 2155-2159. doi:10.1016/j.foodres.2011.03.051

427 Caleb, O. J., Opara, U. L., & Witthuhn, C. R. (2012). Modified atmosphere packaging of  
428 pomegranate fruit and arils: a review. *Food and bioprocess technology*, 5, 15-30.  
429 doi.org/10.1007/s11947-011-0525-7

430 Chang, C.-C., Yang, M.-H., Wen, H.-M., & Chern, J.-C. (2002). Estimation of total flavonoid  
431 content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug*  
432 *Analysis*, 10(3), 178-182. doi:10.38212/2224-6614.2748

433 García-González, M., Alia-Tejacal, I., Rivera-Cabrera, F., Díaz de León-Sánchez, F., López-  
434 Martínez, V., Pérez-Flores, L. J., & Pelayo-Zaldivar, C. (2016). Refrigeración de ciruela  
435 mexicana (*Spondias purpurea* L.) 'Cuernavaqueña'. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 2(2), 27-33.

436 Heo, H. J., Kim, Y. J., Chung, D., & Kim, D. O. (2007). Antioxidant capacities of individual  
437 and combined phenolics in a model system. *Food Chemistry*, 104, 87-92.  
438 doi:10.1016/j.foodchem.2006.11.002

439 Jimenéz-Arellanes, M. A., Román-Cortés, N. R., & García, I. (2011). Actividad antioxidante  
440 y antimicrobiana del extracto hexánico y compuestos puros del rizoma de *Aristolochia*  
441 *taliscana*. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 41(2), 35-41.

442 Li, L., Wang, S., Chen, J., Xie, J., Wu, H., Zhan, R., & Li, W. (2014). Major antioxidants  
443 and in vitro antioxidant capacity of eleven mango (*Mangifera Indica* L.) cultivars.  
444 *International Journal of Food Properties*, 17(8), 1872-1887.  
445 doi:10.1080/10942912.2012.687798

446 Maldonado-Astudillo, Y. I., Alia-Tejacal, I., Nuñez-Colín, C. A., Jiménez-Hernández, J.,  
447 Pelayo-Zaldívar, C., López-Martínez, V., Andrade Rodríguez, M., Bautista Baños, S., &  
448 Valle-Guadarrama, S. (2014). Postharvest physiology and tecnology of *Spondias purpurea*  
449 L. and *S. mombin* L. *Scientia Horticulturae*, 174, 193-206. doi:10.1016/j.scienta.2014.05.016

450 Marsh, K., Sullivan, M., & Thorp, G. (2011). Titratable acidity in kiwifruit, a comparison of  
451 different methods of analysis. *Acta Horticulturae*, 913, 657-660.  
452 doi:10.17660/ActaHortic.2011.913.91

453 Oliveira, M., Usall, J., Torres, R., Teixidó, N., & Viñas, I. (2015). Application of modified  
454 atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables – A review.  
455 *Trends in Food Science & Technology*, 46(1), 13-26. doi:10.1016/j.tifs.2015.07.017

456 Ospina-Meneses, S. M., & Cartagena-Valenzuela, J. R. (2008). La atmósfera modificada:  
457 una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*,  
458 5(2), 112-123.

459 Parra C, A., & Fischer, G. (2013). Maduración y comportamiento poscosecha de la feijoa  
460 (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias*  
461 *Hortícolas*, 7(1), 98–110. <https://doi.org/10.17584/rcch.2013v7i1.2039>

462 Pérez-Arias, G. A., Alia-Tejacal, I., Andrade-Rodríguez, M., López-Martínez, V., Pérez-  
463 López, A., Ariza-Flores, R., & Villarreal-Fuentes, J. M. (2008). Características físicas y

464 químicas de ciruelas mexicana (*Spondias purpurea* L.) en Guerrero. *Investigación*  
465 *Agropecuaria*, 5(2), 141-149.

466 Pérez-López, A., Saucedo-Veloz, C., Arévalo-Galarza, M. L., & Muratalla-Lúa, A. (2004).  
467 Effect of the maturity stage on postharvest quality and shelf life in mexican plum (*Spondias*  
468 *purpurea* L.) fruits. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(2), 133-139.

469 Pompelli, M. F., Franca, S. C., Tigre, R. C., Oliveira, M. T., Sacilot, M., & Pereira, E. C.  
470 (2013). Spectrophotometric determinations of chloroplastidic pigments in acetone, ethanol  
471 and dimethylsulphoxide. *Revista Brasileira de Biología*, 11(1), 52-58.

472 Prasanna, V., Prabha, T. N., & Tharanathan, R. N. (2007). Fruit Ripening Phenomena—An  
473 Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(1), 1-19.  
474 doi:10.1080/10408390600976841

475 Priyadarshi, R., Deeba, F., Sauraj, & Negi, Y. S. (2020). Modified atmosphere packaging  
476 development. En Y. Zhang, *Processing and Development of Polysaccharide-Based*  
477 *Biopolymers for Packaging Applications* (págs. 261-280). doi:10.1016/B978-0-12-818795-  
478 1.00011-3

479 Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999).  
480 Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decoloration assay. *Free*  
481 *Radical Biology & Medicine*, 26(9/10), 1231-1237.

482 SAS Institute Inc. (1999). SAS/STAT® User's Guide, Version 8. SAS Institute Inc., Cary,  
483 NC.

484 Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and  
485 spices: Antioxidant activity and health effects - A review. *Journal of Functional Foods*, 18,  
486 820-897. doi:10.1016/j.jff.2015.06.018

487 Solorzano-Morán, S., Alia-Tejagal, I., Rivera-Cabrera, F., López-Martínez, V., Pérez-Flores,  
488 L. J., Pelayo-Zaldívar, C., & Maldonado-Astudillo, Y. I. (2015). Quality attributes and  
489 functional compounds of Mexican plum (*Spondias purpurea* L.) fruit ecotypes. *Fruits*, 70(5),  
490 261-270. doi:10.1051/fruits/2015027

491 Speek, A. J., Speek-Saichua, S., & Schreurs, W. H. (1988). Total carotenoid and -carotene  
492 contents of thai vegetables and the effect of processing. *Food Chemistry*, 27, 245-257.  
493 doi:10.1016/0308-8146(88)90010-6

494 Suárez-Vargas, A., Juárez-López, P., López-Martínez, V., Pérez-Flores, L. J., Guillén-  
495 Sánchez, D., & Alia-Tejacal, I. (2017). Botany and physiology antioxidant activity and  
496 physicochemical parameters in 'Cuernavaqueña' mexican plum (*Spondias purpurea* L.) at  
497 different ripening stages. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 39(4), 1-10. doi:10.1590/0100-  
498 29452017787

499 Tomás-Barberán, F. A., & Espín, J. C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as  
500 determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and*  
501 *Agriculture*, 81(9), 853-876. doi:10.1002/jsfa.885

502 Tovar, B., Montalvo, E., Demián, B. M., García, H. S., & Mata, M. (2011). Application of  
503 vacuum and exogenous ethylene on Ataulfo mango ripening. *LWT - Food Science and*  
504 *Technology*, 44, 2040-2046. doi:10.1016/j.lwt.2011.06.005

505 Vargas-Simón, G. (2018). Ciruela/Mexican Plum—*Spondias purpurea* L. In S. Rodrigues,  
506 E. de Oliveira Silva, & E. Sousa de Brito, *Exotic Fruits* (págs. 141-152). Academic Press.  
507 doi:10.1016/B978-0-12-803138-4.00052-6

508 Villa-Hernández, J. M., Mendoza-Cardoso, G., Mendoza-Espinoza, J. A., Vela-Hinojosa, C.,  
509 Díaz de León-Sánchez, F., Rivera-Cabrera, F., Alia Tejacal, I., & Pérez-Flores, L. J. (2017).  
510 Antioxidant capacity in vitro and in vivo of various ecotypes of mexican plum (*Spondias*  
511 *purpurea* L.). *Journal of Food Science*, 1-7. doi:10.1111/1750-3841.13862

512 Villarreal-Fuentes, J. M., Alia-Tejacal, I., Pérez-Pérez, X. D., Espinosa-Zaragoza, S.,  
513 Marroquín-Agreda, F. J., & Núñez-Colín, C. A. (2019). Caracterización fisicoquímica de  
514 frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) en el Soconusco, Chiapas. *Ecosistemas y*  
515 *Recursos Agropecuarios*, 6(17), 219-229. doi:10.19136/era.a6n17.1949

516 Zuo, Z., Jiang, P., Chen, D., Zhang, C., Guo, F., Nie, X., Di Wu., Xinguang Fan., & Zhao,  
517 H. (2024). Improving the storage quality and antioxidant capacity of postharvest winter  
518 jujube by laser microporous modified atmosphere packaging. *Scientia Horticulturae*, 337,  
519 113477. doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113477