

Refrigeración de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) 'Cuernavaqueña'

Mexican plum 'Cuernavaqueña' (*Spondias purpurea* L.) fruits refrigeration

Mario García-Gonzalez¹, Irán Alia-Tejagal^{1*}, Fernando Rivera-Cabrera²,
Fernando Díaz de León-Sánchez², Víctor López-Martínez¹, Laura J. Pérez-Flores²,
Clara Pelayo-Zaldivar

RESUMEN

La ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) es un fruto nativo de México, del que se reconocen más de 30 variedades; se desarrolla en época seca o húmeda. La ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' muestra características organolépticas atractivas, pero tiene una corta vida en poscosecha: entre 1 y 8 días (d) en dependencia de la etapa de maduración en que sea cosechada. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento poscosecha de la ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' a temperatura ambiente, previamente almacenada por 5 y 10 d a 5 °C. Los frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea*) 'Cuernavaqueña' fueron cosechados de color verde, cambiantes y maduros; posteriormente, se almacenaron a temperatura ambiente (20 °C; 60% HR) o bien a 5 °C por 5 o 10 d y, al salir de esta condición, madurados a temperatura ambiente. Los frutos de *Spondias purpurea* almacenados a temperatura ambiente tuvieron una vida útil de 9 y 11 d, cuando se cosecharon maduros, cambiantes o verdes, respectivamente. Los frutos cosechados verdes alcanzaron un color amarillo (h=90) al final del experimento. El almacenamiento a 5 °C ocasionó ligeros y severos signos de daño por frío, con mayor intensidad cuando se almacenaron por 10 d. Mayor velocidad de respiración, falta de uniformidad en el desarrollo del color característico del fruto y menor acumulación de sólidos solubles totales se obtuvieron en los frutos almacenados a 5 °C por 10 d comparados con los frutos sin almacenar y almacenados a 5 °C por 5 d. Los frutos cosechados en etapa verde mostraron síntomas de daño por frío más severos.

PALABRAS CLAVE

daño por frío, respiración, sólidos solubles totales

ABSTRACT

Mexican plum fruit (*Spondias purpurea* L.) is native from Mexico. It grows during dry and humid season. More of 30 varieties of this fruit are recognized in the country. Mexican plum 'Cuernavaqueña' has attractive organoleptic characteristics, but has a short postharvest life: between 1 to 8 days (d) according to the ripe stage when it is harvested. The objective of this work was to evaluate postharvest behavior of Mexican plum 'Cuernavaqueña' at room temperature, previously storage to 5 °C for 5 or 10 d. Fruit of Mexican plum were harvested in green, half green and ripe stage and stored to room temperature (20 °C; 60% HR) or to 5 °C for 5 or 10 d and after that stored to room temperature. *Spondias purpurea* fruits stored to room temperature maintain useful life for 9 and 11 d when they were harvested ripe and green or half green, respectively. Fruits harvested in green stage change to yellow color at the end of the experiment. Light chilling injury signs were observed in fruits stored to 5 °C for 5 d, but storage for 10 d was more severe. Highest respiration rate, incapacity to develop characteristic color and less accumulation of soluble solids totals in fruits stored to 5 °C for 10 d compared to fruits without storage and fruits stored for 5 d to 5 °C. Green fruits showed more severe chilling injury symptoms.

KEYWORDS

Spondias purpurea, chilling injury, respiration, solid soluble totals

¹ Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

² Departamento de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.

* Autor para correspondencia. Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa. 62209 Cuernavaca, Morelos.

Correo electrónico: iran.alia@uaem.mx

Recibido: 4 de septiembre de 2016

Aceptado: 1 de octubre de 2016

INTRODUCCIÓN

La ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) es un frutal de la familia Anacardiaceae, cuyo origen es el sur de México y Centroamérica (Morton, 1987). Se distribuye en las selvas bajas caducifolias y subcaducifolias, desde la costa de Sonora, la vertiente del Pacífico y la depresión central de Chiapas, hasta Quintana Roo y el norte de Yucatán, así como en el norte de Veracruz y este de San Luis Potosí (Pennington y Sarukhán, 2005). Avitia *et al.* (2000) reportan cerca de 30 ecotipos, que se diferencian principalmente por la época de producción: en temporal o estiaje.

Los frutos de ciruela mexicana poseen muy buenas características organolépticas y nutricionales. Cuando están maduros proporcionan alta densidad calórica, vitamina C, minerales como el potasio y el calcio (Koziol y Macia, 1998) y compuestos antioxidantes como fenoles (Beserra *et al.*, 2011) y carotenoides.

En Morelos existen áreas en las que la ciruela mexicana crece de forma silvestre o de manera comercial (Alia-Tejagal *et al.*, 2012). En la zona norte del estado se desarrollan ciruelas de estación húmeda, que florecen de enero a marzo y se cosechan entre septiembre y noviembre. El fruto es una drupa irregularmente ovalada, lisa, brillante, de color rojizo-amarillento y de sabor agridulce (Dorado *et al.*, 2012); localmente es conocido como 'Cuernavaqueña' y se consume fresco. Debido a sus características organolépticas, los consumidores consideran que tiene potencial para la explotación comercial. Sin embargo, su vida poscosecha es corta: entre 1 y 4 días (d) a 20 °C, cuando se cosecha totalmente maduro, lo cual se atribuye a una rápida pérdida de firmeza y masa (Bautista-Baños *et al.*, 2003).

Por otra parte, para esta fruta, no se conoce un índice de cosecha que determine cuándo es posible obtener sus máximos atributos de calidad. En la región se utiliza el color del epicarpio: los frutos se cosechan ya sea cuando se encuentran cambiando de verde a amarillo, o cuando su color es amarillo, parcialmente naranja, totalmente naranja o rojo.

El control de la temperatura es probablemente el factor más importante para extender la vida poscosecha de los productos perecederos. Generalmente, una disminución en la temperatura del fruto reduce su metabolismo y desarrollo (Rees, 2012). En frutos tropicales y subtropicales, esta temperatura suele ser menor a 15 °C (Montero-Calderón y Cerdas-Araya, 2012). En el caso particular de ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' no se tiene conocimiento de algún

reporte sobre su respuesta ante el almacenamiento a temperatura baja que considere la etapa de madurez a la cual fue cosechada. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar algunos parámetros físicos, químicos y fisiológicos de ciruelas mexicanas 'Cuernavaqueñas', almacenadas a temperatura de refrigeración y cosechadas en diferentes etapas de desarrollo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se cosecharon frutos de ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' en tres estados de desarrollo: 1) frutos verdes, con 95% de color verde en el epicarpio del fruto; 2) frutos cambiantes, con aproximadamente 50% de color naranja-rojo de la epidermis, y 3) frutos maduros, con 90% del epicarpio de color rojo-naranja, provenientes de árboles de traspatio en el poblado de Buenavista del Monte, en Cuernavaca, Morelos. Los frutos fueron cosechados manualmente, colocados en cajas de plástico y trasladados al Laboratorio de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, donde se lavaron con una solución de hipoclorito de sodio a 1% (p/v) y se secaron a temperatura ambiente sobre Sanitas®. Se seleccionaron frutos libres de daños mecánicos, patógenos o causados por insectos. Se dejaron pasar 12 h a 20 ± 2 °C; 60% HR después de la cosecha para iniciar los tratamientos de almacenamiento.

Diseño de tratamientos y experimental

Se formaron nueve lotes de 60 frutos cada uno. De éstos, tres se almacenaron a temperatura ambiente (20 °C ± 2 °C; 60% HR) y seis en refrigeración (5 °C ± 2 °C; 80% HR). Se tuvieron en total nueve tratamientos: 1) frutos maduros almacenados a 20 ± 2 °C; 60% HR; 2) frutos cambiantes almacenados a 20 ± 2 °C; 60% HR; 3) frutos color verde almacenados a 20 ± 2 °C; 60% HR; 4) frutos maduros a 5 °C por 5 d + almacenamiento 20 ± 2 °C; 60% HR; 5) frutos cambiantes a 5 °C por 5 d + almacenamiento 20 ± 2 °C; 60% HR; 6) frutos color verde a 5 °C por 5 d + almacenamiento 20 ± 2 °C; 60% HR; 7) frutos maduros a 5 °C por 10 d + almacenamiento 20 ± 2 °C; 60% HR; 8) frutos cambiantes a 5 °C por 10 d + almacenamiento 20 ± 2 °C; 60% HR; 9) frutos color verde a 5 °C por 10 d + almacenamiento 20 ± 2 °C; 60% HR. El almacenamiento de los frutos se hizo en cámaras de refrigeración con control de temperatura y humedad relativa.

VARIABLES EVALUADAS

Respiración. La velocidad de respiración (medida como la producción de CO_2) se cuantificó mediante un sistema estático (Salveit, 2016), el cual consistió en colocar dos frutos intactos de masa conocida (entre 0.040 y 0.060 kg) en recipientes con volumen también conocido (120 mL) cerrados herméticamente durante 1 h. Posteriormente, se tomó una muestra de 6 mL de aire del espacio de cabeza para inyectarla a un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies 7890A, USA), con una columna tipo abierta con empaque de capa porosa de sílica, conectada a un detector de conductividad térmica con una temperatura de 170 °C. El inyector y horno del cromatógrafo mantuvieron una temperatura de 150 y 80 °C durante las evaluaciones. Se utilizó un estándar de CO_2 (460 mg L^{-1}) en balance con nitrógeno, proporcionado por INFRA®, para la cuantificación del gas.

Determinación del color. La determinación del color de la epidermis se realizó utilizando un espectrofotómetro (X-rite mod. 3290®, USA), con el que se obtuvieron los parámetros de color: luminosidad (L^*), cromaticidad (C^*) y matiz (h), las lecturas se realizaron en dos partes opuestas de la sección ecuatorial de cada fruto (Solórzano-Morán *et al.*, 2015).

Sólidos solubles totales (SST). Los sólidos solubles totales se determinaron a partir de una gota de jugo de la pulpa de cada uno de los frutos evaluados con un refractómetro Atago PAL-1® (Japón) y los resultados se reportaron en unidades de °Brix.

ANÁLISIS DE DATOS

El diseño experimental fue completamente al azar; la unidad experimental fue un fruto con 10 repeticiones para la respiración y los componentes de color (L^* , C^* y h) y con seis para los SST. Con los resultados obtenidos se realizó un análisis de varianza y comparación de medias por el método de Tukey a una probabilidad de 5%. Se utilizó el software SAS® V. 9.1 (Castillo, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respiración

Los frutos de ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' cosechados maduros y almacenados a 20 °C mostraron valores iniciales de $3.7 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$, que disminuyeron a $3.2 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ a los 2 d después de haber iniciado el experimento para, posteriormente, incrementarse a $3.4 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ en el quinto día y, finalmente, disminuir

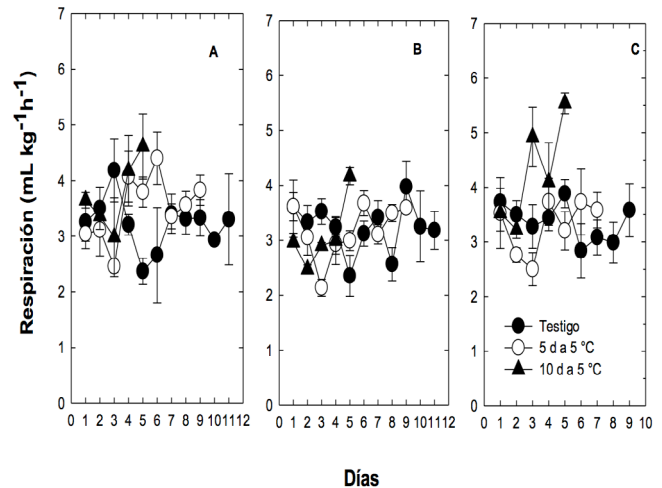


Figura 1. Velocidad de respiración de frutos de ciruela mexicana almacenados por diferentes periodos a 5 °C en etapa de madurez: verdes (A), cambiantes (B) y maduros (C). Cada punto representa la media de cinco observaciones y su error estándar.

a valores de $2.8 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ (figura 1 C). Este patrón sugiere un comportamiento climatérico, que coincide con el reportado por Osuna *et al.* (2011), quienes encontraron el mismo comportamiento en un fenotipo de ciruela mexicana 'Amarillo' en Nayarit, México. Los frutos maduros almacenados a 5 °C por 5 o 10 d mostraron máximos de respiración al cuarto y quinto día, respectivamente, al salir de la refrigeración (figura 1 C; cuadro 1) y mostraron significativamente mayor producción de CO_2 que los frutos maduros sin refrigerar (figura 1 C; cuadro 1).

Los frutos cambiantes sin refrigeración iniciaron la respiración con valores de $3.6 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$, y alcanzaron valores mínimos de $2.3 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ después de 5 d de almacenamiento a temperatura ambiente. Estos valores se incrementaron posteriormente hasta llegar a un máximo de $3.9 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ en el noveno día (figura 1 B). Los frutos con maduración cambiante almacenados a 5 °C por 5 d mostraron un comportamiento similar al de los frutos testigo, y alcanzaron su máximo de producción al día 7 (figura 1 B; cuadro 1). Los frutos cambiantes almacenados por 10 d en refrigeración alcanzaron su máximo a los 5 d de haber salido de refrigeración, con un máximo de producción de CO_2 de $4.1 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ (figura 1 B; cuadro 1). No se detectaron diferencias significativas entre los frutos cambiantes en refrigeración y sin refrigeración (cuadro 1).

Los frutos verdes almacenados a temperatura ambiente mostraron un máximo de respiración ($4.1 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) al tercer día; posteriormente, ésta disminuyó en el quinto día ($2.3 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) y nuevamente se incrementó en el séptimo día ($3.8 \text{ mL kg}^{-1}\text{h}^{-1}$; figura 1

Cuadro 1. Producción de CO₂ en frutos de ciruela mexicana 'Cuernavaqueña' durante la maduración, previo almacenamiento a 5 °C por 5 y 10 d.

TIPO DE PRADERA	RESPIRACIÓN	
	DÍA CLIMATERIO	VALOR MÁXIMO (mL kg ⁻¹ h ⁻¹)
FV maduración a TA	5	3.8 ^{bc*}
FC maduración a TA	9	3.9 ^{bc}
FM maduración a TA	7	3.4 ^c
FV, 5d a 5 °C + maduración a TA	4	3.7 ^{bc}
FC, 5d a 5 °C + maduración a TA	6	3.6 ^{bc}
FM, 5d a 5 °C + maduración a TA	6	4.4 ^{bc}
FV, 10 d a 5 °C + maduración a TA	5	5.5 ^a
FC, 10 d a 5 °C + maduración a TA	5	4.1 ^{ab}
FM, 10 d a 5 °C + maduración a TA	5	4.6 ^{ab}
DMS		1.0
C.V.		20.2

* Medias en el sentido de la columna con letras iguales indican similitud estadística de acuerdo a la prueba de la diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$). FV=frutos verdes; FC=frutos cambiantes; FM=frutos maduros; TA=temperatura ambiente (20 °C ± 2 °C; 60% HR).

A). Los frutos de color verde almacenados por 5 y 10 d en refrigeración alcanzaron su máximo de producción en el día cuatro y cinco, respectivamente (figura 1 A). Los frutos color verde almacenados por 10 d tuvieron significativamente mayor velocidad de respiración que los frutos refrigerados por 5 d o a temperatura ambiente (figura 1; cuadro 1).

El tiempo de almacenamiento a temperatura baja incrementó la producción de CO₂ después de la refrigeración. En promedio, los frutos almacenados a 20 °C y a 5 °C por 5 o 10 d mostraron valores de 3.7, 3.9 y 4.7 mL kg⁻¹h⁻¹, respectivamente, lo que indica que el almacenamiento a 5 °C por 10 d incrementó la velocidad de respiración. Alia *et al.* (2005), para zapote mamey (*Pouteria sapota*), reportan que el almacenamiento por 21 d a 5 °C ocasionó un incremento significativo en la velocidad de respiración en comparación con frutos almacenados a temperatura ambiente, lo que se asoció con daño por frío. Valero y Serrano (2010) indican que el daño por frío se presenta cuando los frutos son almacenados a temperaturas entre 2 y 10 °C y que, dentro de los efectos principales de este desorden, está el daño a las membranas celulares, que ocasiona reacciones secundarias como el incremento en la velocidad de respiración.

Color

Los frutos cosechados maduros sin refrigeración o almacenados por 5 d a 5 °C mostraron valores de L* entre 46.2 y 52.0 al inicio del experimento, los cuales se incrementaron a un rango entre 54.0 y 56.8 después de 6 d. No sucedió lo mismo con los frutos almacenados a 5 °C por 10 d, que mantuvieron sus valores de L* sin cambio durante 5 d (figura 2 A). Los frutos cambiantes tuvieron valores de L* entre 43.2 y 46.5 al inicio del experimento. Cuando no se refrigeraron, los valores de L* se incrementaron a 63.4 después de 8 d. Similar tendencia tuvieron los frutos almacenados por 5 d a 5 °C, aunque en este caso el valor máximo de L* fue de 57.8 después de 7 d para, posteriormente, disminuir (figura 2 B). Finalmente, los frutos almacenados por 10 d mantuvieron valores de L* cercanos a 43.2 durante 5 d (figura 2 B). Los frutos cosechados verdes mostraron un comportamiento muy similar al de los frutos cambiantes (figura 2 C).

Los frutos cosechados verdes, cambiantes y maduros, almacenados a temperatura ambiente iniciaron con valores de C* entre 25 y 33. Después de 8 d, los valores de C* se incrementaron entre 53.8 y 66 (figura 2 D-F). Los frutos de ciruela mexicana almacenados a 5 °C por 5 o 10 d en cualquier etapa de

Cuadro 2. Sólidos solubles totales (SST) durante la maduración de frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ cosechados en diferentes etapas de maduración y almacenados previamente por 5 ó 10 d a 5 °C, 85% HR.

TRATAMIENTO	DÍAS					
	1	3	5	7	9	11
FM maduración a TA	23.4 ^{az}	22.8 ^b	24.9 ^{ab}	25.0 ^b	25.0 ^a	-
FC maduración a TA	10.6 ^{cd}	19.0 ^c	21.0 ^{bc}	23.8 ^{bc}	24.4 ^a	25.8 ^a
FV maduración a TA	7.1 ^d	16.3 ^{cd}	17.7 ^{cd}	21.0 ^c	20.7 ^b	23.4 ^b
FM, 5 d a 5 °C + maduración a TA	22.9 ^a	25.7 ^{ab}	27.1 ^a	28.4 ^a	-	-
FC, 5 d a 5 °C + maduración a TA	13.7 ^{bc}	18.4 ^{cd}	21.0 ^{bc}	23.9 ^{bc}	-	-
FV, 5 d a 5 °C + maduración a TA	11.2 ^{cd}	11.7 ^e	20.1 ^{bd}	21.4 ^c	-	-
FM, 10 d a 5 °C + maduración a TA	24.2 ^a	26.4 ^a	25.3 ^{ab}	-	-	-
FC, 10 d a 5 °C + maduración a TA	16.6 ^{1b}	18.0 ^{cd}	16.3 ^{cd}	-	-	-
FV, 10 d a 5 °C + maduración a TA	13.0 ^{bc}	15.7 ^d	14.5 ^d	-	-	-
CV	16.1	8.5	15.0	7.3	7.1	4.7
DMSH	5.1	3.1	5.9	3.1	2.9	1.5

^z: letras iguales en el sentido de las columnas indican similitud estadística de acuerdo a la prueba de Tukey.
FV=frutos verdes, FC=frutos cambiantes, FM=frutos maduros, TA=temperatura ambiente (20 °C ± 2 °C; 60% HR).

maduración no alcanzaron los valores de cromaticidad de los frutos que no fueron refrigerados (figura 2 D-F).

El matiz (h) de los frutos maduros sin refrigeración cambió de 64.6 a 49.6 en 9 d (figura 2 G); es decir, se acercaron más al color rojo. Los frutos cambiantes y verdes en las mismas condiciones cambiaron de h=83 (cerca al amarillo) y h=108 (verde), a h=60 y h=63 (naranja), respectivamente (figura 2 H, I). Los frutos almacenados por 5 d a 5 °C mostraron cambios en el color de la epidermis similares a los de los frutos no refrigerados (figura 2 G). No sucedió lo mismo con los frutos almacenados a 5 °C por 10 d, cuyos colores de epicarpio no superaron valores de h=85 y h=82 (figura 2 G-I).

Los resultados anteriores sugieren que los frutos de ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’ almacenados por 10 d a 5 °C tuvieron daño por frío severo, en tanto que los frutos almacenados por 5 d a 5 °C presentaron menor respuesta a este desorden (datos no mostrados). Krastch y Wise (2000) indican que la causa inicial del daño por frío es el daño de las membranas celulares, que incluye una desorganización del cloroplasto. Maldonado-Astudillo *et al.* (2014) indican que los cambios de color observados durante el proceso de maduración de ciruela mexicana es el resultado del metabolismo de clorofilas y carotenoides. Lo anterior sugiere que el almacenamiento a bajas temperaturas

afecta negativamente el desarrollo del color durante la maduración de la ciruela mexicana ‘Cuernavaqueña’.

Por otra parte, en los frutos de ciruela mexicana refrigerados se observó la presencia de “picado” en la epidermis (datos no mostrados), lo que también afectó el registro del color (datos no mostrados). En relación con esto, Graham *et al.* (2001) indican que el picado de la epidermis se presenta en frutos verdes, cambiantes y $\frac{3}{4}$ de maduros sólo después de 4 d, cuando se almacenan a 4 o 5 °C. El daño por frío es menor cuando se almacenan a 9 y 10 °C (Mohamed, 2011).

Sólidos solubles totales (SST)

Los SST iniciales en los frutos de ciruela mexicana verdes, cambiantes y maduros almacenados a temperatura ambiente fueron diferentes significativamente al inicio del experimento con 7.1, 10.6 y 23.4 °Brix, respectivamente (cuadro 2). En los frutos maduros, después de 9 d, el contenido de SST se incrementó a 25 °Brix, en tanto que los frutos cambiantes y verdes tuvieron un incremento a 25.8 y 23.4 °Brix después de 11 d. Los frutos verdes presentaron significativamente la menor acumulación de SST (cuadro 2). Bautista-Baños *et al.* (2003), tras evaluar ciruelas verdes y con $\frac{3}{4}$ de maduración, indicaron que las

primeras mostraron, respectivamente, valores de 10.4 a 22.7 °Brix al cosecharlas, y de 22.7 a 25.9 °Brix después de 4 d de almacenamiento a temperatura ambiente. Estos resultados son similares a los encontrados en el presente trabajo respecto a los valores de concentración de SST, pero el tiempo para alcanzarlos fue variable, probablemente debido a que el periodo de vida en poscosecha de los frutos evaluados es considerablemente amplio (9 d en la etapa madura; 11 d en las etapas media madura y verde), o bien debido a las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente de evaluación.

Los frutos maduros almacenados a 5 °C por 5 y 10 d presentaron valores iniciales de 22.9 y 24.2 °Brix, respectivamente, al salir del almacenamiento en refrigeración. Estos valores se incrementaron a 28.4 y 25.3 °Brix a los 7 y 5 d, respectivamente (cuadro 2). Los frutos de maduración media almacenados durante 5 d tuvieron valores iniciales de 13.7 °Brix, mientras que los almacenados durante 10 d tuvieron valores de 16.6 °Brix al salir del almacenamiento en refrigeración. Los primeros se incrementaron significativamente a 23.9 °Brix a los 8 d después del almacenamiento en refrigeración. En contraste, los frutos almacenados por 10 d a 5 °C no superaron los 20 °Brix.

Finalmente, en los frutos verdes almacenados en refrigeración durante 5 d se presentó un incremento de SST de 11.2 °Brix (inicial) a 21.7 °Brix (en el día siete). Por su parte, en los frutos verdes almacenados en refrigeración durante 10 d, los SST, que al día 1 fueron de 13 °Brix, no alcanzaron los 15 °Brix al quinto día (cuadro 2). Los resultados sugieren que hay un efecto negativo al almacenar los frutos por más de 10 d a 5 °C debido a que se afecta la acumulación de los sólidos solubles—es decir, el contenido de azúcares que contribuye al sabor del fruto— durante la poscosecha.

La causa primaria del daño por frío es la afectación de las membranas de la célula vegetal, que incluye la desorganización de la mitocondria y cloroplastos. Esto conduce a una cascada de eventos secundarios, entre ellos un incremento en la permeabilidad de la membrana y salida de iones (Krašťch y Wise, 2000). Beaudry *et al.* (1989) demostraron que la integridad de la membrana de amiloplastos es requerida para una degradación normal del almidón y posterior metabolismo de sus productos. En el presente trabajo, el almacenamiento a 5 °C por 10 d en los frutos verdes afectó negativamente los sólidos solubles totales. Esto confirma los síntomas de daño por frío en ciruela mexicana 'Cuernavaqueña'.

CONCLUSIONES

La respiración se incrementó significativamente al salir de refrigeración después de 10 d a 5 °C cuando los frutos fueron verdes o cambiantes. El color y sólidos solubles totales fueron afectados negativamente después de refrigerarse por 10 d a 5 °C. Los frutos de *S. purpurea* almacenados a 5 °C durante 5 y 10 d presentaron sintomatología de daño por frío al ser expuestos a temperatura ambiente y el daño fue mayor al aumentar el periodo de tiempo de almacenamiento refrigerado.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo de SEP-PROMEP a la 'Red de Ciencia y Tecnología Pre y Postcosecha' para la publicación del presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- Alia-Tejacal I., M. T. Colinas L., R. M. Soto H. 2005. Daños por frío en zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn). I. Cambios en volátiles, firmeza y azúcares totales. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28: 17-24.
- Alia-Tejacal, I., Y. I. Maldonado-Astudillo, C. A. Núñez-Colín, L. A. Valdez-Aguilar, S. Bautista-Baños, E. García-Vázquez, R. Ariza-Flores, F. Rivera-Cabrera. 2012. Caracterización de frutos de Ciruela Mexicana (*Spondias purpurea* L.) del sur de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35 (5): 21- 26.
- Avitia, G. E., G. A. Castillo, B. E. Pimienta. 2000. Ciruela mexicana y otras especies del genero *Spondias* L. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 75 p.
- Bautista-Baños, S., J. C. Díaz-Pérez, L. L. Barrera-Necha, L. Bravo-Luna. 2003. Postharvest study of red mombin (*Spondias purpurea*) fruit during storage. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 5 (2): 82-85.
- Beaudry, R. M., R. Severson, C. C. Black, S. J. Kays. 1989. Banana ripening: implications of changes in glycolytic intermediate concentrations, glycolytic and gluconeogenic carbon flux, and fructose 2,6-biphosphate concentration. *Plant Physiology* 91: 1436-1444.
- Beserra, A. M. M., P. E. Machado de S., A. M. Campos A., G. Matías do P., C. E. de Carvalho M., G. Arraes M., T. L. Gomes de L. 2011. Bioactive compounds and the antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Research International* 44: 2155-2159.
- Castillo, M. L. E. 2011. Introducción al SAS® para windows. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México. 295 p.
- Dorado O., A. Flores C., J. M. de Jesús-Almonte, D. M. Arias, D. Martínez-Alvarado. 2012. Árboles de Cuernavaca. Nativos y Exóticos. Guía para su Identificación. Tropicco Seco Ediciones-Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, México. 359 p.
- Graham, O., L. D. Wickham, M. Mohamed. 2001. Respiration and ethylene production rates of chilli plums (*Spondias purpurea*) during storage. *Proceedings of the 37 Annual Meeting of Caribbean Food Crops Society* 37: 243-251.
- Koziol, M. J., M. J. Macía. 1998. Chemical composition, nutritional evaluation, and economic prospects of *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). *Economic Botany* 52: 373-380.
- Kratsch, H. A., R. R. Wise. 2000. The ultrastructure of chilling stress. *Plant, Cell and Environment* 23: 337-350.
- Maldonado-Astudillo, Y. I., I. Alia-Tejacal, C. A. Núñez-Colín, J. Jiménez-Hernandez, C. Pelayo-Zaldívar, V. López-Martínez, M. Andrade-Rodríguez, S. Bautista-Baños, S. Valle-Guadarrama. 2014. Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* L. and *S. Mombin*. *L. Scientia Horticulturae* 174: 193-206.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27: 1254-1255.
- Mohamed, M. 2011. Chili plum (*Spondias purpurea* var. *Lutea*). pp. 423-436. In: *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits. V. 2. Acai to citrus*. Yahia E. (Ed.). Woodhead Publishing.
- Montero-Calderón, M., M. de M. Cerdas-Araya. 2012. Postharvest Physiology and Storage. pp. 27-33. In: *Tropical and Subtropical Fruits. Postharvest Physiology, Processing and Packaging*. Siddiq M (ed.). Wiley-Blackwell. Ames, Iowa, USA.
- Morton, J. 1987. Purple mombin. pp. 242-245. In: *Fruits of warm climates*. Morton, J. F. (ed.). Miami, FL.
- Osuna, G. J. A., B. M. H. Pérez, V. V. Vázquez, J. R. Gómez. 2011. Application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on Mexican Plum (*Spondias purpurea* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 34: 197-204.
- Pennington, D. T., J. Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. UNAM-FCE. Tercera Edición. México, D. F. 523 p.
- Rees, D. 2012. Introduction. pp. 1-4. In: *Crop Post-Harvest: Science and Technology. Perishables*. Rees D, G Farrel, J Orchard (eds.). Wiley-Blackwell. Ames, Iowa, USA.
- Solórzano-Morán, S., I. Alia-Tejacal, F. Rivera-Cabrera, V. López-Martínez, L. J. Pérez-Flores, C. Pelayo-Zaldívar, D. Guillén-Sánchez, F. D. De León-Sánchez, Y. I. Maldonado-Astudillo. 2015. Quality attributes and functional compounds of mexican plum (*Spondias purpurea* L.) fruit ecotypes. *Fruits* 70: 261-270.
- Salveit, M. E. 2016. Respiratory metabolism. pp: 139-156. In: *Postharvest Ripening Physiology of Crops*. Parrek, S. (ed.). CRC Press-Taylor & Francis Group. Boca Raton, Florida, USA.
- Valero, D., M. Serrano. 2010. Postharvest biology and technology for preserving fruit quality. CRC Press. Taylor & Francis. Boca Raton, FL, USA. 269 p.