

EFFECTO DEL GRADO DE MADUREZ EN LA CALIDAD Y VIDA POSTCOSECHA DE CIRUELA MEXICANA (*Spondias purpurea* L.)

EFFECT OF THE MATURITY STAGE ON POSTHARVEST QUALITY AND SHELF LIFE IN MEXICAN PLUM (*Spondias purpurea* L.) FRUITS

Artemio Pérez López^{1,2*}, Crescenciano Saucedo Veloz¹, Ma. de Lourdes Arévalo Galarza¹ y Alfonso Muratalla Lúa¹

¹ Programa en Fruticultura, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 carr. México-Texcoco. C.P. 56230 Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Tel. 01 (595) 952-0233. ² Dirección actual: Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. CP. 56230. Texcoco, Edo de México. Tel. 01 (595) 952-1500 ext. 5642, 5692, 5742 Correo electrónico: perezartemio@correo.chapingo.mx

* Autor responsable

RESUMEN

La ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) es un cultivo ampliamente distribuido en México, pero sus frutos son altamente perecederos en postcosecha (1 a 3 d a temperatura ambiente) con pérdidas aceleradas de firmeza susceptibilidad a pudriciones y cambios en su sabor. Un estado de madurez óptimo de cosecha en combinación con bajas temperaturas de almacenamiento, es una alternativa para prolongar la vida postcosecha de estos frutos. Se estudió el comportamiento fisiológico y fisicoquímico de frutos cosechados con coloración verde, ½ y ¾ de amarilla en la piel, a temperatura de comercialización (20±2 °C) y almacenamiento refrigerado (8±2 °C y 12±2 °C durante 1 semana). Los resultados de respiración y producción de etileno mostraron un comportamiento no climatérico. Durante el almacenamiento a 20±2 °C hubo pérdidas significativas en ácido ascórbico y peso fresco, e incrementos significativos en acetaldehído y etanol. Los frutos cosechados con ½ y ¾ amarillo almacenados a 20±2 °C presentaron calidad comercial sólo por 2 d, así mismo los almacenados durante 1 semana a 12±2 °C lo fueron 2 d después de haber sido transferidos a temperatura ambiente. El almacenamiento a 8±2 °C ocasionó daño por frío con consecuentes incrementos en la fuga de electrolitos. Se determinó que el estado de madurez más conveniente para cosecha es el estado ½ amarillo..

Palabras clave: *Spondias purpurea* L., almacenamiento, daño por frío, grado de madurez, senescencia.

SUMMARY

Mexican plum (*Spondias purpurea* L.) is widely distributed throughout the country, but its fruits are highly perishable during postharvest management (1 to 3 d at room temperature), displaying rapid softening, susceptibility to decay and taste changes. An optimum maturity stage at harvest combined with low storage temperatures, is an option for extending their shelf life. An assay was carried out on the physiological and physicochemical behavior of fruits harvested at different skin colors: green, and ½ and ¾ yellow, managed at market temperature (20±2 °C) and refrigerated storage (8±2 °C and 12±2 °C for 1 week). The results showed that this is a non-climacteric fruit, based on its respiration and ethylene production

rates. There were significant losses in ascorbic acid and fresh weight as well as increases in acetaldehyde and ethanol, during storage at 20±2 °C. Fruits harvested with ½ and ¾ yellow skins and stored at 20±2 °C became marketable on the second day; those stored at 12±2 °C became suitable for consumption only after transferred to room temperature. Storage at 8±2 °C caused chilling injury and, consequently, an increase in electrolyte leakage. It was inferred that the ideal harvesting stage is when fruits are ½ yellow.

Index words: *Spondias purpurea* L., storage, chilling injury, maturity stage, senescence.

INTRODUCCIÓN

Los frutales del género *Spondias* pertenecen a la familia Anacardiaceae; la taxonomía y definición del número de especies que conforman este género es confusa y hasta controversial entre los taxónomos. Así, Airy-Shaw y Forman (1967) consideran 10 especies, mientras que Kostermans (1991) considera 14 especies. Las especies más reconocidas e introducidas al cultivo son: *S. purpurea* L., *S. mombin* L., *S. cytherea* Sonner, *S. tuberosa* Arruda y *S. pinnata*. La ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) tiene su origen en el sur de México y Centroamérica, y se distribuye hasta Perú y Brasil, donde se le ha encontrado tanto de manera silvestre como cultivada (Morton, 1987).

El fruto de ciruela mexicana posee buenas cualidades organolépticas y nutricionales (Koziol y Macía, 1998), y tiene una amplia demanda para su consumo en fresco en los mercados cercanos a las zonas de producción. El problema central en estos frutos es su corto periodo de almacenamiento después de la cosecha, lo que dificulta su

comercialización. Según Alves *et al.* (2000), su periodo de vida al ambiente es de sólo 1 d en estado maduro y de 3 d cuando se cosecha con ligero color verde. Pereira *et al.* (2000), tras evaluar el comportamiento fisiológico de frutos cosechados en estado verde y amarillo, observaron picos climatéricos de producción de CO₂ (con 190 y 430 mg/kg-h, respectivamente) y de etileno (con 3.60 y 11.0 µL/kg-h, respectivamente); estos valores fueron encontrados a las 33 h de almacenamiento en las ciruelas amarillas y 81 h en las verdes, pero los frutos verdes no desarrollaron el color deseado para su consumo.

El desconocimiento del momento óptimo de cosecha de los frutos de ciruela mexicana, así como de los mecanismos fisiológicos y bioquímicos que conducen a su rápido deterioro en postcosecha, permiten plantear en el presente estudio los siguientes objetivos: establecer los principales cambios bioquímicos, biofísicos y fisiológicos que determinan la calidad y vida postcosecha de frutos de ciruela mexicana, cosechados en tres estados de madurez y almacenados en condiciones de comercialización, así como evaluar el efecto de dos temperaturas de refrigeración en dichos cambios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon frutos de ciruela mexicana provenientes de un huerto localizado en la comunidad de Santa Ma. Colotepec, Pochutla, Oaxaca, México. El fruto estudiado es de forma oval, de color amarillo rojizo en estado maduro, con un peso promedio de 20.2 g, diámetro longitudinal de 4 cm y transversal de 3 cm; su contenido de pulpa varía entre 61 y 64 %.

Se obtuvieron muestras homogéneas de frutos al momento de la cosecha, con base en la coloración externa del fruto y su diámetro. Para medir el crecimiento del fruto se eligieron 120 frutos de tres árboles al azar, en los que con un vernier se registró el diámetro (mm) a los 38 d después de anthesis y posteriormente cada 10 d. Los estados de madurez se determinaron mediante una escala arbitraria en la que el estado verde corresponde a frutos color verde intenso en toda la superficie; ½ amarillo equivale a 50 % de la superficie del fruto con color amarillo rojizo, y ¾ amarillo a 75 % de la superficie del fruto con coloración amarillo rojizo. La cosecha de estos frutos se hizo a los 113, 117 y 119 d después de anthesis, respectivamente. Después se hizo una clasificación por sanidad, con el fin de eliminar frutos con daños mecánicos o por microorganismos. Los frutos se trasladaron al Laboratorio de Fisiología Postcosecha del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Estado de México, en un viaje de 8 h.

Los frutos de cada uno de los tres estados de madurez se dividieron en tres subgrupos, a cada uno de los cuales se les asignó al azar una de las siguientes condiciones de almacenamiento: 20±2 °C, con evaluación en los 0, 2 y 4 d; 8±2 °C con 75-80 % HR durante 1 semana, con evaluación a los 0, 2 y 4 d, a temperatura ambiente; y 12±2 °C con 75-80 % HR durante 1 semana, con evaluación 0, 2 y 4 d, a temperatura ambiente. Se usó el diseño experimental completamente al azar para la asignación de condiciones de almacenamiento, con tres repeticiones, y la unidad experimental fue de cinco frutos.

La respiración (CO₂) y producción de etileno se cuantificaron mediante un sistema estático (Mendoza-Wilson y Báez-Sañudo, 2000) que consistió en colocar frutos de peso conocido, en recipientes con volumen también conocido y cerrados herméticamente durante 1 h. Posteriormente se tomó una muestra de 1 mL de aire del espacio de cabeza para inyectarla a un cromatógrafo de gases Hewlett Packard 5890 serie II, con una columna tipo abierta con empaque de capa porosa de sílica, conectada simultáneamente a un detector (A) de ionización de flama (FID) y otro (B) de conductividad térmica (TCD). La temperatura de la columna fue de 150 °C, la del detector A de 180 °C y la del detector B de 180 °C. Estas determinaciones se realizaron diariamente durante 4 d y se reportaron en mg de CO₂/kg-h y µL de C₂H₄/kg-h, respectivamente.

El peso se registró diariamente en una balanza digital, de donde se calculó el porcentaje de pérdida de peso con base en el peso al inicio del almacenamiento. Se midió el contenido de ácido ascórbico (mg/100 g de porción comestible) por el método de titulación con solución de Tillman (2,6 diclorofenol-indofenol 0.02 %), descrito por la AOAC (1980). Los sólidos solubles totales (°Brix) y la acidez titulable (% de ácido málico) se obtuvieron con la metodología propuesta por la AOAC (1990), con cuyos datos se obtuvo la relación °Bx/acidez. El contenido de acetaldehído y etanol se determinó por el método de espacio de cabeza, descrito por Davies y Chace (1969), que consistió en colocar 5 g de pulpa en viales de 25 mL, los cuales se sellaron y posteriormente se incubaron con agitación en baño maría a 30 °C durante 10 min; se extrajo con una jeringa 1 mL de gas del espacio de cabeza y se inyectó al cromatógrafo de gases Hewlett Packard 5890 serie II, con temperatura de la columna de 150 °C, la del detector A de 180 °C y la del detector B de 180 °C. Los contenidos se reportaron en mg/100 g de pulpa.

De manera visual se determinó el por ciento de daño por frío (manchas oscuras y hundidas en la piel del fruto) a las 12 h después de que los frutos fueron retirados de almacenamiento refrigerado, de acuerdo con lo establecido por Manzano (1998). Se consideraron los frutos que

mostraron un daño moderado a causa del frío, lo cual los hace perder totalmente la calidad comercial. La fuga de electrolitos se determinó según el método de King y Ludford (1983), que consistió en tomar tres discos de 12 mm de diámetro del pericarpio, de la región ecuatorial de tres frutos; los discos se pesaron y enjuagaron con agua destilada, y luego se colocaron en 100 mL de una solución de manitol 0.4 M a temperatura ambiente. Se midió la conductividad eléctrica de la solución, después de un periodo de 2 h, con un medidor de conductividad Bridge mod. 31. Posteriormente la solución fue sometida a un tratamiento de ebullición durante 30 min y luego enfriada para medir la conductividad final, que fue tomada como el total de electrolitos liberados. Se reportó el porcentaje de electrolitos liberados en 2 h con respecto al total. En los frutos refrigerados la determinación se hizo 4 h después de ser transferidos a temperatura ambiente.

Las variables estudiadas en los frutos almacenados a temperatura ambiente, se analizaron estadísticamente mediante análisis de varianza y pruebas de comparación de medias con la prueba de Tukey a un $\alpha=0.05$ entre los días de evaluación (0, 2 y 4). En los frutos refrigerados tales variables se sometieron a un análisis factorial, donde los factores estado de madurez y temperatura tenían tres y dos niveles, respectivamente. Para todos los análisis estadísticos se usó el paquete computacional Statistical Analysis System versión 6.12 (SAS, 1985). Los datos de respiración y producción de etileno se graficaron con el paquete computacional Sigma Plot 2000, donde se señala la comparación de medias de las tres repeticiones entre las horas de evaluación para cada estado de madurez.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Intensidad respiratoria y producción de etileno

De acuerdo con los resultados obtenidos (Figura 1), los frutos cosechados en estado $\frac{3}{4}$ amarillo y almacenados a 20 °C, mostraron inicialmente una mayor velocidad de respiración (61.3 mg CO₂/kg-h) en comparación con los verdes y $\frac{1}{2}$ amarillo (56.0 mg CO₂/kg-h); de acuerdo con Alves *et al.* (2000) y Pereira *et al.* (2000) eso confiere a los primeros un mayor grado de perecibilidad. En ninguno de los tres estados de madurez estudiados se observaron cambios significativos en la velocidad de respiración durante el periodo de almacenamiento establecido, lo que sugiere un comportamiento no climatérico de los frutos.

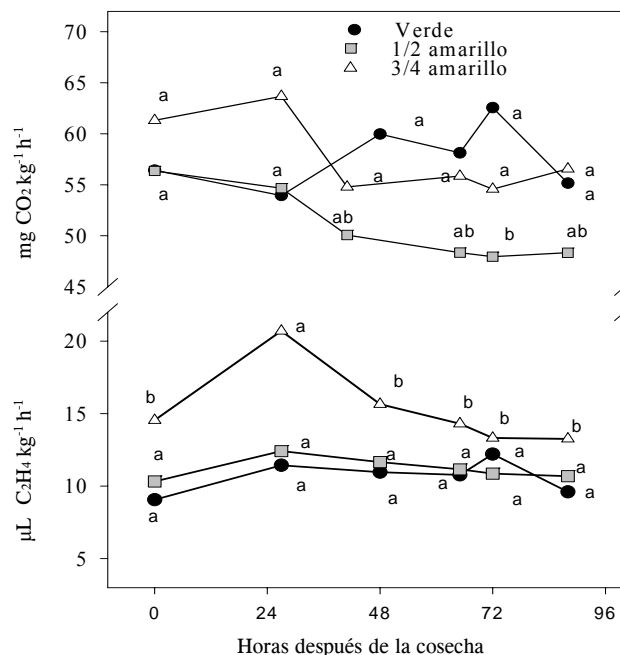


Figura 1. Velocidad de respiración y producción de etileno en frutos de ciruela mexicana almacenados a temperatura ambiente (20±2 °C). Medias con letras iguales para cada estado de madurez, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Tampoco se observaron incrementos significativos en la producción de etileno en los tres estados de madurez, con excepción de los frutos en estado $\frac{3}{4}$ amarillo, en los que se registró un aumento significativo a las 27 h después de cosecha (20.7 µL/Kg-h) (Figura 1), aumento que no estuvo relacionado con la capacidad del fruto para realizar cambios de color, sabor y aroma, inherentes a la maduración (Jones *et al.*, 2001); tal aumento se considera una manifestación de inicio de la senescencia (Yang, 1987), toda vez que después del segundo día presentó deterioro en su aspecto y cambios desfavorables en aroma y textura. En general, este comportamiento resultó contrario al de los frutos climatéricos, en los cuales durante el proceso de maduración la biosíntesis del etileno es responsable de coordinar la expresión de genes que causan incrementos significativos en la respiración y la producción autocatalítica de etileno, en armonía con cambios en color, textura, aroma y el sabor del fruto, y que finalmente conducen al desarrollo de cualidades óptimas para su consumo (Bangeth, 1988; Oetiker y Yang, 1995).

Estos resultados muestran el comportamiento no climatérico de los frutos de ciruela mexicana utilizados en el presente estudio, debido a que no hubo evidencia de cambios que favorecieran su maduración, sino un metabolismo inherente a la senescencia de frutos no climatéricos (Hobson, 1981; Kader, 1985). Los frutos cosechados con coloración verde no fueron capaces de desarrollar cambios en su color, sabor y aroma; los cosechados en estado $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$

amarillo mostraron una calidad aceptable para el consumo sólo hasta 2 d después de cosecha, periodo tras el cual los frutos se deterioraron rápidamente.

Por el contrario, Pereira *et al.* (2000) afirman que los frutos de ciruela mexicana producidos en Brasil presentan un patrón climatérico, ya que después de 33 h de almacenamiento a temperatura ambiente (23° C) en los frutos amarillos la respiración se elevó desde 300 hasta 430 mg de CO₂/kg-h y el etileno de 7 hasta 11 µL/kg-h, y en los frutos verdes la respiración se elevó desde 125 a 190 mg de CO₂/kg-h y el etileno de 0.5 hasta 3.6 µL/kg-h a las 81 h. Al considerar la confusión que aún se tiene sobre la clasificación y definición del número de especies del género *Spondias* (Avitia *et al.*, 2000), es de inferirse que existen diferencias en los requerimientos de maduración entre la gran diversidad de tipos clasificados como ciruela mexicana.

Los frutos verdes y 1/2 amarillos almacenados por 1 semana a 12 °C mostraron un incremento en la velocidad de respiración que fue significativo sólo en los 1/2 amarillos, a las 74 h después de ser transferidos a condiciones de comercialización. En el caso de los frutos 3/4 amarillos, la respiración y la producción de etileno no presentaron cambios significativos (Figura 2). Este comportamiento es reflejo de la sensibilidad de los tejidos a la temperatura de refrigeración, pues de acuerdo con Kader (1995) después de la refrigeración los tejidos de productos hortofrutícolas altamente sensibles experimentan cambios fisiológicos similares a la de una situación de estrés. En el caso de los frutos almacenados a 8 °C y posteriormente transferidos a 20 °C en los tres estados de madurez, se observaron aumentos significativos en la velocidad de respiración y producción de etileno (Figura 3), que coincide con la aparición de síntomas de daño por frío, expresados como manchas oscuras hundidas en la piel del fruto, daños que según Wang (1982) aumentan la respiración y síntesis de etileno.

Daño por frío y pérdida de electrolitos

Los frutos cosechados en estado verde mostraron mayor sensibilidad al frío, ya que después de una semana de almacenamiento a 8 °C, la mitad de ellos mostraron síntomas del desorden fisiológico, mientras que en los expuestos a 12 °C el daño solo fue en 15 % de los frutos. En los estados 1/2 y 3/4 amarillos, los daños fueron visibles sólo a la temperatura de 8 °C. Lo anterior concuerda con lo reportado por Manzano (1998), quien señala que los daños por frío en frutos de ciruela mexicana son visibles a la temperatura de conservación entre 5 y 10±2 °C.

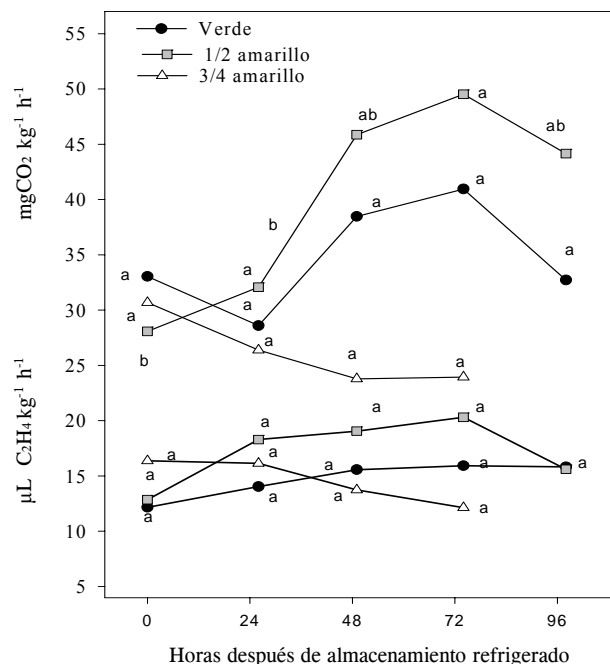


Figura 2. Velocidad de respiración y producción de etileno en frutos de ciruela mexicana después de una semana de almacenamiento refrigerado (12±2 °C) y luego ser transferidos a temperatura ambiente (20±2 °C). Medias con letras iguales para cada estado de madurez, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

También se observó una respuesta similar en la fuga de electrolitos (Figura 4), que fue más alta en los frutos con mayor porcentaje de daño. Este comportamiento permite inferir que la respuesta de los tejidos de frutos de ciruela mexicana a las temperaturas bajas de conservación, se traduce en un incremento en la permeabilidad de membranas que conduce a una alteración en el balance de iones y, por tanto, a la fuga de éstos (Lyons, 1973; Palta, 1990; Leshem, 1992). Es conveniente resaltar que la fuga de electrolitos en los frutos fue observado antes del desarrollo de los síntomas visuales del daño, por lo que dicha fuga pudiera emplearse como un índice de susceptibilidad al frío del fruto en los diferentes estados de madurez.

Pérdida de peso

En cuanto a las pérdidas de peso se observaron diferencias estadísticas a partir del cuarto día de almacenamiento a temperatura del ambiente, en los tres estados de madurez y condiciones de almacenamiento estudiadas (Cuadro 1). Los síntomas de marchitamiento en los frutos, como la pérdida de humedad, fueron visibles cuando las pérdidas fueron superiores a 11 % del peso inicial. En general, los frutos de los tres estados de madurez expuestos directamente a 20 °C por 2 d, perdieron entre 7.6 y 8.8 % de su peso. El factor estado de madurez fue significativo (P<0.01) en las pérdidas de peso en los frutos refrigerados, mientras que la interacción EMxT no fue significativa

(Cuadro 3). De acuerdo con Burton (1982), las pérdidas de peso no sólo dependen de las condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad relativa y tiempo de exposición), sino también del estado de madurez y presencia de daños en el producto.

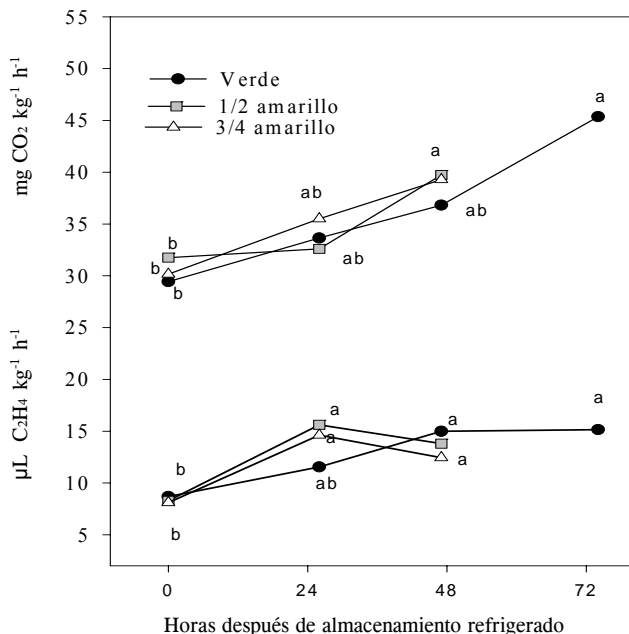


Figura 3. Velocidad de respiración y producción de etileno en frutos de ciruela mexicana después de una semana de almacenamiento refrigerado ($8 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) y luego ser transferidos a temperatura ambiente ($20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$). Medias con letras iguales para cada estado de madurez, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

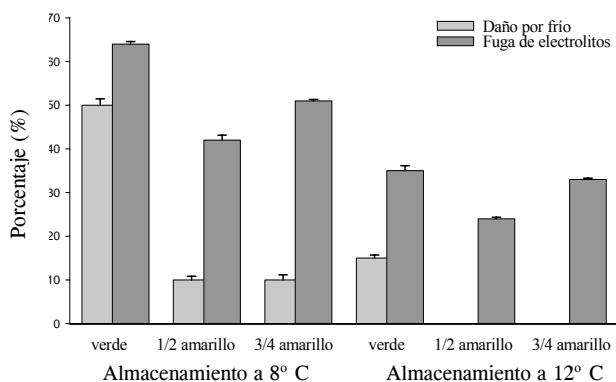


Figura 4. Presencia de daño por frío y fuga de electrolitos en frutos de ciruela mexicana después de una semana de refrigeración a $8 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ y $12 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, y luego ser transferidos a temperatura ambiente ($20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$).

Relación °Brix/acidez

La relación °Brix/acidez en los frutos 1/2 y 3/4 amarillos expuestos directamente a temperatura de comercialización, aumentó significativamente a partir del segundo día de almacenamiento, para ubicarse en 16.9 y 20.6, respectiva-

mente; en los frutos verdes no hubo incremento significativo después de 4 d de almacenamiento (Cuadro 1). En condiciones de almacenamiento refrigerado, sólo se encontró efecto significativo ($P < 0.05$) del factor grado de madurez, lo cuál se atribuye a una disminución del ácido málico y a incrementos en el contenido de SST (Cuadro 3); esto coincide con Díaz-Pérez *et al.* (1998) y Filgueiras *et al.* (2001), quienes mencionan que en frutos de ciruela mexicana los SST se incrementan y la acidez disminuye al avanzar la madurez del fruto. No existe evidencia clara acerca de las sustancias de reserva involucradas en el incremento en contenido de los SST, pues están enmascarados por otros compuestos como ácidos orgánicos, fenoles y pigmentos; es decir, la medición del contenido de °Bx no necesariamente indica el contenido de azúcares que imparten dulzor en los jugos de frutas (Echeverría e Ismael, 1990)

Etanol y acetaldehído

Smagula y Bramlage (1977) mencionan que el contenido de acetaldehído y etanol es bajo en tejidos vegetales, pero que puede incrementarse al evolucionar la senescencia. Los frutos de los tres estados de madurez estudiados y almacenados en condiciones de comercialización, incrementaron significativamente su contenido de etanol y acetaldehído a partir del segundo día (Cuadro 2). En condiciones de almacenamiento refrigerado, los contenidos de ambos metabolitos fueron significativos por el estado de madurez del fruto y la temperatura de conservación, y para etanol por efecto de interacción de factores EMxT (Cuadro 3). El incremento en el contenido de estos metabolitos sugiere que los frutos de ciruela mexicana entran rápidamente en senescencia, y sufren alteraciones importantes en el sabor.

Ácido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico fue mayor en los frutos verdes, pero disminuyó ($P \leq 0.05$) rápidamente a partir del segundo día de almacenamiento a temperatura ambiente (62.79 mg contra $88.12 \text{ mg}/100 \text{ g}$ en el día inicial); en cambio, los frutos 1/2 y 3/4 amarillos, cuyo contenido inicial fue menor, mostraron decrementos significativos hasta después del cuarto día de almacenamiento. En el segundo día los frutos 1/2 y 3/4 amarillos tuvieron cualidades aceptables para su comercialización, con un mayor contenido de ácido ascórbico en los 1/2 amarillos (Cuadro 2). Koziol y Macía (1998) y Filgueiras *et al.* (2001) reportan contenidos entre 34 y 46 mg/100 g en frutos de ciruela mexicana cosechados maduros. Después de una semana de almacenamiento refrigerado, los cambios en el contenido de ácido ascórbico fueron significativos por efecto del grado de madurez ($P \leq 0.01$) y por la interacción de éste con la

Cuadro 1. Pérdidas de peso y relación °Bx/acidez en frutos de ciruela mexicana cosechados en los estados de madurez: verde (v), ½ amarillo (½ A) y ¾ amarillo (¾ A), almacenados a la temperatura del ambiente (20±2 °C).

Días	Pérdida de peso (%)			°Brix/acidez		
	v	½ A	¾ A	v	½ A	¾ A
0	0.0 a	0.0 a	0.0 a	5.0 a	8.3 c	11.2 b
2	8.8 ab	7.6 ab	8.6 ab	12.1 a	16.9 b	20.6 a
4	9.5 b	14.5 b	17.6 b	15.1 a	22.2 a	23.4 a

Medias con letras iguales en columnas son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 2. Contenido de acetaldehído, etanol y ácido ascórbico en frutos de ciruela mexicana cosechados en los estados de madurez: verde (v), ½ amarillo (½ A) y ¾ amarillo (¾ A), almacenados a la temperatura del ambiente (20±2 °C).

Días	Acetaldehído (mg /100 g)			Etanol (mg /100 g)			Ácido ascórbico (mg /100 g)		
	v	½ A	¾ A	v	½ A	¾ A	v	½ A	¾ A
0	1.8 b	1.6 c	1.1 b	0.2 b	0.3 c	0.2 b	88.1 a	70.1 a	67.3 a
2	4.7 a	3.6 b	3.2 a	14.4 a	6.1 b	4.3 b	62.7 b	64.6 a	59.5 a
4	4.9 a	4.1 a	3.6 a	15.1 a	14.8 a	15.7 a	61.7 b	51.1 b	49.2 b

Medias con letras iguales en columnas son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 3. Medias del efecto de estados de madurez (verde, ½ amarillo, ¾ amarillo) y temperaturas de almacenamiento (8 y 12 °C) sobre las variables: pérdida de peso (PP), relación °Brix/acidez, acetaldehído (ACET), etanol (ETA) y ácido ascórbico (AA), en frutos de ciruela mexicana después de una semana de almacenamiento refrigerado a dos temperaturas.

	PP		°Brix/acidez		ACET		ETA		AA	
	8	12	8	12	8	12	8	12	8	12
verde	18.8	17.2	18.6	21.1	3.8	4.9	11.3	12.3	42.6	48.2
½ amarillo	17.7	18.9	27.8	24.1	4.5	5.0	11.0	11.7	43.2	47.2
¾ amarillo	18.3	16.7	32.6	42.1	5.4	5.3	12.6	15.3	38.5	35.9
Significancia										
EM	**		*		*		***		**	
T	ns		ns		*		**		ns	
EMxT	ns		ns		ns		***		*	

ns, *, **, ***, no significativo o significativo a P≤ 0.05, 0.01, 0.001, respectivamente.

EM=efecto del estado de madurez, T= efecto de temperatura de almacenamiento; EMxT= efecto de la interacción

temperatura de almacenamiento ($P \leq 0.05$) (Cuadro 3). Este comportamiento sugiere que el ácido ascórbico acelera su oxidación, principalmente por efecto del tiempo prolongado de almacenamiento y por el grado de madurez de cosecha del fruto (Lee y Kader, 2000).

CONCLUSIONES

Los frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) almacenados a condiciones de comercialización mostraron en postcosecha un comportamiento no climatérico, ya que la velocidad de respiración y producción de etileno no experimentaron cambios significativos en los tres estados de madurez estudiados; así mismo, los frutos cosechados en estado verde no evidenciaron cambios deseables en color, textura, aroma y sabor en los frutos relacionados con la maduración. En cambio, se observó un metabolismo inherente a senescencia.

Durante el periodo de almacenamiento a 20 °C se encontraron pérdidas significativas en el contenido de ácido ascórbico y peso fresco, así como incrementos significativos en el contenido de acetaldehído y etanol en la pulpa. El periodo de vida útil de los frutos cosechados en los estados ½ y ¾ amarillo, en las condiciones de comercialización, se sitúa en 2 d, periodo en el que los frutos conservan una calidad aceptable en las características organolépticas de apariencia externa (color).

El almacenamiento a 12±2 °C de frutos en estado ½ y ¾ amarillos, permitió prolongar su periodo de vida útil por 1 semana + 2 d a temperatura de comercialización, con características de calidad aceptables. El almacenamiento a 8±2 °C ocasionó daño por frío en los frutos, lo cual se asoció con incrementos en la fuga de electrolitos. El momento idóneo de cosecha es cuando los frutos alcanzan en el árbol 50 % de coloración amarilla en su superficie (½ amarillo), porque logran obtener una calidad aceptable de consumo en postcosecha y un mayor periodo de vida de almacenamiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Colegio de Postgraduados, las facilidades brindadas en la realización del presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Airy-Shaw H K, L L Forman (1967) The genus *Spondias* L. Anacardiaceae in Tropical Asia. Kew Bull. 21:1-20.
- Alves R E, H A C Filgueiras, J L Batista, R B Sobrinho, J L Mosca (2000) Perspectivas del uso de tratamientos físicos cuarentenarios en frutos tropicales exóticos. In: 2° Congr. Iberoamericano Tecnol. Postcosecha y Agroexportaciones. C Saucedo, F Villamizar C, R Báez S (eds). Julio 16-19, Sta. Fé de Bogotá, Colombia. pp: 21-26.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) (1980) Official Methods of Analysis. W Horwitz (ed). 13th Ed. Benjamin Franklin Station, Washington, DC 20044. USA. 1018 p.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) (1990) Official Methods of Analysis. K Helrich (ed). 15th Ed. 2200 Wilson Blvd. Arlington, Virginia 22201. USA. Vol. II. 1298 p.
- Avitia G E, A M Castillo González, E Pimienta Barrios (2000) Ciruela mexicana y otras especies género *Spondias* L. Boletín de Divulgación. Universidad Autónoma Chapingo. Mexico. 75 p.
- Bangerth F (1988) The involvement of plant hormones in the ripening behaviour of fruits. In: Maduración y Post-recolección. F Riquelme, Parra M, M. Vendrell (eds). Soc. Española de Fis. Veg. Murcia, España. pp: 7-24.
- Burton W G (1982) Post-Harvest Physiology of Food Crops. Longman. London and New York. 339 p.
- Davis P T, W K Chace (1969) Determination of alcohol in citrus juice by gas chromatographic analysis of head space. HortScience 4:117-119.
- Díaz Pérez J C, R Zavaleta, S Bautista, V Sebastián (1998) Cambios físico-químicos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) cosechados en dos diferentes estados de madurez. Rev. Iberoamericana Tecnol. Postcosecha 1:22-25.
- Echeverría E, M Ismail (1990) Sugars Unrelated to Brix Changes in Stored Citrus Fruits. HortScience 25 (6):710
- Filgueiras C H A, R E Alves, C F H Moura, A C Oliveira, N C C Araujo (2001) Calidad de frutas nativas de Latinoamérica para industria: ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.). Proc. Interamerican Soc. Tropical Hort. 43:68-71.
- Hobson G E (1981) Enzymes and texture changes during ripening. In: Recent Advances in the Biochemistry of Fruits and Vegetables. J Friend, M J C Rhodes (eds). Academic Press. London, England. pp:121-130
- Jones B, J C Pech, M Bouzayen, J M Lelievre, M Guis, F Romojaro (2001) Ethylene and developmentally-regulated processes in ripening climacteric fruit. In: Proc. Fourth International Conf. Post-harvest Sci. R Ben-Arie, S Philosoph-Hadas (eds). Acta Hort. 553:133-138 (Vol 1).
- Kader A A (1985) Postharvest Biology and Technology, an Overview. Postharvest Technology of Horticultural Crops. Cooperative Extension, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources 3311. 289 p.
- King M M, P M Ludford (1983) Chilling injury and electrolyte leakage in fruit of different tomato cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci 108(1):74-77
- Kostermans A J G H (1991) Kedondong, Ambarella, Amra. The Spondiaceae (Anacardiaceae) in Asia and the Pacific Bogoriense. Jalan Juanda 22, Bogor, Indonesia. 99 p.
- Kozioł M J, M J Macía (1998) Chemical Composition, Nutritional Evaluation and Economic Prospects of *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). Econ. Bot. 52:373-380.
- Lee S K, A A Kader (2000) Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. Postharvest Biol. Technol. 20:207-220.
- Leshem Y Y (1992) Plant Membranes. A biophysical Approach to Structure, Development and Senescence. Kluwer. London. 219 p.
- Lyons J M (1973) Chilling injury in plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 24:445-466
- Manzano J E (1998) Comportamiento de frutos de "Ciruela Huesito" (*Spondias purpurea* L.) almacenadas a diferentes temperaturas. Proc. Interam. Soc. Trop. Hort. 42:313-318.
- Mendoza-Wilson A M, R Báez-Sañudo (2000) Medición de la tasa respiratoria por sistema cerrado en melón cantaloupe. Hort. Mex. 8(2): 158-163
- Morton J F (1987) Purple mombin (*Spondias purpurea* L.). In: Fruits of Warm Climates. J F Morton (ed). Miami, FL. USA. pp:242-245.
- Oetiker J, S F Yang (1995) The role of ethylene in fruit ripening. Acta Hort. 398:167-178
- Palta J P (1990) Stress interaction at the cellular and membrane levels. HortScience 25:1377-1381.
- Pereira M E C, H A C Filgueiras, R E Alves (2000) Actividad respiratoria y producción de etileno postcosecha de ciruela mexicana y jobo. Rev. Iberoam. Tecnol. Postcosecha 2:155-160.
- SAS (1985) Statistical Analysis System. User's guide. Version 5th Ed., The Institute Cary. NC.
- Silva M S, L P Martins (2001) Carbohydrates-related changes in Red Mombin (*Spondias purpurea* L.) fruit. Proc. Interam. Soc. Trop. Hort. 45:38-41.
- Smagula J M, W J Bramlage (1977) Acetaldehyde accumulation: Is it a cause of physiological deterioration of fruits? HortScience 12:200-203.
- Sousa R P, H A C Filgueiras, R E Alves, J T A Costa, A C Oliveira (1998) Identification of the Optimum Harvest Stage for Red Mombin (*Spondias purpurea* L.). Proc. Interam. Soc. Trop. Hort. 42:319-324.
- Wang Y C (1982) Physiological and biochemical responses of plants to chilling stress. HortScience 17:173-186
- Yang S F (1987) Regulation of biosynthesis and action of ethylene. Acta Hort. 201:53-59.