

ATMÓSFERAS MODIFICADAS Y REFRIGERACIÓN EN FRUTOS DE ZAPOTE MAMEY [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn]

MODIFIED ATMOSPHERES AND REFRIGERATION IN SAPOTE MAMEY [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] FRUITS

Esteban Pachuqueño-Campos¹; Irán Alia-Tejagal^{1*}; Gloria Alicia Pérez-Arias¹; María Andrade Rodríguez¹; Salvador Valle-Guadarrama²; Silvia Bautista-Baños³; Arturo Martínez-Morales⁴; Juan Manuel Villarreal-Fuentes⁵; José Nelson Pérez-Quintanilla⁵

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad Núm. 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, C.P. 626209, MÉXICO.

²Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Carretera México-Texcoco, km 38.5, C.P. 56230. MÉXICO.

³Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional, Carr. Yautepec-Jojutla km 8.5 San Isidro Yautepec Morelos, C.P. 62731. MÉXICO.

⁴División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carr. Villahermosa-Teapa km 25. Tabasco, Villahermosa. MÉXICO.

⁵Facultad de Ciencias Agrícolas Campus IV, Universidad Autónoma del Estado de Chiapas. Entronque Carretera Costera y Estación Huehuetán, Chiapas. MÉXICO. Correo electrónico: ijac96@yahoo.com.mx (*Autor responsable)

RESUMEN

Se colectaron frutos de zapote mamey en madurez fisiológica colocados sin película plástica (SPP) o con película plástica (CPP) a 10 °C por 7, 14 ó 21 d. Al salir del almacenamiento se maduraron a temperatura del laboratorio (20 °C; 60 % HR). La respiración y la producción de etileno fueron significativamente mayores cuando los frutos estuvieron sin película plástica durante el almacenamiento; los valores mayores se observaron cuando se almacenaron por más de 21 d. La pérdida de peso fue menor en los frutos donde se colocó película plástica; asimismo, los cambios de firmeza, color (luminosidad y matiz) y azúcares totales fueron retrasados en los frutos con película plástica. Los frutos donde no se colocó la película plástica maduraron en aproximadamente cinco días. Las películas plásticas combinadas con un almacenamiento a 10 °C tienen potencial para manejar frutos de zapote mamey en un periodo de 21 d.

Palabras clave adicionales: Maduración, color, azúcares totales, respiración y etileno.

ABSTRACT

Sapote mamey fruits in physiological maturity were harvested and covered with film plastic, another group fruits were maintained without plastic film; both fruit lots were allocated in refrigeration at 10 °C for 7, 14, or 21 d. At the end of storage periods, fruits were ripened at laboratory conditions (20 °C; 60 % HR). Respiration and ethylene production were significantly higher when fruits were maintained without plastic film in storage, and highest values were detected after 21 d in this condition. Weight loss was lesser in fruits covered with plastic film. Also, firmness, color and total sugars were retarded in fruits with plastic film. Fruits without plastic film ripen in five days. Plastic film and refrigeration at 10 °C constitute an alternative with potential to handle fruits of sapote mamey for 21 d.

Additional key words: Ripening, color, total sugar, respiration and ethylene.

INTRODUCCIÓN

El zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] es una especie frutícola originaria de las zonas tropicales de México y América Central (Popenoe, 1948). En México se tienen establecidas 1,394 ha, distribuidas principalmente en los estados de Yucatán, Chiapas, Guerrero, Michoacán, Tabasco, Veracruz y Morelos (SIACON, 2006). El zapote mamey tiene características organolépticas y nutricionales que le confieren ser una fruta muy aceptable para el consumo en fresco (Saucedo *et al.*, 2001). Después de la cosecha, madura entre tres y ocho días a temperatura ambiente (Balerdi y Shaw, 1998), y tiene pérdidas de 10 a 14 % en su peso fresco (Alia-Tejacal *et al.*, 2007). Para mejorar su manejo se han hecho estudios de las temperaturas, tiempo y condiciones de almacenamiento más adecuados (Díaz-Pérez *et al.*, 2000; Díaz-Pérez *et al.*, 2002, Alia *et al.*, 2005 a y b). Asimismo, se han probado tecnologías en postcosecha como atmósferas controladas (Manzano *et al.*, 2001; Martínez-Morales *et al.*, 2008) y atmósferas modificadas (Ramos-Ramírez *et al.*, 2009). Sin embargo, aún falta información respecto a la preservación del fruto bajo condiciones de refrigeración combinada con atmósferas modificadas.

Las atmósferas modificadas se definen como la alteración en la composición de los gases dentro y alrededor del fruto, debido a la doble interacción de la respiración y el proceso de permeación que ocurre a través de las paredes del plástico que se usa como envase (Thompson, 2003).

Recientemente, Ramos-Ramírez *et al.* (2009) evaluaron el comportamiento postcosecha del zapote mamey en atmósferas modificadas con diferentes películas plásticas a temperatura ambiente, concluyendo que el almacenamiento en Kleen Pack® evitó la pérdida de peso y retrasó la maduración de tres a cuatro d, comparado con frutos colocados sin película plástica.

Por otra parte, se ha mostrado que el uso de temperatura baja (< 15 °C) retrasa los procesos de maduración del fruto de zapote mamey (Alia-Tejacal *et al.*, 2007), pero puede experimentar daños por frío cuando se almacena a temperaturas menores a 10 °C (Díaz-Pérez *et al.*, 2000; Alia *et al.*, 2005 a), y por ello es necesario buscar metodologías que disminuyan el efecto negativo. Se conoce que el efecto positivo del almacenamiento en atmósferas modificadas en frutos pre-climatéricos puede atribuirse a una combinación del efecto en el contenido de CO₂ y O₂ dentro del fruto y la estabilización de una humedad relativa alta (Thompson, 2003), y en otros materiales, como aguacate 'Hass', se ha encontrado que la reducción de O₂ y la elevación de CO₂ en el ambiente ayuda a reducir daños por frío (Corrales-García, 1997).

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la atmósfera modificada en la maduración de frutos de zapote mamey almacenados a 10 °C, considerando que la combinación de atmósferas modificadas y temperatura baja puede incrementar la vida postcosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se cosecharon frutos de zapote mamey en madurez fisiológica de árboles criollos localizados en una huerta de Tetecala de la Reforma, Morelos. Se utilizó el índice de cosecha del productor, que consiste en eliminar una pequeña porción del exocarpio y verificar la presencia de una coloración naranja o roja (Alia *et al.*, 2005 a). Los frutos se cosecharon manualmente, se colocaron en costales y fueron transportados al laboratorio de Producción Agrícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, donde se realizaron las evaluaciones.

Organización experimental

Los frutos se mantuvieron a las condiciones del laboratorio (20 ± 2 °C; 60 % humedad relativa) por cinco horas; posteriormente se formaron dos lotes de 60 frutos. Los frutos del primer lote se cubrieron con la película plástica Kleen Pack® y los del segundo se mantuvieron sin película plástica. Posteriormente se almacenaron a 10 °C por 7, 14 y 21 d; adicionalmente se colocó un lote de 10 frutos a temperatura ambiente y sin envase plástico que sirvió como testigo. Al cumplirse los tiempos indicados, los frutos se colocaron a las condiciones del laboratorio para su maduración y se sometieron a evaluación mediante pruebas destructivas para determinar sólidos solubles, azúcares totales, firmeza, color (luminosidad, cromaticidad y el matiz), y pruebas no destructivas, consistentes en medición de velocidad de respiración y producción de etileno, patrón de maduración y pérdida de peso. Las pruebas no destructivas se realizaron diariamente y las destructivas cada tres días. La unidad experimental fue un fruto y se hicieron seis repeticiones para las variables destructivas y cinco repeticiones para la producción de etileno y la velocidad de respiración. En la pérdida de peso y patrón de maduración se hicieron 10 repeticiones.

Variables respuesta

El patrón de maduración se evaluó en 10 frutos por tratamiento, mediante la determinación de la firmeza del fruto al tacto, clasificando los frutos como: duros, cambiantes y suaves. Se calcularon los días promedio que se necesitaron para alcanzar el estado suave, reportándose la media ponderada (Saucedo *et al.*, 2001).

La velocidad de respiración y producción de etileno se determinó con un método estático. Dos frutos se colocaron en un recipiente hermético de volumen conocido por una hora. Al término del tiempo indicado de cada recipiente se muestrearon 7 mL del espacio de cabeza y se almacenaron en tubos al vacío (Vacutainer®, Becton Dickinson Co.). El gas contenido en los tubos se evaluó mediante un cromatógrafo de gases (Varian Star 3400) con una columna capilar empacada y fase estacionaria Poraplot Q y detectores de ionización de flama y de conductividad térmica. La temperatura del horno fue de 80 °C, la del inyector

150 °C y la de los detectores 170 °C. Se usó helio como gas de arrastre.

La pérdida de peso se midió de acuerdo a lo propuesto por Martínez *et al.* (2006). Se tomó peso diariamente a los frutos en una balanza digital. Se reportó pérdida de masa acumulada con la fórmula, $[(P_i - P_f)/P_i \times 100]$ donde P_i es peso inicial y P_f es peso final.

El color se evaluó en la pulpa de la parte media de los frutos, retirando una porción del exocarpio en lados opuestos del fruto. Se usó un colorímetro (X-rite, Mod. SP64) que dio lecturas de luminosidad, cromaticidad y ángulo matiz (McGuire, 1992).

La firmeza se determinó en la parte media de cada fruto; para ello se eliminó una porción de la cáscara en dos lados opuestos del fruto y se midió la fuerza necesaria (N) para penetrar la pulpa con un texturómetro manual (Chatillon DF250, USA) provisto de un puntal cónico (4.7 mm de diámetro en la base).

Los azúcares totales se midieron con el método de Antrona (Whitam *et al.*, 1971). Se tomó 1 g de pulpa que se colocó en un matraz de Erlenmeyer; posteriormente se agregaron 50 mL de etanol al 80 % y se mantuvieron en ebullición por 5 min. La solución alcohólica se dejó enfriar y se guardó en refrigeración (5 °C) por 15 d hasta su evaluación. Se tomó 1 mL de la solución alcohólica y se evaporó en baño maría. Al residuo se agregaron 100 mL de agua destilada y se aplicó agitación; se tomó 1 mL de la solución y se transfirió a un tubo Falcon adicionando 2 mL de agua destilada; posteriormente se agregaron 6 mL del reactivo de Antrona (0.4 g de Antrona + 100 mL de ácido sulfúrico) con una pipeta en baño de hielo. Después, la mezcla de reacción se hirvió durante 5 min, se enfrió en baño de hielo y se le midió absorbancia en un espectrofotómetro (Genesys 6, USA) a 600 nm. La cuantificación de los carbohidratos se realizó con una curva de calibración de glucosa.

Análisis de datos

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo de tratamientos factorial; un factor fue la cobertura del fruto con dos niveles: con película plástica (CPP) o sin película plástica (SPP), y el otro estuvo constituido por los días de almacenamiento (7, 14 y 21 d). Se aplicó un análisis de varianza y se hizo una comparación de medias con el método de Tukey (DMSH $P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Patrón de maduración. Los frutos de zapote mamey usados como testigo fueron suaves al tacto cinco días después de la cosecha. Esto fue congruente con el comportamiento hallado por Martínez *et al.* (2006), quienes indicaron que los frutos de zapote mamey de Tabasco maduran entre 4.0 y 5.6 d después de cosechados, cuando son almacenados a una temperatura de 30 °C y 85.5 de H.R. Asimismo, Cruz *et al.* (2009) reportaron que los frutos de zapote mamey cosechados en Morelos maduraron después de 5.4 d a 20 °C y 60 % H.R.

CUADRO 1. Tiempo (d) de maduración de los frutos de zapote mamey almacenados a 10 °C y 80 % HR con película plástica (CPP) y sin película plástica (SPP) por diferentes periodos de tiempo y madurados a condiciones ambientales (20 °C, 60 % H.R.).

Tratamiento	Días a madurez al tacto
7 d a 20 °C	5.0 ^z
7 d a 10 °C SPP + 6 d a 20 °C	5.0
7 d a 10 °C CPP + 6 d a 20 °C	9.0
14 d a 10 °C SPP + 6 d a 20 °C	5.4
14 d a 10 °C CPP + 6 d a 20 °C	8.8
21 d a 10 °C SPP + 6 d a 20 °C	5.0
21 d a 10 °C CPP + 6 d a 20 °C	7.8

^z: Media ponderada de acuerdo a la metodología de Saucedo *et al.* (2001).

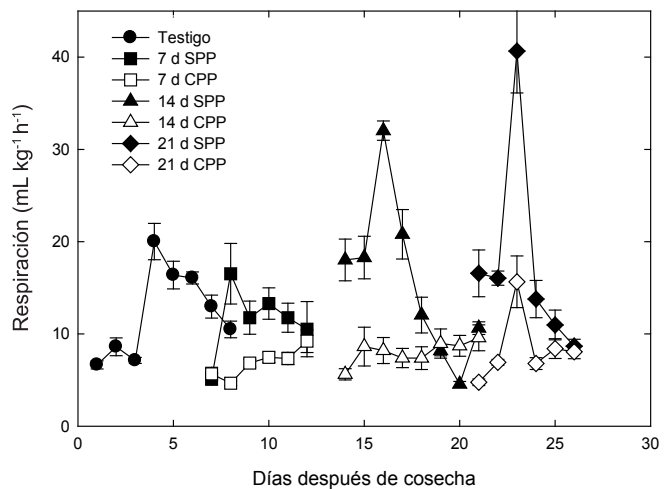


FIGURA 1. Velocidad de respiración de frutos de zapote mamey con o sin película plástica almacenados a 10 °C por diferentes intervalos de tiempo. Cada punto representa la media de 5 observaciones y las barras su error estándar. SPP: sin película plástica; CPP: con película plástica.

Por otro lado, los frutos almacenados a 10 °C por 7, 14 y 21 d sin película plástica (SPP) mostraron ablandamiento entre 5.0, 5.4 y 5.0 d, es decir, a los 12.0, 19.4 y 26 d después de salir del almacenamiento, dando evidencia del beneficio del almacenamiento refrigerado (Cuadro 1). En tanto, los frutos almacenados a 10 °C con película plástica (CPP) por 7, 14 y 21 d mostraron ablandamiento después de 8 d, lo que indica un retraso en los procesos de maduración por efecto de la película plástica (Cuadro 1). Al respecto, Cruz *et al.* (2009) almacenaron frutos de zapote mamey a 12 °C por 0, 7, 14, 21, y 28 d con y sin película plástica y determinaron que los frutos de zapote mamey con película plástica tuvieron una consistencia suave al tacto dos días después que los frutos almacenados sin película plástica, lo cual confirma que las películas plásticas favorecieron el retraso de la maduración en los frutos de zapote mamey.

Respiración. Los frutos de zapote mamey mantenidos a temperatura ambiente sin película plástica inmediatamente después de la cosecha (testigo) mostraron el patrón climatérico típico después de cuatro días (Figura 1). Los frutos almacenados por siete días a 10 °C sin película plástica, y madurados a

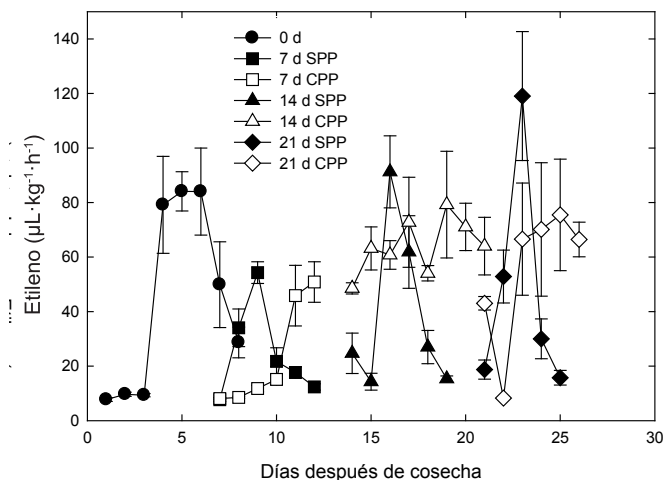


FIGURA 2. Producción de etileno de frutos de zapote mamey con o sin película plástica almacenados a 10 °C por diferentes intervalos de tiempo. Cada punto representa la media de 5 observaciones y las barras su error estándar. SSP: sin película plástica; CPP: con película plástica.

temperatura ambiente, tuvieron comportamiento climatérico similar, con el máximo climatérico detectado dos días después de la salida del almacenamiento (Figura 1). En los frutos almacenados por siete días a 10 °C con película plástica se tuvo un máximo respiratorio similar al de los frutos sin película, pero dicho máximo se alcanzó hasta los seis días después de la salida del almacenamiento (Figura 1, Cuadro 2).

Por otra parte, los frutos almacenados sin película plástica por 14 días registraron el pico climatérico tres días después de salir del almacenamiento (Figura 1), y su máximo de producción fue significativamente mayor que los frutos testigo y aquellos almacenados por 7 d CPP y SPP (Cuadro 2). En contraste, los frutos almacenados 14 d CPP por 10 °C mostraron una respiración entre 5 y 9 mL·kg⁻¹·h⁻¹ y no se detectó un máximo de producción (Figura 1), por lo que se cree que el tiempo de evaluación fue insuficiente para observar el desarrollo de esa condición en los frutos, aunque también está documentado que el empaquetado de frutos con películas plásticas puede incrementar el vapor de agua, la concentración de CO₂ y la del etileno, así como

causar una disminución de O₂ alrededor del fruto (Thompson, 2003; Wang, 2006), ocasionando que la respiración se reduzca considerablemente, con lo que se puede inhibir el climatérico de algunos frutos (Ribas-Carbó *et al.*, 2008).

Los frutos almacenados SPP por 21 d a 10 °C mostraron un máximo de producción tres días después de salir del almacenamiento (Figura 1), el cual fue mayor que en los frutos referencia (Cuadro 2) y diferente a los máximos de producción de los demás tratamientos (Cuadro 2). Por su parte, los frutos almacenados CPP por 21 d tuvieron el máximo tres días después de salir del almacenamiento, pero este máximo fue similar a los frutos CPP almacenados por 14 d a 10 °C (Cuadro 2).

El máximo pico de respiración que se observó en los frutos almacenados por 21 d a 10 °C puede ser una respuesta del zapote mamey a un inicio de daño por frío, cuyos síntomas sólo se reflejan en la actividad respiratoria, pero que aún no producen alteraciones visuales que afecten severamente la calidad del fruto (Alia *et al.*, 2005a). Se ha observado que en productos hortícolas donde hay daño por frío se produce un aumento significativo anormal en la respiración, probablemente por el desacoplamiento de la cadena transportadora de electrones (Markharm, 1986). Asimismo, se ha reportado que una vez que el material se transfiere a temperatura ambiente se restaura la actividad de mitocondrias y la oxidación de los productos que se acumularon durante el periodo en que el tejido estuvo a temperaturas bajas (Raison, 1980). Por otro lado, la intensidad de este pico fue menor en los frutos con película plástica, lo cual puede ser un efecto de la alta concentración de CO₂ o la disminución de O₂ dentro del envase (Thompson, 2003).

Producción de etileno. En los frutos utilizados como testigo se observó también un patrón climatérico típico expresado en la producción de etileno (Figura 2), donde el máximo de producción ocurrió al sexto día después de la cosecha, con valores superiores a 80 µL·kg⁻¹·h⁻¹ (Cuadro 2). Los frutos almacenados sin película plástica por 7, 14 o 21 d a 10 °C y después madurados a temperatura ambiente mostraron también el comportamiento climatérico, y los máximos se presentaron tres días después de salir del almacenamiento (Figura 2; Cuadro 2). Cuando los frutos se almacenaron por 7, 14 y 21 d, el máximo

CUADRO 2. Valores y días del máximo de la producción de respiración y etileno en frutos de zapote mamey almacenados previamente a 10 °C con película plástica cubiertos con película plástica (KleenPack®).

Tratamiento	Velocidad de respiración (mL kg ⁻¹ h ⁻¹)	Día	Producción de etileno (µL kg ⁻¹ h ⁻¹)	Día
7 d a 20 °C	20.0 b ^z	4	84.0 a	6
7 d a 10 °C + 6 d a 20 °C + SPP	16.5 b	2	54.2 a	3
7 d a 10 °C + 6 d a 20 °C + CPP	9.2 b	6	50.8 a	6
14 d a 10 °C + 6 d a 20 °C + SPP	32.0 a	3	91.2 a	3
14 d a 10 °C + 6 d a 20 °C + CPP	9.5 b	8	79.2 a	6
21 d a 10 °C + 6 d a 20 °C + SPP	40.6 a	3	119.0 a	3
21 d a 10 °C + 6 d a 20 °C + CPP	15.6 b	3	75.4 a	5
DMSH	11.7		78.4	
C.V.	28.4		46.4	

^zLetras iguales en el sentido de las columnas indican similitud de acuerdo a la prueba de la Diferencia Mínima Significativa Honesta (DMSH) ($P \leq 0.05$). SPP= Sin Película Plástica; CPP= Con Película Plástica.

climatérico fue similar a los frutos testigo (Cuadro 2). Alia *et al.* (2005 a), al almacenar frutos de zapote mamey por 20 d a 10 °C y posteriormente madurarlos a temperatura ambiente (20 °C; 50-60 % HR), observaron que el comportamiento fue similar a los frutos testigo.

En los frutos almacenados por 7, 14 o 21 d a 10 °C, pero con película plástica, los máximos de producción de etileno se observaron seis o cinco d después de la salida de refrigeración (Figura 2). Los valores de los máximos fueron similares a los frutos testigo (Cuadro 2). Estos resultados sugieren que la temperatura a 10 °C no afectó la producción de etileno como la respiración (Alia *et al.* 2005 a), y también sugieren que el aumento desproporcionado en actividad respiratoria ocurrido a los 14 d en frutos SPP no correspondió a daño por frío o bien en realidad este desorden fisiológico era incipiente, toda vez que está reportado que su desarrollo se acompaña tanto por un aumento en la producción de CO₂ como de la producción de etileno (Saltveit, 2003).

Pérdida de peso. En los frutos testigo la pérdida de peso fue de 7.8 ± 0.8 % después de seis días a las condiciones del laboratorio, lo que sugiere pérdidas diarias de 1.3 %. Se detectó una pérdida de peso significativa en frutos de zapote mamey almacenados con película plástica y en diferentes tiempos de almacenamiento (Cuadro 3). Los frutos almacenados con película plástica tuvieron pérdida de peso menor durante la maduración a temperatura ambiente (Cuadro 3). En contraste, los frutos sin película plástica tuvieron pérdidas de peso 3.7 veces superiores a los frutos con película plástica (Cuadro 3). Wills *et al.* (2007) señalan que el método más efectivo para controlar la pérdida de agua es colocar una barrera alrededor del fruto. En zapote mamey, Ramos-Ramírez *et al.* (2009) indican que el uso de películas plásticas disminuye la pérdida de peso entre 66 y 93 %.

CUADRO 3. Pérdida de peso en frutos de zapote mamey almacenados por diferentes periodos a 10 °C con y sin película plástica y posteriormente madurados a 20 °C y 60 % de H.R.

Factor	Día después de la salida del almacenamiento						
	Nivel	1	2	3	4	5	6
Película Plástica (PP)							
CPP	0.86 b ^z	1.24 b	1.63 b	2.14 b	3.19 b	3.5 b	
SPP	1.85 a	4.59 a	6.32 a	7.84 a	9.39 a	10.22 a	
DMSH	0.50	0.47	0.56	0.66	1.55	2.18	
Tiempo de almacenamiento (TA)							
7	1.22 a	3.41 a	4.45 a	5.37 a	6.21 a	10.22 a	
14	1.71 a	2.61 b	3.78 a	4.95 a	6.18 a	7.57 b	
21	1.46 a	2.85 ab	3.91 a	4.93 a	4.17 b	-	
DMSH	3.07	0.58	0.68	0.81	1.96	1.89	
PP*TA	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

^z:Medias en el sentido de las columnas con letra similar indican similitud de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

ns= No significativo. DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta.

CUADRO 4. Efecto del recubrimiento con película plástica en la luminosidad de frutos de zapote mamey almacenados por diferentes periodos a 10 °C y madurados a temperatura ambiente 20 °C y 60 % H.R.

Factor	Días después de salir del almacenamiento			
	Nivel	0	3	6
Película plástica (PP)				
CPP	70.4 a ^z	71.3 a	61.6 a	
SPP	67.9 a	63.4 b	55.0 b	
DMSH	3.7	2.77	6.2	
Tiempo de almacenamiento (TA)				
7	68.4 a	69.0 a	52.5 b	
14	68.3 a	67.3 a	65.0 ab	
21	70.7 a	65.9 a	60.0 a	
DMSH	4.6	3.3	7.6	
C.V.	7.2	5.4	13.1	
PP*TA	ns	ns	ns	

^z:Medias en el sentido de las columnas con letra similar indican similitud de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

ns= No significativo. DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta. C.V.: Coeficiente de variación.

Los frutos de zapote mamey SPP al salir del almacenamiento a 10 °C por 7, 14 o 21 d, mostraron una pérdida de peso similar (Cuadro 3). Sin embargo, durante el periodo de evaluación a temperatura ambiente se detectaron diferencias significativas después de 5 d, donde los frutos almacenados previamente por 7 y 14 d tuvieron una pérdida de 2.0 % más que aquéllos almacenados previamente por 21 d (Cuadro 3). Seis días después de salir del almacenamiento, los frutos con mayor pérdida de peso fueron los que se almacenaron previamente por un periodo de siete d (Cuadro 3).

Color (luminosidad, cromaticidad y matiz)

En los frutos testigo los valores de luminosidad fueron de 70.0 ± 2.6 al inicio del experimento, y seis días después los valores disminuyeron a valores de 61.5 ± 2.0; este comportamiento se ha reportado anteriormente asociado al oscurecimiento de la pulpa durante el proceso de maduración del fruto de zapote mamey (Díaz-Pérez *et al.*, 2000; Alia-Tejagal *et al.*, 2002). Por su parte, la luminosidad en la pulpa de frutos SPP almacenados disminuyó durante el periodo de maduración, contrastando con los frutos CPP almacenados, donde no se observaron cambios (Cuadro 4). Al sexto día a 20 °C hubo disminución mayor en los valores de luminosidad en los frutos almacenados previamente por siete d.

El ángulo matiz mostró pocos cambios en los frutos testigo; al inicio del experimento se determinaron valores de 51.2 ± 1.6, y seis días después los valores fueron de 51.0 ± 2.0. El ángulo de matiz en los frutos SPP fue mayor que en los frutos CPP (Cuadro 5). Los dos tratamientos se encontraron dentro del rango del ángulo matiz de la pulpa en madurez de consumo reportado por diferentes autores (Díaz-Pérez *et al.*, 2000; Alia-Tejagal *et al.*, 2002). En los frutos con diferentes intervalos de almacenamiento no se observaron diferencias significativas, a excepción de los frutos evaluados al sexto día y que previamente estuvieron en el almacenamiento a temperatura baja por 7 d. Los resultados indican que la película plástica disminuyó la velocidad de maduración en los frutos de zapote mamey.

CUADRO 5. Efecto del recubrimiento de película plástica en el matiz de frutos de zapote mamey almacenados por diferentes periodos a 10 °C y madurados a temperatura ambiente 20 °C y 60 % H.R.

Factor Nivel	Día después del almacenamiento		
	0	3	6
Película plástica (PP)			
CPP	53.1 a ^z	54.0 a	53.0 a
SPP	52.9 a	51.4 b	50.7 b
DMSH	2.91	2.1	1.8
Tiempo de almacenamiento (TA)			
7	54.9 a	52.6 a	50.9 b
14	51.6 a	53.3 a	53.6 a
21	52.5 a	52.1 a	51.8 ab
DMSH	3.5	2.5	2.2
C.V.	7.3	5.3	4.3
PP*TA	ns	ns	ns

^zMedias en el sentido de las columnas con letra similar indican similitud de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

ns= No significativo. DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta. C.V.: Coeficiente de variación.

CUADRO 6. Firmeza de frutos de zapote mamey almacenados por diferentes periodos a 10 °C con y sin película plástica y posteriormente madurados a 20 °C y 60 % de H.R.

Factor Nivel	Días después del almacenamiento		
	0	3	6
Película plástica (PP)			
CPP	81.1 a ^z	48.8 a	19.2 a
SPP	85.1 a	18.1 b	3.7 a
DMSH	7.38		
Tiempo de almacenamiento (TA)			
7	79.9 b	49.0 a	4.0 b
14	107.5 a	31. b	31.2 a
21	64.8 c	18.6 c	4.8 b
DMSH	9.0	9.6	20.3

^zMedias en el sentido de las columnas con letra similar indican similitud de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

ns= No significativo. DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta. C.V.: Coeficiente de variación.

Firmeza. Los frutos testigo mostraron valores de 93.6 ± 11.3 N y 2.3 ± 3.5 N, en madurez fisiológica y de consumo, respectivamente. Se observó efecto significativo de la utilización de película plástica y tiempo de almacenamiento en la firmeza de la pulpa del fruto durante la evaluación a temperatura ambiente (Cuadro 6). Una vez transferidos a temperatura ambiente, los frutos CPP tuvieron menor pérdida de firmeza que aquellos frutos que no tuvieron cubierta plástica (Cuadro 6), lo cual fue evidente después de 3 d. Wang (2006) indica que una de las consecuencias de las atmósferas modificadas es la supresión o disminución de la solubilización de carbohidratos y componentes de la pared celular, a lo cual se atribuye el retraso en el ablandamiento del fruto por efecto de la atmósfera modificada.

El periodo de almacenamiento por 7, 14 y 21 d a 10 °C afectó significativamente el comportamiento de la firmeza en la pulpa de los frutos de zapote mamey, una vez madurados a temperatura ambiente. Así, se detectó que a mayor periodo

CUADRO 7. Efecto del recubrimiento de película plástica en la producción de azúcares totales ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ de peso fresco) en frutos de zapote mamey almacenados por diferentes periodos a 10 °C y madurados a temperatura ambiente 20 °C y 60 % H.R.

Factor Nivel	Días después del almacenamiento		
	0	3	6
Película plástica (PP)			
CPP	142.6 a	116.3 b	172.1 a
SPP	129.0 a	159.1 a	138.4 a
DMSH	43.1	36.4	41.9
Tiempo de almacenamiento (TA)			
7	100.9 b	91.5 b	92.9 b
14	143.7 ab	116.3 b	213.4 a
21	162.8 a	205.4 a	178.4 a
DMSH	52.8	44.6	51.2
C.V.	42.1	35.1	33.09
PP*TA	ns	ns	ns

^zMedias en el sentido de las columnas con letra similar indican similitud de acuerdo a la prueba de la Tukey ($P \leq 0.05$).

ns= No significativo. DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta. C.V.: Coeficiente de variación.

de almacenamiento, la firmeza fue menor una vez colocados a temperatura ambiente (Cuadro 7). Los frutos almacenados por 14 d a 10 °C no disminuyeron su firmeza después de seis días (Cuadro 7), lo que sugiere efecto negativo por el tiempo y temperatura de almacenamiento evaluado. Sin embargo, los frutos almacenados por 21 d perdieron firmeza similar a los frutos testigo.

Azúcares totales. Los azúcares totales se vieron afectados durante la maduración a temperatura ambiente por la utilización de película plástica y también por el periodo de almacenamiento (Cuadro 7). Los azúcares se incrementaron durante la maduración a temperatura ambiente; en el tercer día de evaluación se detectaron diferencias significativas ya que los frutos que tuvieron película plástica mostraron la menor concentración de azúcares totales. Sin embargo, al sexto día de evaluación las concentraciones fueron similares con los frutos almacenados sin película plástica (Cuadro 7), lo que indicó que el metabolismo de los azúcares totales resultó afectado por la atmósfera modificada.

Las diferencias en la concentración de azúcares totales fueron más evidentes por efecto de los periodos previos de almacenamiento a 10 °C. Al salir del almacenamiento los azúcares totales fueron mayores en los frutos SPP almacenados por 21 d, debido a que el proceso de maduración avanzó durante ese periodo, aspecto ya reportado con anterioridad (Alia *et al.*, 2005 a; Cruz, 2009). Por otra parte, los frutos de zapote mamey almacenados por siete días y después madurados a temperatura ambiente tuvieron la menor acumulación de azúcares totales, mientras que los frutos almacenados por 21 d y después transferidos a temperatura ambiente tuvieron una acumulación mayor (Cuadro 7), inclusive que los frutos almacenados por 14 d. Estos resultados confirman lo reportado anteriormente por Alia *et al.* (2005 a), quienes indicaron que durante el almacenamiento del zapote mamey a temperaturas mayores de 10 °C el proceso de maduración no se detiene completamente.

CONCLUSIONES

Los frutos de zapote mamey maduraron en cinco d en condiciones de 20 ± 2 °C. El almacenamiento a 10 °C en combinación con películas plásticas retrasó el proceso de

maduración, dado que favoreció una disminución en la pérdida de peso, firmeza, parámetros de color y azúcares totales. El almacenamiento de frutos de zapote mamey por 21 d con películas plásticas y 10 °C incrementó su vida útil, en 27 d considerando el periodo de maduración.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a programa SEP-PROMEP por el apoyo para la publicación de este trabajo dado a través de la Red Nacional de Productividad y Calidad de Alimentos y Agrícolas.

LITERATURA CITADA

- Alia-Tejagal I.; M. T. Colinas L.; Martínez D. M. T.; Soto H. R. M. 2002. Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] en postcosecha. Revista Chapingo Serie Horticultura 8: 263-281.
- Alia T. I.; Colinas M. T. L.; Martínez M. T. D.; Hernández R. M. S. 2005 a. Daños por frío en zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn. I. Comportamiento de volátiles, firmeza y azúcares totales. Revista Fitotecnia Mexicana 28: 17-24.
- Alia T. I.; Colinas M. T. L.; Martínez M. T. D.; Hernández, R. M. S. 2005 b. Daños por frío en zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn. II. Fenoles totales y actividad enzimática. Revista Fitotecnia Mexicana 28: 25-32.
- Alia-Tejagal I.; Bautista-Baños S.; Villanueva-Arce R.; Pelayo-Zaldívar C.; Colinas-León M. T.; López-Martínez V. 2007. Postharvest physiology and technology of sapote mamey fruit (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn). Postharvest Biology and Technology 45: 285-297.
- Balerdi F. C.; Shaw E. F. 1998. Sapodilla and related fruit, pp. 78-136. In: Tropical and Subtropical Fruits. Shaw, P. E.; Chan, H. T.; Nagy, S. (Eds.). AGSCIENCE. Florida, USA.
- Corrales-García J. 1997. Physiological and biochemical responses of 'Hass' avocado fruits to cold-storage in controlled atmosphere. Proceedings of the Seventh International Controlled Atmosphere Resources Conference. University of California, Davis, California. pp. 3: 69-74.
- Cruz V. G.; Alia T. I.; López M. V.; Andrade R. M.; Acosta D. C. M.; Villegas T. O. G.; Guillén S. D.; Ariza F. R.; Villarreal F. J. M. 2009. Atmosferas modificadas y temperatura baja en frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn] Investigación Agropecuaria 6(2): 173-182.
- Díaz-Pérez J. C.; Bautista S.; Villanueva R. 2000. Quality changes in sapote mamey fruit during ripening and storage. Postharvest Biology and Technology 18: 67-73.
- Díaz-Pérez J. C.; Bautista S.; Villanueva R.; López-Gómez R. 2002. Modeling the ripening of sapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn] fruit at various temperatures. Postharvest Biology and Technology 28: 199-202.
- Manzano E. J. 2001. Caracterización de algunos parámetros de calidad en frutos de zapote mamey (*Calocarpum sapota* (Jacq.) Merr. En diferentes condiciones de almacenamiento. Proceedings of the Interamerican Society of Tropical Horticulture 43: 53-56.
- Markham A. H. 1986. Chilling injury: A review of posible causes. HortScience 21: 1329-1333.
- Martínez M. A.; Alia T. I.; Colinas L. M. T. 2006. Refrigeración de frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] cosechados en diferentes fechas en Tabasco, México. Revista Fitotecnia Mexicana 29: 51-57.
- Martínez-Morales A.; Alia-Tejagal I.; Valle-Guadarrama S.; Colinas-León M. T.; López M. V.; Baustista B. S.; Andrade R. M.; Villegas T. O.; Guillén S. D. 2008. Comportamiento de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) en dos atmósferas con bajo O₂ y moderado CO₂. Revista Fitotecnia Mexicana 31: 53-59.
- McGuire R. G. 1992. Reporting of objective color measurement. HortScience 27: 1254-1255.
- Popenoe W. 1948. Manual of Tropical and Subtropical Fruits. Collier-MacMillan Publishers. New York, USA. pp: 340-343
- Ramos-Ramírez F. X.; Alia-Tejagal I.; López-Martínez V.; Colinas-León M. T.; Acosta-Durán C. M.; Tapia-Delgado A.; Villegas-Torres O. 2009. Almacenamiento de frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] en atmósfera modificada. Revista Chapingo Serie Horticultura 15: 17-23.
- Ribas-Carbó M.; Floréz-Sarasa I. D.; González-Meler M. A. 2008. La respiración de las plantas. In: Talón M. (Ed.). Barcelona, España. McGrawHill-Universitat de Barcelona pp: 265-285.
- Raison K. J. 1980. Effect of low temperature on respiration In: Davies D.D. (ed). The Biochemistry of Plants. A comprehensive treatise Vol. 2. pp: 613-626.
- Saltveit M. E. 2003. Temperature extremes. In: Bartz, J. A.; Brencht, J. K. (Eds.). Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables. University of Florida, Gainesville. Florida, pp. 457-483.
- Saucedo V. C.; Martínez A. M.; Chávez F. S. H.; Hernández S. R. M. 2001. Maduración de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) tratados con etileno. Revista Fitotecnia Mexicana 24:231-234.
- SIACON. 2006. http://w3.siap.sagarpa.gob.mx:8080/siapp_apb/. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. 2006. Consultado en mayo 2009.
- Thompson A. K. 2003. Fruit and Vegetables. Harvesting, Handling and Storage. Blackwell, Publishing. Oxford, UK. 460 p.
- Whitam F. F.; Blydes D. F.; Devlin R. M. 1971. Experiments in Plant Physiology. Vad Nostrand Reinhold C. New York, USA. 245 p.
- Wang C. Y. 2006. Biochemical basis of the effects of modified and controlled atmospheres. Stewart Postharvest Review 5: 1-6.
- Wills R.; McGlasson B.; Graham D.; Joyce D. 2007. Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetable and ornamentals. CABI. 227 p.