

COMPORTAMIENTO DE FRUTOS DE ZAPOTE MAMEY (*Pouteria sapota*) EN ATMÓSFERAS CON BAJO O₂ Y MODERADO CO₂

BEHAVIOR OF SAPOTE MAMEY (*Pouteria sapota*) FRUITS IN ATMOSPHERES WITH LOW O₂ AND MODERATE CO₂

Arturo Martínez Morales¹, Irán Alia Tejacal², Salvador Valle Guadarrama^{3*}, Ma. Teresa Colinas León⁴, Víctor López Martínez², Silvia Bautista Baños⁵, María Andrade Rodríguez², Óscar G. Villegas Torres² y Dagoberto Guillén Sánchez⁶

¹División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carr. Villahermosa-Teapa km 25. ²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Avenida Universidad Núm. 1001. 62209, Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México. ³Departamentos de Ingeniería Agroindustrial y ⁴Fitotecnía, Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Carr. México-Texcoco km 38.5. 56230, Chapingo, Edo. de México, México. ⁵Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional. Carr. Yautepec-Jojutla, km 8.5. 62731, San Isidro, Yautepec, Morelos. ⁶Instituto Profesional de la Región Oriente, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Nicolás Bravo s/n. Parque Industrial Cuautla, Xalostoc, Morelos.

* Autor para correspondencia (svalle@correo.chapingo.mx)

RESUMEN

En este trabajo se evaluó el almacenamiento de frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] en atmósferas controladas (AC) con bajo O₂ y moderado CO₂, sobre su vida útil en postcosecha. Se usaron frutos en madurez fisiológica producidos en Jalpa de Méndez, Tabasco, México. Se aplicaron tres tratamientos de AC a 12 °C y 95 % HR en concentraciones porcentuales O₂/CO₂: 5/2, 5/4 y aire (testigo). Después de 7, 14, 21 y 28 d de tratamiento se hicieron evaluaciones de la maduración a 28 °C y 80 % HR. Las AC retrasaron la maduración respecto del testigo y mantuvieron la condición de estado preclimático, con tiempo a madurez entre 4 y 6 d. La maduración aumentó los sólidos solubles totales en 20 a 25%, excepto en frutos del tratamiento 5/4 aplicado por 28 d donde se obtuvieron 15.5 %. Una situación similar ocurrió con azúcares totales. El mejor tratamiento fue el que contuvo 5 % O₂ y 2 % CO₂, pues con el 5/4 aunque se logró la maduración de frutos incluso después de 28 d, hubo pérdida de capacidad de desarrollo de características organolépticas adecuadas.

Palabras clave: *Pouteria sapota*, atmósferas controladas, refrigeración.

SUMMARY

In this work we evaluated the storage of sapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) fruits in controlled atmospheres (CA) with low O₂ and moderate CO₂, regarding the postharvest shelf life. Fruits from Jalpa de Méndez, Tabasco, México, at physiological maturity were used. Three CA treatments were applied at 12 °C and 95 % RH, in O₂/CO₂ percentual concentrations: 5/2, 5/4 and air (control). After 7, 14, 21 and 28 d of treatment ripening was evaluated at 28 °C and 80 % RH. The CA delayed ripening in relation to control and maintained fruits at preclimacteric stage, so that ripening required 4 to 6 d. Ripening increased total soluble solids (TTS) to values between 20 and 25 %, except in fruits of the treatment 5/4 applied for 28 d, where TTS was 15.5 %. A similar situation occurred with total sugar content. The best treatment was 5 % O₂ and 2 % CO₂, since with 5/4 ripening was achieved even after 28 d, but the capacity to develop adequate sensorial characteristics was lost.

Index words: *Pouteria sapota*, controlled atmospheres, refrigeration.

INTRODUCCIÓN

Zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) es una especie que crece de manera silvestre en climas tropicales. Produce un fruto climatérico cuyo peso varía de 250 a 950 g, en función de las características genéticas del árbol, de las condiciones climáticas y de las condiciones del suelo (Alia-Tejacal *et al.*, 2007). La pulpa representa alrededor de 78 % del peso del fruto, es de consistencia suave, coloración entre rosa salmón y rojo, y con elevada relación °Brix/acidez que la hace dulce y agradable al paladar (Villanueva-Arce *et al.*, 2000). Por estas características, su demanda ha aumentado en Australia, Israel, Vietnam, España y Estados Unidos (Balerdi *et al.*, 1996). En México se cultiva en los Estados de Chiapas, Guerrero, Yucatán, Oaxaca y Michoacán (SIACON, 2004), pero la comercialización es limitada y regional debido a la escasa información de su manejo postcosecha; sin embargo, en la última década se ha formalizado el estudio del comportamiento del fruto después de la cosecha y de técnicas que permitan prolongar su vida útil (Alia-Tejacal *et al.*, 2007).

El fruto de zapote mamey madura entre 6 y 8 d a 20 °C y en 4 d a 25 °C (Alia-Tejacal *et al.*, 2007). Por ser susceptible a daños por frío (Alia-Tejacal *et al.*, 2000, 2002) la temperatura de almacenamiento más baja sugerida es 12 °C (Alia-Tejacal *et al.*, 2000), con la cual se ha podido retrasar la aparición del pico climatérico hasta los 21 d y, aunque un almacenamiento de 28 d permite obtener frutos de calidad adecuada, la vida útil posterior a temperatura ambiental es muy corta (Martínez-Morales *et al.*, 2006).

Una forma de mejorar el beneficio de la refrigeración es combinarla con técnicas de atmósfera controlada (AC), ya que así la actividad metabólica disminuye no sólo por reducción de la temperatura, sino también por la baja disponibilidad de O₂ y elevada concentración de CO₂ (Kader y Saltveit, 2003). A este respecto, Manzano (2001) reportó que al exponer frutos de zapote mamey a mezclas con 5.6 % O₂ y 5.1 % CO₂ a 15 °C se mantuvo la calidad en forma satisfactoria por tres semanas, pero no describió el comportamiento después del tratamiento y en condiciones ambientales normales. También, Martínez-Morales *et al.* (2004) probaron AC a 12 °C con O₂ a 5 % y CO₂ a 5 y 10 % y encontraron que después de 28 d de tratamiento los frutos podían fallar en su maduración, lo que atribuyeron a una sensibilidad al CO₂. En este contexto, el objetivo del trabajo fue evaluar el almacenamiento de frutos de zapote mamey en refrigeración y AC con bajo O₂ y moderado CO₂ sobre su vida útil en postcosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal. Se usaron frutos cosechados de un árbol en Jalpa de Méndez, Tabasco, México, en abril de 2005. El estado fue madurez fisiológica se verificó con el índice de cosecha del productor, mediante una incisión en la epidermis de la base y del ápice de los frutos que mostrara una coloración rosa pálido o naranja en el mesocarpio (Alia *et al.*, 2005a). El material se trasladó inmediatamente al lugar de la investigación, en Villahermosa, Tabasco, donde se mantuvo por 4 h a 28 °C y 80 % de humedad relativa (HR) antes del inicio del experimento.

Manejo experimental. Se diseñaron tres tratamientos de atmósfera controlada (AC) con mezclas gaseosas de O₂/CO₂ en concentraciones porcentuales respectivas de: 5/2, 5/4 y aire (testigo), aplicadas a 12 °C y 95 % HR. Se formaron 12 lotes con 17 frutos, cada uno en recipientes de 15 L. Las mezclas 5/2 y 5/4 fueron provistas por la empresa Praxair de México S. A. de C. V. y se aplicaron a partir del día uno posterior a la cosecha a través de los recipientes con flujo continuo de 1 L min⁻¹. El manejo del tratamiento testigo consistió en dejar los recipientes abiertos, expuestos a la atmósfera del cuarto de refrigeración. Al cumplirse 7, 14, 21 y 28 d de tratamiento, se separó un lote de frutos de cada mezcla de gases y se trasladó a un cuarto aislado a 28 °C y 80 % HR para las evaluaciones físicas, químicas y fisiológicas al momento del retiro, y después de 6 d para simular condiciones de mercadeo. En un lote adicional se evaluó firmeza, color y sólidos solubles totales (SST) en pulpa al momento de la cosecha, y las velocidades de respiración y producción de etileno diariamente durante 6 d a 28 °C y 80 % HR, como referencia del estado fisiológico inicial.

La evaluación de todos los lotes se hizo como sigue: se asignaron cinco frutos a la medición diaria de velocidades de respiración y producción de etileno por 6 d. Estos mismos frutos se revisaron diariamente al tacto para determinar los días requeridos para llegar a madurez de consumo (Saucedo *et al.*, 2001). Los 12 frutos restantes del lote se subdividieron en dos grupos, uno evaluado al inicio del periodo de 6 d y el otro al final. En ambos casos se midió la pulpa en cuanto a color, firmeza, contenido de SST (°Brix) y azúcares totales.

Métodos de medición. Las velocidades de producción de CO₂ y etileno se midieron con un método estático (Mendoza-Wilson y Báez-Sañudo, 2000); los frutos se colocaron en recipientes herméticos de vidrio de 1.9 L de capacidad y después de 1 h se tomaron muestras de 7 mL del espacio de cabeza, las cuales se guardaron en tubos al vacío (Vacutainer®) para su posterior evaluación en un cromatógrafo de gases (Varian Star 3400 CX, EE. UU.) equipado con detectores de conductividad térmica (TCD) para la medición de CO₂ y de ionización de flama (FID) para el caso de etileno. El gas acarreador fue helio. Se aplicaron de temperaturas de 150, 210, 250 y 80 °C en inyector, TCD, FID y columna, respectivamente. La cuantificación de las concentraciones se auxilió con estándares de CO₂ y etileno provistos por la empresa Praxair de México, S. A. de C. V.

El color de la pulpa se determinó en seis frutos individuales con un colorímetro ColorTec™ PCM/PSM (EE. UU.) que registra los valores de L*, a* y b*. Las mediciones se hicieron en dos lados opuestos en la parte ecuatorial del fruto, previa remoción de una porción de 5 cm de la cáscara. Los valores de color se reportaron como luminosidad (L*), ángulo de matiz ($\tan^{-1} b^*/a^*$) y cromaticidad ($\sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$) (McGuire, 1992). La firmeza se determinó en el mismo fruto en la misma parte que el color, con un texturómetro universal (Humboldt Mfg. Co., EE. UU.) y un puntal de prueba cónico con diámetro de 0.7 cm y peso de 200 g, el cual penetra la pulpa en un periodo de 5 s. Los resultados se expresaron en g cm⁻¹.

Los frutos usados para evaluar color y firmeza se agruparon aleatoriamente en tres muestras con dos frutos cada una; se obtuvo la pulpa y se homogeneizó para su análisis posterior. Para los SST se maceraron 20 g de pulpa en 100 mL de agua destilada y se obtuvo un filtrado que se evaluó en un refractómetro manual (Atago Co., LTD, Japón); se consideró el efecto de la dilución mediante un balance de materiales y los resultados se reportaron en °Brix. Los azúcares totales se evaluaron con el método de antrona (Whitman *et al.*, 1971); para ello se homogeneizaron 5 g de pulpa en 80 mL de etanol al 80 %; se tomó 1 mL del extracto y se evaporó en baño maría

para diluirse en 100 mL de agua destilada; después se adicionaron 6 mL de la solución de antrona a 1 mL y la mezcla se puso a ebullición por 5 min y se enfrió en baño de hielo para realizar una lectura a 620 nm en un espectrofotómetro (Spectronic Genesys 6, EE. UU.). Se utilizó una curva estándar de glucosa para cuantificar la concentración de azúcares totales y los resultados se expresaron en mg g⁻¹ de peso fresco.

Análisis de datos. El experimento se condujo como un arreglo factorial 3 × 4 en un diseño completamente al azar. Uno de los factores fue el tipo de atmósfera, con tres niveles: atmósfera normal (aire), 5/2 (5 % O₂ + 2 % CO₂) y 5/4 (5 % O₂ + 4 % CO₂). El otro factor fue el tiempo de exposición: 7, 14, 21 y 28 d, contados a partir del primer día posterior a la cosecha. La unidad experimental fue un fruto para respiración y producción de etileno, que se evaluaron con seis repeticiones; de un fruto para firmeza y color, que se midieron en cinco repeticiones, y de dos frutos para SST y contenido de azúcares que tuvieron tres repeticiones. Se hicieron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias con el programa SAS (SAS Institute, 1989).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad a la cosecha. Al momento de la cosecha los frutos tuvieron las siguientes características: SST de 5.67 ± 0.24 °Brix, firmeza de 69.34 ± 4.83 g cm⁻¹ en pulpa y atributos de color en ésta de 75.53 ± 1.53° en ángulo de matiz, 47.98 ± 3.78 en cromaticidad y 51.65 ± 0.84 en luminosidad. Martínez-Morales *et al.* (2006) reportaron valores similares de tonalidad para frutos de la misma región. Pero el resultado de SST contrastó con el reporte de Díaz-Pérez *et al.* (2003), quienes indicaron que al momento de la cosecha tal variable fluctuó entre 10 y 13 %. En el presente trabajo los frutos se cosecharon con el índice de los productores, que aún siendo subjetivo es el que se usa comercialmente para identificar madurez fisiológica y no se ha consolidado un índice mejor. Aunque Díaz-Pérez *et al.* (2003) han indicado que los SST se pueden usar para describir un estado de madurez determinado, la información disponible sugiere que el valor de referencia se afecta por la región y existe la posibilidad de tener variaciones en los frutos de una región a otra, como lo demostraron Gaona-García *et al.* (2008), al evaluar 19 variantes de frutos de la región de Morelos, México y encontrar notables diferencias en el contenido de SST. En el presente trabajo, la condición de madurez fisiológica a la cosecha se confirmó por el comportamiento respiratorio normal observado en los frutos testigo. En los frutos mantenidos a 28 °C la velocidad de respiración aumentó a partir del cuarto día, mientras que los frutos testigo puestos a 12 °C y retirados de esa condición a los 7, 14 y 21 d

exhibieron el comportamiento climatérico típico. En los frutos retirados hasta los 28 d no pudo verificarse el comportamiento pues ya habían rebasado el máximo respiratorio (Figura 1).

Velocidad de respiración y producción de etileno.

En todos los casos (frutos testigo y frutos en AC) se encontró un estado preclimatérico al momento del retiro del almacenamiento refrigerado, cuando éste duró 21 d o menos, lo que se verificó por un aumento temporal ($P \leq 0.05$) en las producciones de CO₂ y etileno. Sin embargo, a los 28 d de tratamiento la condición preclimatérica sólo se observó en los frutos de AC, pues en los del testigo ya se había alcanzado el estado postclimatérico (Figura 1). El almacenamiento refrigerado de frutos de zapote mamey de la misma región a 12 °C fue probado antes por Martínez-Morales *et al.* (2006), quienes encontraron el estado preclimatérico hasta después de 7 d, y en fechas posteriores, la maduración estaba ya en fase postclimatérica. Esto sugiere que un manejo refrigerado a 12 °C puede o no conservar los frutos hasta por 21 d, pero la combinación de refrigeración y atmósferas controladas extiende esta posibilidad hasta al menos 28 d.

Los valores máximos de CO₂ se ubicaron entre 90 y 189 mL kg⁻¹ h⁻¹ en los frutos testigo, entre 140 y 200 mL kg⁻¹ h⁻¹ en frutos del tratamiento 5/2 (O₂/CO₂) y entre 120 y 170 mL kg⁻¹ h⁻¹ en los del tratamiento 5/4, aunque el análisis estadístico no encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre tratamientos cuando se les comparó a los mismos tiempos (Figura 1). En etileno tampoco se observó diferencia entre tratamientos ($P \leq 0.05$) y se alcanzaron máximos entre 81 y 488 µL kg⁻¹ h⁻¹ en frutos testigo, entre 190 y 650 µL kg⁻¹ h⁻¹ con la AC 5/2 y entre 140 y 380 µL kg⁻¹ h⁻¹ con la AC 5/4. La madurez de consumo, definida como una consistencia suave de la cáscara al tacto (Saucedo *et al.*, 2001), se alcanzó entre 4 y 6 d a la condición postratamiento de 28 °C, sin que hubiera diferencia ($P \leq 0.05$) entre tiempos de almacenamiento y entre niveles de AC. Esto se confirmó con la evaluación instrumental de firmeza, la cual al término de los tratamientos tuvo variabilidad alta, pero después del proceso de maduración exhibió valores homogéneos, independientemente del tratamiento y tiempo de exposición (Cuadro 1). En contraste, Martínez-Morales *et al.* (2006) reportaron una vida útil entre 2.0 y 3.6 d a 30 °C, después de un almacenamiento a 12 °C, lo cual sugiere un efecto positivo del manejo combinado de refrigeración y AC, y permite aceptar que en zapote mamey, al igual que en otros frutos, la reducción en la concentración de O₂ y la elevación en la de CO₂ reduce la velocidad de los procesos bioquímicos asociados con la maduración (Kader y Saltveit, 2003).

El almacenamiento de frutos de zapote mamey en las mismas condiciones de tiempo, temperatura y disponibilidad de O₂, fue también probado por Martínez-Morales *et al.* (2004), pero con CO₂ en concentraciones de 5 y 10 %. Sus resultados mostraron que con tratamientos de 7, 14 y 21 d se conseguía maduración adecuada, pero con 28 d ésta podía fallar. Como la diferencia con el presente trabajo fue la concentración de CO₂ usada, se ha propuesto que el fruto de zapote mamey es sensible a este gas, aunque conclusiones más claras al respecto sólo podrán obtenerse con nuevos trabajos que aborden ese aspecto y determinen con precisión los límites de beneficio o daño potencial.

Cambios físicos y químicos después de tratamientos. Al término de la fase refrigerada los frutos expuestos al aire tuvieron mayor contenido de SST que los expuestos a las mezclas 5/2 y 5/4 (O₂/CO₂), con diferencias también entre ellas. Sin embargo, tales contrastes desaparecieron tras 6 d a 28 °C (P ≤ 0.05) (Cuadro 1), y en promedio el contenido fue de 20.4 %. Actualmente se reconoce que el aumento de SST ocurre en forma paralela a la maduración (Díaz-Pérez *et al.* 2000; Villanueva-Arce *et al.*, 2000; Díaz-Pérez *et al.*, 2003) y se ha propuesto, con base en frutos de Coatlán del Río, Morelos, que el contenido final es de alrededor de 30 % (Díaz-Pérez *et al.*, 2003) y que un aumento deficiente en esta variable es sintomático de maduración deficiente (Villanueva-Arce *et al.*, 2000). Sin embargo, evidencia reciente señala que el contenido final de SST puede variar con la región de producción y con el tipo de fruto, como lo mostraron Gaona-García *et al.* (2008) al evaluar 19 variantes provenientes del Suroeste del Estado de Morelos, México, al encontrar contenidos entre 8.5 y 36.8 % en madurez de consumo, con una media de 23.7 %. Con base en el comportamiento respiratorio normal exhibido por los frutos, en el presente trabajo se aceptó también normal el contenido de SST encontrado.

recieron tras 6 d a 28 °C (P ≤ 0.05) (Cuadro 1), y en promedio el contenido fue de 20.4 %. Actualmente se reconoce que el aumento de SST ocurre en forma paralela a la maduración (Díaz-Pérez *et al.* 2000; Villanueva-Arce *et al.*, 2000; Díaz-Pérez *et al.*, 2003) y se ha propuesto, con base en frutos de Coatlán del Río, Morelos, que el contenido final es de alrededor de 30 % (Díaz-Pérez *et al.*, 2003) y que un aumento deficiente en esta variable es sintomático de maduración deficiente (Villanueva-Arce *et al.*, 2000). Sin embargo, evidencia reciente señala que el contenido final de SST puede variar con la región de producción y con el tipo de fruto, como lo mostraron Gaona-García *et al.* (2008) al evaluar 19 variantes provenientes del Suroeste del Estado de Morelos, México, al encontrar contenidos entre 8.5 y 36.8 % en madurez de consumo, con una media de 23.7 %. Con base en el comportamiento respiratorio normal exhibido por los frutos, en el presente trabajo se aceptó también normal el contenido de SST encontrado.

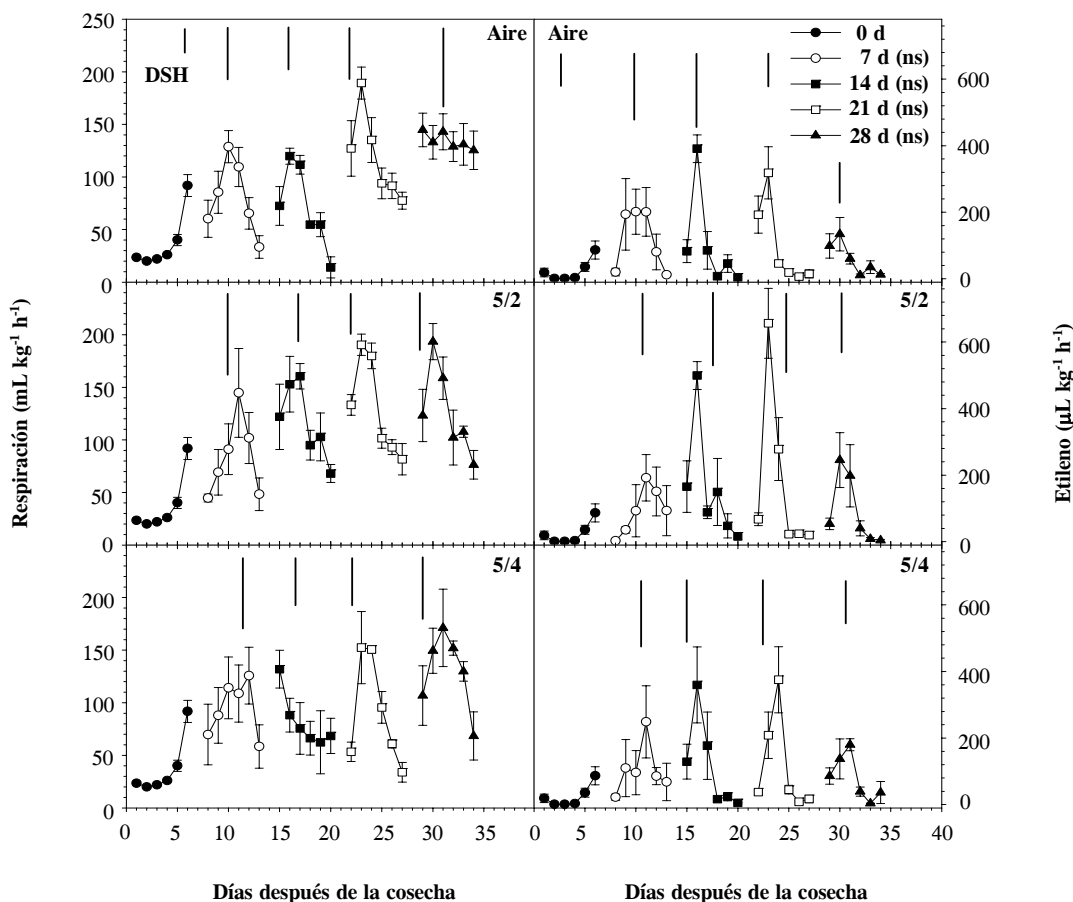


Figura 1. Velocidad de respiración y producción de etileno en frutos de zapote mamey después de almacenamiento en atmósferas controladas por 7, 14, 21 y 28 d a 12 °C, contados desde el primer día posterior a la cosecha. Cada punto representa la media de cinco observaciones ± error estándar. Las líneas verticales encima de los datos gráficos representan diferencia significativa honesta (Tukey, 0.05) y aplican al interior de tratamientos. La nomenclatura 5/2 y 5/4 indica concentraciones porcentuales de O₂/CO₂. ns = Diferencia no significativa en valores máximos de producción de CO₂ y etileno y aplica a días entre recuadros.

Cuadro 1. Efecto del almacenamiento en atmósferas controladas en la calidad de frutos de zapote mamey una vez transferidos a temperatura ambiente (28 °C y 80 % HR).

Nivel en factor	SST (°Brix)		Azúcares totales (mg g ⁻¹)		Firmeza (gf cm ⁻¹)		Color					
	0	6	0	6	0	6	Luminosidad		Ángulo de matiz (°)		Cromaticidad	
DDA [†]	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6
Factor AC: tipo de atmósfera												
Aire	10.7a [†]	21.7a	87.1a	158.0b	70.3a	31.3a	56.4a	41.0a	74.3a	67.8a	40.0a	31.5a
5/2 ^{††}	9.0b	20.0a	100.4a	247.5a	65.4ab	33.5a	55.5a	42.5a	74.5a	68.3a	40.4a	33.5a
5/4	7.8c	19.4a	59.9a	159.3b	59.6b	30.1a	57.2a	41.0a	75.3a	67.0a	42.5a	34.1a
DSH	1.0	4.2	74.3	30.5	6.4	6.7	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
Factor DA: días bajo tratamiento en AC												
7	7.2b	21.3ab	36.6a	210.6a	54.6b	30.3a	58.4a	36.1b	75.0ab	67.9a	40.5a	29.1b
14	7.9b	24.3a	128.0a	170.1a	73.2a	34.8a	58.9a	40.3b	76.4a	67.0a	41.2a	32.5b
21	11.5a	20.4ab	83.0a	196.4a	69.9a	31.8a	55.9a	45.0a	75.2ab	68.7a	41.8a	33.0b
28	10.2a	15.5b	82.6a	155.3b	66.1a	30.6a	52.2a	47.8a	72.1b	67.0a	40.2a	37.5a
DSH ^{†††}	1.3	5.4	94.8	37.2	8.2	8.6	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
CV (%) [§]	11.2	20.5	88.3	32.4	12.1	26.1	6.7	10.3	5.9	5.9	7.1	12.9
AC*DA	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

[†]DDA = Días después de almacenamiento en AC; ^{††}Concentraciones porcentuales respectivas de O₂/CO₂ en mezclas de AC; ^{†††}Letras iguales indican diferencia no significativa entre medias de una misma columna (Tukey, 0.05); SST = Sólidos Solubles Totales; [§]DSH = Diferencia significativa honesta; [§]CV = Coeficiente de variación.

El tiempo de almacenamiento afectó el contenido de SST en dos formas: primero, al momento del retiro los frutos de 7 y 14 d tuvieron menor contenido que los separados a los 21 y 28 d; y, segundo, tras 6 d a 28 °C, entre frutos de 7, 14 y 21 d de almacenamiento no hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$). En cambio, con 28 d resultó un contenido menor a los de 14 d pero estadísticamente similar a los de 7 y 21 d ($P \leq 0.05$). En virtud de que no se tiene una base coherente para explicar estas diferencias, se cree que corresponden a una heterogeneidad natural del material usado, aún cuando éste provino de un mismo árbol en la cosecha. El análisis reportó interacción significativa ($P \leq 0.05$) entre el tipo de atmósfera y el tiempo de almacenamiento para el contenido de SST al término de tratamientos (Figura 2) ya que con aire y en 5/2 los SST se incrementaron en forma continua, lo cual no ocurrió con el tratamiento 5/4 que originó un comportamiento atípico y causó que el valor global de SST en el nivel de 28 d resultara más bajo tras 6 d a 28 °C. Esto indica un aparente efecto del CO₂ en el metabolismo del fruto de zapote mamey y fortalece la hipótesis de tolerancia baja de este material a la presencia de este gas.

El contenido de azúcares totales al término de la fase de tratamientos de AC resultó muy variable; de hecho, no fue posible apreciar el efecto del tipo de atmósfera y tampoco del tiempo de exposición a ellas. Aún así, durante la fase posterior, en la maduración, se observó incremento de 82.5 a 188.3 mg g⁻¹, comportamiento que es congruente con el reportado por Martínez-Morales *et al.* (2006) para frutos de la misma región manejados en condiciones similares de tiempo y temperatura, aunque con distinta composición gaseosa en la atmósfera. Al igual a como

ocurre con los SST, el incremento de azúcares con la maduración es un evento normal en frutos de zapote mamey y ha sido reportado antes (Villanueva-Arce *et al.*, 2000). Sin embargo, la correlación entre ambas variables fue baja ($R^2=0.49$), lo que indica que el valor de SST no está determinado únicamente por el contenido de azúcares. Según Maness y Perkins-Veazie (2003), los contenidos de SST y azúcares totales guardan una correlación alta entre sí en materiales con bajo contenido de ácidos orgánicos y pocas cantidades de almidón. Pero cuando este último o algún otro carbohidrato de reserva están presentes en cantidades importantes, no hay correlación alta, situación que aquí se observó en el fruto de zapote mamey. En el presente trabajo, como ocurrió con SST, los frutos mantenidos hasta los 28 d de tratamiento presentaron el menor incremento de azúcares; estos dos hechos sugieren que con este tiempo de almacenamiento los frutos experimentan una alteración en su capacidad para conseguir una maduración normal. Alía *et al.* (2005a) indicaron que una menor acumulación de azúcares totales puede ser indicativo de un daño por frío, pero la evidencia disponible aquí no permite profundizar en el análisis de esta posibilidad. El análisis reportó interacción entre los factores tipo de atmósfera y tiempo de almacenamiento, y un análisis más detallado mostró que en los tratamientos de aire y 5/4 el contenido promedio de azúcares después de 6 d a 28 °C fue de 157.5 y 158.8 mg g⁻¹, respectivamente, sin diferencias entre ellos; pero en el tratamiento 5/2 alcanzaron valores de 231.5 mg g⁻¹, significativamente superiores a los primeros. Como tanto los SST como los azúcares totales están asociados con las características organolépticas de los frutos, los resultados indican que las mejores pro-

pedades al gusto se obtienen con el tratamiento con 5 % O₂ y 2 % CO₂.

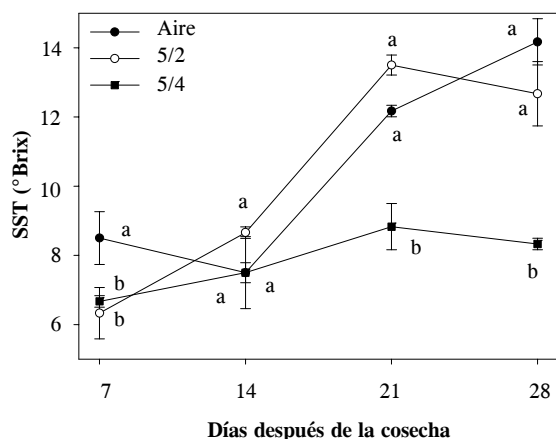


Figura 2. Efecto de interacción entre tipo de atmósfera y tiempo de almacenamiento en el contenido inicial de sólidos solubles totales (SST). Cada punto representa la media de cinco observaciones ± error estándar (barras de error). La nomenclatura 5/2 y 5/4 indica concentraciones porcentuales de O₂/CO₂. Letras iguales indican diferencia no significativa entre medias en un mismo día (Tukey, 0.05)

Con respecto al color no se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los niveles de ambos factores, tipo de atmósfera y tiempo de exposición. En conjunto, durante la maduración los frutos tuvieron un cambio de 10.1 ± 1.6 % en ángulo de matiz, de 23.4 ± 3.3 % en cromaticidad y de 29.8 ± 7.7 % en luminosidad. Es decir, aunque la pulpa cambió de tonalidades amarillas a rojas, dicha transición fue en realidad pequeña y los cambios más importantes ocurrieron en luminosidad y en cromaticidad, lo que se aprecia como un oscurecimiento de la pulpa. Alia-Tejagal *et al.* (2005b) determinaron que en este proceso pueden estar involucrados diversos tipos de compuestos fenólicos, como algunos derivados del ácido cinámico y catequinas. La tonalidad de la pulpa es un factor asociado en forma importante con la calidad del fruto de mamey, pues en ella está basado actualmente el índice de cosecha, el cual no evita la amplia variabilidad que existe en las características de los frutos en postcosecha, como se ha encontrado en el presente trabajo, pues una pequeña modificación de ese atributo de color puede corresponder a cambios grandes en otras variables como contenido de SST, contenido de azúcares y firmeza. Es importante entonces que se profundice en la consolidación de un mejor índice de cosecha que permita manejar el fruto de zapote mamey con características más homogéneas durante la comercialización.

CONCLUSIONES

El uso de atmósferas controladas con O₂ en concentración de 5 % y CO₂ en concentración de 2 ó 4 %, aplicadas a 12 °C, permitió el alargamiento de la vida útil de los frutos de zapote mamey en forma tal que después de 7, 14, 21 y 28 d se consiguió mantener la condición fisiológica en estado preclimático. Sin embargo, el mejor tratamiento fue el que contiene 5 % O₂ y 2 % CO₂, pues con 5 % de O₂ y 4 % CO₂ se consigue que los frutos maduren, incluso con 28 d de tratamiento, pero con pérdida de capacidad de desarrollo de características organolépticas adecuadas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo del proyecto SEP-PROMEP (103.5/04/1359 y 20080643).

BIBLIOGRAFÍA

Alia T I, M T Colinas León, M T Martínez Damián, R M Soto H (2005a) Daños por frío en zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn). I. Cambios en volátiles, firmeza y azúcares totales. Rev. Fitotec. Mex. 28:17-24.

Alia Tejagal I, C Saucedo Veloz, M T Martínez Damián, M T Colinas León (2000) Temperaturas de almacenamiento y maduración en frutos de mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn). Rev. Chapingo S. Hort. 6:73-78.

Alia Tejagal I, M T Colinas León, M T Martínez Damián, M R Soto Hernández (2002) Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) durante poscosecha. Rev. Chapingo S. Hort. 8:263-271.

Alia Tejagal I, R M Soto Hernández, M T Colinas León, M T Martínez Damián (2005b) Análisis preliminar de carotenoides y compuestos fenólicos en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn). Rev. Chapingo S. Hort. 11:225-231.

Alia Tejagal I, R Villanueva Arce, C Pelayo Saldívar, M T Colinas León, V López Martínez, S Bautista Baños (2007) Postharvest physiology and technology of sapote mamey fruit (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn). Postharv. Biol. Technol. 45:285-297.

Balerdi C F, J H Crane, C W Campbell (1996) The mamey sapote. Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Services. University of Florida. Document FC-30. 8 p.

Díaz Pérez J C, S Bautista, R Villanueva (2000) Quality changes in sapote mamey fruit during ripening and storage. Postharv. Biol. Technol. 18:67-73.

Díaz Pérez J C, S Bautista, R Villanueva, R López-Gómez (2003) Modeling the ripening of sapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) fruit at various temperatures. Postharv. Biol. Technol. 28:199-202.

Gaona-García A, I Alia-Tejagal, V López-Martínez, M Andrade-Rodríguez, M T Colinas-Leon, O Villegas-Torres (2008) Caracterización de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) en el suroeste del Estado de Morelos. Rev. Chapingo S. Hort. 14:41-47.

- Kader A A, M E Saltveit (2003)** Atmosphere modification. *In: Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables.* J A Bartz, J K Brecht (eds). University of Florida, Gainesville, Florida. pp:229-246.
- Maness N S, P Perkins-Veazie (2003)** Soluble and storage carbohydrates. *In: Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables.* J A Bartz, J K Brecht (eds). University of Florida, Gainesville, Florida. pp:361-382.
- Manzano E J (2001)** Caracterización de algunos parámetros de calidad en frutos de zapote mamey (*Calocarpum sapote* (Jacq.) Merr.) en diferentes condiciones de almacenamiento. *Proc. Interam. Soc. Trop. Hort.* 43:53-56.
- Martínez-Morales A, I Alia-Tejagal, M T Colinas-León, M T Martínez-Damián (2004)** Storage of zapote mamey fruit under controlled atmosphere. *HortScience* 39:806.
- Martínez-Morales A, I Alia-Tejagal, M T Colinas-León (2006)** Refrigeración de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) cosechados en diferentes fechas en Tabasco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 29 (Núm. Esp. 2):51-57.
- McGuire R G (1992)** Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27:1254-1255.
- Mendoza Wilson A M, R Báez Sañudo (2000)** Medición de la tasa respiratoria por sistema cerrado en melón cantaloupe. *Hort. Mex.* 8:158-163.
- SAS Institute Inc (1989)** SAS/STAT® User's Guide. Version 6. SAS Institute Inc., Cary, NC: pp:209-243.
- Saucedo V C, A Martínez M, S H Chávez F, R M Soto H (2001)** Maduración de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) tratados con etileno. *Rev. Fitotec. Mex.* 24:231-234.
- SIACON, Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (2004)** <http://w3.siap.sagarpa.gob.mx:8080/siapp-apb/> (20 de noviembre de 2007).
- Villanueva Arce R, S Evangelista Lozano, M L Arenas Ocampo, J C Díaz Pérez, S Bautista Baños (2000)** Cambios bioquímicos y físicos durante el desarrollo y postcosecha del mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn). *Rev. Chapingo S. Hort.* 6:63-72.
- Whitham F F, D F Blaydes, R M Devlin (1971)** Experiments in Plant Physiology. Van Nostrand Reinhold. N.Y. 245 p.