

TEMPERATURAS DE ALMACENAMIENTO Y MADURACIÓN EN FRUTOS DE MAMEY (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn).

I. Alía-Tejagal¹; C. Saucedo-Veloz²; Ma. T. Martínez-Damián; Ma. T. Colinas-León³

¹Programa de Fisiología Vegetal. IREGEP. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. C.P.56230

²Programa de Fruticultura. IREGEP. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. C.P.56230

³Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. C.P.56230

RESUMEN

Se determinó el efecto de las bajas temperaturas sobre el metabolismo de maduración en frutos de mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn). Los frutos se almacenaron a 20°C, 12°C, 5°C, 5°C + 2°C a diferentes tiempos y a todos se les aplicó etileno (20°C mg·litro⁻¹ por 24 h). Se evaluó la producción de etileno, la tasa de respiración, la pérdida de peso, los azúcares totales, y la actividad enzimática de polifenol oxidasa y la catalasa. En los tres primeros tratamientos, frutos almacenados a 20°C, 12°C y 5°C, se observó un patrón climatérico, siendo éste anormal en los frutos expuestos a 5°C, donde también existió una menor acumulación de azúcares totales, atribuidos a daños por frío. Se observaron síntomas de daño por frío como manchas y endurecimiento de haces vasculares en los frutos expuestos a 5°C y 5°C + 2°C. La actividad de catalasa se inhibió durante el almacenamiento a bajas temperaturas, aumentando posteriormente durante la maduración y la polifenoloxidasa se incrementó en mayor proporción en los tratamientos donde se expusieron frutos a 5 y 5°C + 2°C confirmando que esta enzima está relacionada con el oscurecimiento de la pulpa de mamey expuesta a estas temperaturas.

PALABRAS CLAVE: Polifenoloxidasa, catalasa, tasa de respiración, producción de etileno, postcosecha.

STORAGE TEMPERATURES AND MATURATION OF SAPOTE MAMEY FRUITS (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn).

SUMMARY

The effect of low temperature on maturation of sapote mamey fruits (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore and Stearn) was determined. The fruits were stored at 20°C, 12°C, 5°C and 5°C + 2°C different times with 20°C mg·liter⁻¹ por 24 h of ethylene. The variables evaluated were: ethylene production, respiration rate, weight loss, total sugars and enzymatic activity of polyphenoloxidase and catalase. In the first three treatments a climateric pattern was observed, fruits stored at 20°C, 12°C and 5°C being this abnormal in exposed fruits at 5°C where a lower accumulation of total sugars was obtained, attributed to chilling injury. Symptoms of chilling damage were observed as stains and hard tissue in the pulp of fruits stored at 5°C + 2°C. Differences in losses of weight were found among treatments. The activity of catalase was inhibited during the storage at low temperature, increasing it later during maturation. Polyphenoloxidase increased in more proportion in treatments where fruits were exposed at 5°C + 2°C, confirming that this enzyme is related with dimness of pulp of sapote mamey fruits at these temperatures.

KEY WORDS: Polyphenoloxidase, catalase, respiration rate, ethylene production, postharvest.

INTRODUCCIÓN

El mamey se encuentra en todas las zonas tropicales de México como parte de la selva alta perennifolia, o cultivado con otros frutales (Toral, 1988), considerándose como centro de origen las tierras bajas de América Central (Popenoe, 1948).

En México se tienen actualmente establecidas 1 251 ha (Anónimo, 1996), debiéndose esta poca superficie a que no existen cultivares establecidos proveniendo los árboles en su mayoría de semillas (Salcedo, 1986), lo cual limita el manejo en el huerto como su comercialización (Anónimo, 1974). Sin embargo, dadas sus características organolépticas, nutricionales y económicas se

considera un frutal de alto potencial (Arzudia et al., 1995), del cual se desconocen aspectos relevantes como son los mecanismos bioquímicos involucrados en la maduración del fruto, así como las formas adecuadas de almacenamiento óptimas (Martínez, 1998). En frutos tropicales la utilización de bajas temperaturas con el objeto de retardar la senescencia es restringido ya que puede causar desórdenes en el metabolismo conocidos como daños por frío, los cuales conducen al deterioro y pérdida del valor comercial, de aquí la importancia de estudiar los procesos fisiológicos, bioquímicos y biofísicos que caracterizan el proceso de maduración y su relación con la exposición a bajas temperaturas en frutos de mamey.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de Fisiología Postcosecha del Programa de Fruticultura del Colegio de Postgraduados, el material utilizado fueron frutos provenientes de genotipos criollos de la región de Coatlán del Río, Morelos, correspondiendo al ciclo productivo 1998-1999, la selección de los frutos se realizó por sanidad.

Los tratamientos fueron los siguientes:

1. Tratamiento con etileno (2 000 mg·litro⁻¹ por 24 h a 20°C; 80-85% humedad relativa) y posterior maduración a las condiciones ambientales (20°C; 50-60% humedad relativa).

2. Almacenamiento por 8 días a 12°C; 80-85% humedad relativa + tratamiento con etileno + maduración a las condiciones ambientales.

3. Tratamiento por 8 días a 5°C; 80-85% humedad relativa + tratamiento con etileno + maduración a las condiciones ambientales.

Como un tratamiento adicional y únicamente con el fin de promover daños severos por frío en los frutos, se expuso otro lote de frutos a las condiciones siguientes:

4. Almacenamiento por 8 días a 5°C y 85% de humedad relativa más 8 días a 2°C; 80-85% humedad relativa + tratamiento con etileno + maduración a las condiciones ambientales.

El diseño experimental fue completamente al azar, siendo un fruto la unidad experimental con cinco repeticiones.

Las variables evaluadas fueron: producción de etileno y bióxido de carbono (CO₂) por el método estático de espacio vacío descrito por Martínez (1998); colocándose 2 frutos en recipientes de volumen conocido por una hora, posteriormente con una jeringa hipodérmica se tomo 1 ml, del espacio vacío, el cual fue inyectado en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard 5890 Serie II, las

pérdidas de peso calculadas en función de la diferencia entre el peso inicial y el final dependiendo de los días de registro; la cuantificación de azúcares totales fue determinada por el método de antrona descrita por Whitam *et al.* (1971), donde se extrajeron azúcares a partir de 5 g de pulpa con alcohol 80%, de donde se tomó un ml para realizar una reacción con la solución ácido sulfúrico + antrona, y registrándose los datos en un espectrofotómetro a 600 nm; la actividad de polifenoloxidasas se realizó por el método de Jingwei y Paull (1998); donde a partir de 1 g de pulpa se extrajo la enzima con 2 ml de buffer Tris-HCl 125 mM a pH 7.0 con 1% polivinil pirrolidona, 10% de glicerina y 10 mM de ácido ascórbico y centrifugándose a 10 000 x g a 4°C, del sobrenadante se tomaron 200 µl para realizar la reacción con 60 mM de catecol (tomándose la lectura inicial), posteriormente se calentó a 40°C para tomar la lectura final. El cambio de absorbancia se evaluó a 490 nm. Una unidad de la actividad de la enzima fue definida como un cambio de una unidad de absorbancia por minuto; la actividad de catalasa se determinó por el método descrito por Blackwell *et al.* (1990) en el cual a partir de 1 g de tejido molido en un mortero congelado, posteriormente se adicionaron 10 ml de buffer Tris-HCl (frío) a un pH de 7.0 y 1 % de polivinil pirrolidona, el homogenizado se centrifugó a 20 000 x g por 15 minutos a 4°C. Para el ensayo, se colocó en una celda de cuarzo con 0.1 ml de 0.88 % peróxido de hidrógeno en 100 mM tris-HCl (pH 8.0), la reacción se inició adicionando 0.2 ml del sobrenadante, tomándose la lectura inicial y una lectura final a los cinco minutos. Una unidad de catalasa se definió como la cantidad de enzima la cual descompone 1 µmol·min⁻¹ de H₂O₂ degradado. Las determinaciones se realizaron cada dos días después de la aplicación de etileno (para la aplicación se mezcló aire + etileno empleándose un compresor comercial de aire y el gas etileno fue proporcionado mediante un tanque presurizado con calidad comercial estándar al 100%. La concentración requerida se proporcionó a través de un tablero de mezclador y un tablero de distribución), hasta la madurez de consumo, excepto las variables producción de etileno, velocidad de respiración y pérdida de peso que se evaluaron diariamente. El análisis fue realizado mediante el paquete estadístico SAS y las medias resultantes se compararon por día mediante una prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respiración y producción de etileno

El patrón climatérico de los frutos de mamey quedó definido por los picos de bióxido de carbono y etileno obtenidos durante la maduración del testigo a 2°C, alcanzando un valor de CO₂ 103.7 ml·kg⁻¹·h⁻¹ y etileno 188.6 µl·kg⁻¹·h⁻¹ después de siete y cinco días, respectivamente (Figura 1). De acuerdo con los cambios en firmeza al tacto, los frutos alcanzaron la madurez de consumo a los siete días después de la aplicación de etileno.

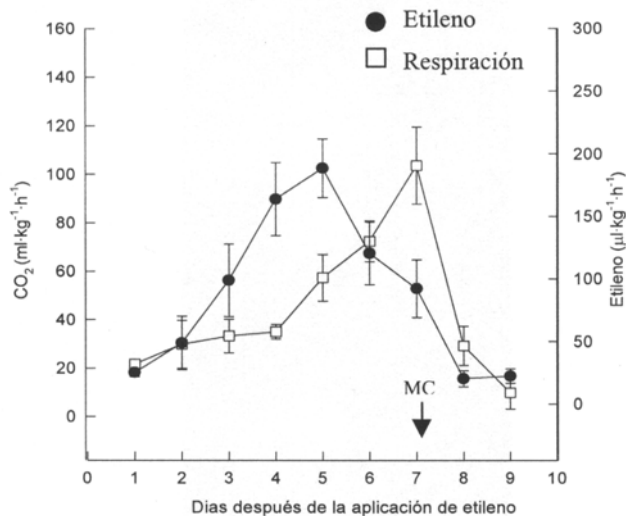


Figura 1. Comportamiento de la producción de etileno y tasa de respiración durante la maduración a 20°C en frutos de mamey. Cada punto es el promedio de cinco repeticiones \pm error estándar. MC = Madurez de consumo.

El comportamiento de ambos gases en los frutos almacenados por ocho días a 12°C y posterior maduración a 20°C, se manifestó en un máximo climatérico a los dos días después del tratamiento de etileno con 114.2 ml·kg⁻¹·h⁻¹ de CO₂ y 185.4 μl·kg⁻¹·h⁻¹ de etileno lo que permite asumir que los frutos avanzaron en el proceso de maduración durante la exposición a 12°C; de tal manera que al transferir a 20°C la elevación climatérica se presentó de manera inmediata (Figura 2).

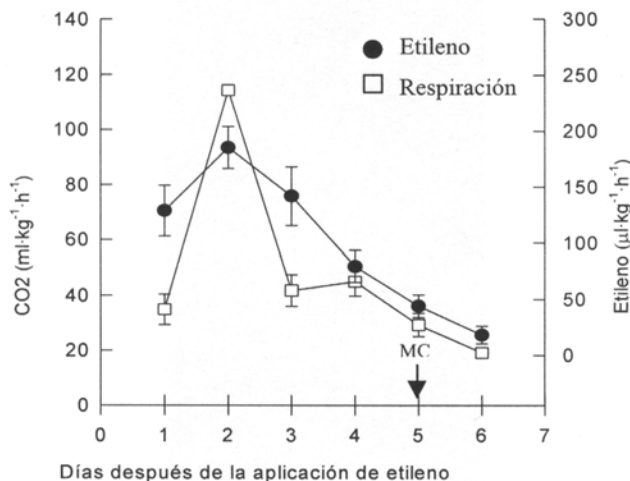


Figura 2. Comportamiento de la producción de etileno y tasa de respiración durante la maduración en frutos de mamey después de un almacenamiento a 12°C por 8 días. Cada punto representa el promedio de cinco observaciones \pm error estándar. MC = Madurez de consumo.

Estos resultados sugieren que el metabolismo respiratorio y de biosíntesis de etileno evolucionaron de manera normal, lo que se confirma por el hecho de que los frutos maduraron satisfactoriamente. Cabe señalar que en este tratamiento la madurez de consumo evaluada por la firmeza

al tacto se obtuvo a los cinco días después de la aplicación de etileno.

En los frutos expuestos a 5°C por ocho días, la evolución de la maduración a 20°C se manifestó en un patrón respiratorio atípico con dos picos de CO₂ (80.2 y 66.6 ml·kg⁻¹·h⁻¹) obtenidos a los cuatro y siete días después de la aplicación de etileno (Figura 3).

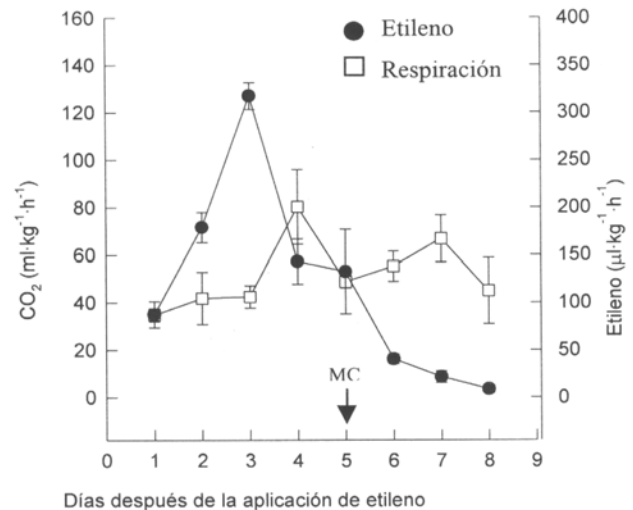


Figura 3. Comportamiento de la producción de etileno y la tasa de respiración en frutos de mamey, almacenados a 5°C por ocho días. Cada punto representa el promedio de cinco repeticiones \pm error estándar. MC = Madurez de consumo.

Por otro lado, el pico de etileno se presentó inmediatamente después de transferir a 20°C (tres días después del tratamiento con etileno) y además con relación al testigo resultó más elevado (317 μl·kg⁻¹·h⁻¹). Al igual que los frutos expuestos a 12°C la madurez de consumo se obtuvo después de cinco días tras el tratamiento de etileno. Lo anterior permite asumir que hay alteraciones en el metabolismo relacionado con la maduración de los frutos, aspecto que se confirma por la presencia de manchado de la pulpa, endurecimiento de los haces vasculares y ablandamiento heterogéneo. Estos últimos síntomas resultaron más severos en frutos almacenados a 5°C por 8 días + 2°C por 8 días y su posterior maduración a 20°C, en este tratamiento la madurez de consumo se alcanzó nueve días después de la aplicación de etileno, sin embargo, el patrón de ablandamiento resultó heterogéneo, lo cual confirma la presencia de daño por frío.

Las alteraciones en el metabolismo respiratorio debidas a un estrés de frío han sido presentadas por Lyons (1973) y Salveit y Morris (1990). Ellos demostraron que los niveles de ácido 1-aminociclopropano-1 carboxílico (ACC); la actividad de ACC-sintasa y la producción de etileno permanecen bajos en tejidos vegetales expuestos a un estrés de frío, sin embargo, aumentan rápidamente al transferir a mayores temperaturas. Los resultados de etileno obtenidos en los frutos almacenados a 5°C por 8 días y posterior maduración a 20°C confirman dicho comportamiento.

Pérdida de peso

Durante el almacenamiento en condiciones de refrigeración y maduración las pérdidas de peso se incrementaron en función del tiempo. En el caso del testigo (sin refrigeración) alcanzaron 10.7% al momento de la madurez de consumo (7 días después del tratamiento con etileno). En el caso del tratamiento 12°C y 5°C las pérdidas de peso alcanzaron 11.1 y 8.9 %, respectivamente, ambos después de cinco días a 20°C (Figura 4).

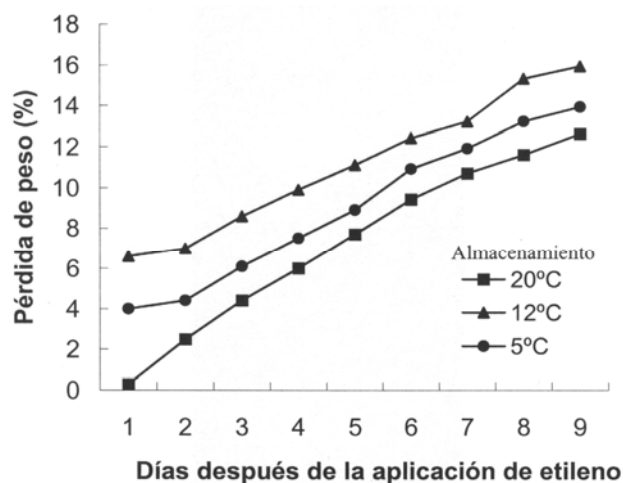


Figura 4. Pérdidas de peso en frutos de mamey después de los diferentes tratamientos de almacenamiento por ocho días y madurados a 20°C con aplicación de etileno a 2000 mg·litro⁻¹ por 24 h.

Cabe señalar que los frutos almacenados a 12°C presentaron mayores pérdidas de peso respecto a los de 5°C (después de la aplicación de etileno), lo cual se evidencia también en mayores pérdidas durante la maduración. No se observó efecto de la presencia de daños por frío en las pérdidas de peso ya que en ambas temperaturas se presentó un máximo de pérdidas diarias similar (1.2 y 1.3 % para 12 y 5°C en el mismo orden). De acuerdo con Hardemburg *et al.* (1988) las pérdidas de humedad de productos hortofrutícolas a diferentes temperaturas y misma humedad relativa, son mayores donde la temperatura es mayor, este comportamiento fue similar al reportado por Díaz *et al.* (2000), quienes mencionaron que en frutos de mamey entre más se incrementa la temperatura de almacenamiento existía un aumento en la pérdida de vapor de agua.

Azúcares totales

En el caso del testigo el metabolismo de azúcares durante la maduración de frutos de mamey presentó un continuo aumento durante el proceso de maduración, para posteriormente disminuir durante la senescencia; el máximo de azúcares (30.7 %) se obtuvo en la madurez de consumo (Cuadro 1).

En el caso de los frutos expuestos a 12°C se presentó una tendencia similar alcanzando el contenido máximo

(33.4 %) a los 5 días después de la aplicación de etileno. Aunque los frutos almacenados a 5°C muestran valores más bajos que los tratamientos anteriores, ya que a la madurez de consumo se alcanzó una acumulación de 19.1 %, lo que sugiere que el metabolismo de estos compuestos químicos es afectado por bajas temperaturas, la tendencia de aumentar la concentración de azúcares en frutos de mamey se debe a la hidrólisis de almidón (almacenado durante el crecimiento del fruto), y su conversión en sacarosa, fructosa y galactosa (Casas, 1979).

CUADRO 1. Efecto de las temperaturas de almacenamiento en los azúcares totales de frutos de mamey.

Tratamiento	Azúcares totales (%)			
	Días después de la aplicación de etileno			
	1	3	5	7
Testigo a 20 ^o	13.3a ^z	21.3 a	30.7 a	22.1 a
8 días a 12°C	18.4 a	27.0 a	33.4 a	24.2 a
8 días a 5°C	13.7 a	16.6 a	19.1 b	13.7 a

^zValores con la misma letra dentro de las columnas son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$

Actividad de la Catalasa.

De acuerdo con los resultados obtenidos la actividad de la catalasa se incrementó en función de la maduración, elevándose en el testigo y en los frutos expuestos a 12°C, 5°C y 5°C por 8 días + 2°C por 8 días, desde 4.6, 4.4, 3.1 y 4.6 $\mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1}$ de H_2O_2 degradado a la salida del tratamiento de etileno, hasta 15.6, 9.7, 9.7 y 11.7 $\mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1}$ de H_2O_2 degradado a la madurez de consumo, respectivamente (Figura 5).

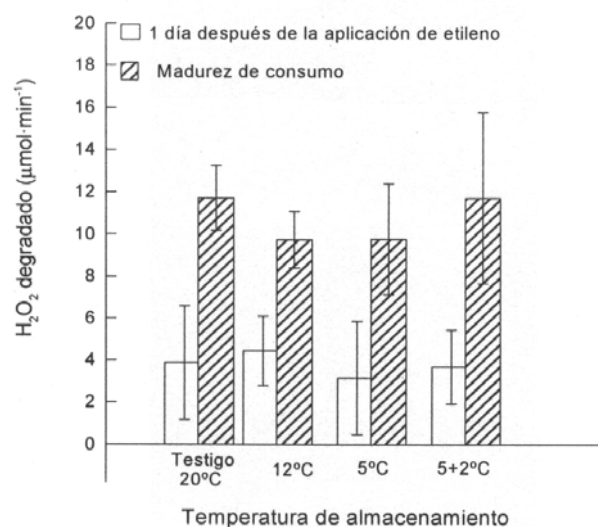


Figura 5. Actividad de catalasa durante la maduración de frutos de mamey, después de diferentes tratamientos de almacenamiento. Cada barra representa el promedio de cinco repeticiones \pm error estándar.

El aumento de la actividad de la enzima catalasa en los tratamientos durante la maduración se puede atribuir al aumento en la respiración de los frutos, donde se produce peróxido de hidrógeno (Rao y Chundawat, 1989, Rao y Chundawat, 1992)

Polifenol oxidasa (PPO)

Durante la maduración la actividad de la PPO en el testigo experimentó un continuo incremento de 0.16 unidades·ml⁻¹ a la salida del tratamiento de etileno hasta 7.5 unidades·ml⁻¹ a la madurez de consumo; y se incrementa durante la madurez de consumo (Figura 6). En cuanto al efecto de las bajas temperaturas, la PPO también se incrementó desde 2.1 unidades·ml⁻¹ hasta 4.2 unidades·ml⁻¹ en el tratamiento a 12°C, frutos donde no existió daños por frío; en el caso de los frutos almacenados a 5°C (en donde se presentaron ligeros daños por frío) hasta 9.8 unidades·ml⁻¹ a la madurez de consumo; en tanto que en los expuestos a 5°C + 2°C se incrementaron desde 4.4 hasta 19.9 unidades·ml⁻¹, en la madurez de consumo. Lo anterior permite sugerir que la PPO está involucrada con los daños por frío en frutos de mamey, ya que es en el tratamiento donde la PPO se incrementó en mayor proporción durante el proceso de maduración. Es de señalar que este tratamiento mostró mayores valores de actividad enzimática al salir del tratamiento que los demás tratamientos.

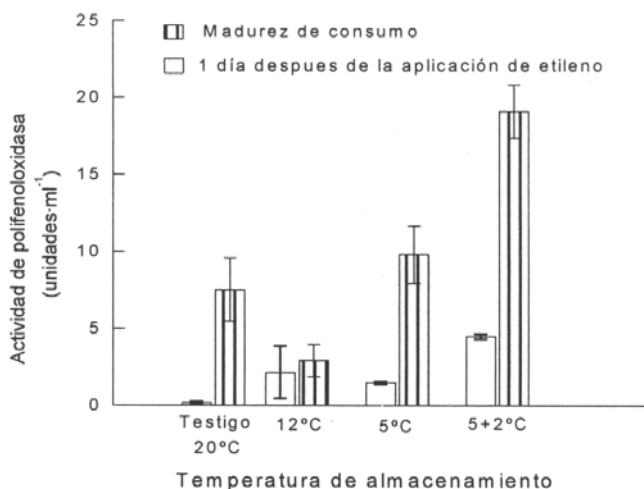


Figura 6. Actividad de polifenoloxidasa durante la maduración de frutos de mamey, después de diferentes tratamientos de almacenamiento. Cada barra representa el promedio de cinco repeticiones \pm error estándar.

La actividad de la PPO está íntimamente relacionada con el daño físico ocurrido por la exposición a bajas temperaturas, causando el desorden celular, lo que conlleva a la unión entre la enzima (PPO) y el sustrato (fenoles) ocasionando la degradación de compuestos fenólicos, lo

cual es un síntoma de este tipo de estrés (Underhill, 1992) de ahí que también a 5°C resulta alta la actividad de PPO. Los resultados de los frutos expuestos a 12°C se explican más como parte del proceso de maduración en cuyo caso ocurren pérdidas de la compartimentalización de vacuolas por efecto del etileno.

CONCLUSIONES

Los frutos de mamey tienen un comportamiento climático, con un aumento en la producción de CO₂ antecedido de un aumento en la producción del etileno.

Los frutos expuestos a 5°C por 8 días manifestaron daños por frío después de exponerse a temperaturas ambientales, que se definieron por un aumento anormal en la producción de etileno y una menor acumulación de azúcares totales, así como un incremento en la actividad de la enzima polifenoloxidasa. También manifestaron daños visuales como manchado de pulpa y endurecimiento de haces vasculares.

Los frutos expuestos a 12°C no presentaron un retraso en el proceso de maduración.

LITERATURA CITADA

- ANÓNIMO. 1974. EL cultivo del mamey. Comisión Nacional de Fruticultura. Serie de Divulgación. Folleto No. 14. D.F., México. 19 p.
- ANÓNIMO. 1996. Anuario estadístico de la producción de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo II. Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural, D.F., México. 721 p.
- ARZUDIA, O.; MARTÍNEZ, E.; AYALA, H. 1995. Algunas sapotáceas del Petén, Guatemala. Proc. Interamerican Soc. Trop. Hort. 39: 119-126.
- CASAS ALENCASER, E. 1979. Cambios fisiológicos y bioquímicos durante la maduración del mamey (*Calocarpum mammosum*). Tesis Profesional Ingeniero Bioquímico. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. D.F., México. 94 p.
- CHEYNEIR, Y.; SOUQUET, J.M.; KONTEK, A.; MOUTOUNET, M. 1994. Anthocyanin degradation in oxidising grape must. Journal Food Agric. 66: 283-288.
- DIÁZ-PÉREZ, J.C.; BAUTISTA, S.; VILLANUEVA, R. 2000. Quality changes in sapot e mamey fruit during ripening and storage. Postharvest Biology and Technology 18: 67-73.
- HARDEMBURG, R.E.; WATADA, A.E.; WANG, C.Y. 1988. Almacenamiento comercial de frutos y existencia de floristerías y viveros. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura 1, San José, Costa Rica. 192 p.
- JINWEI, D.; PAULL, R.E. 1997. Comparison of leaf susceptibility to enzymatic blackening in *Protea neriifolia* R. Br. *Leucospermum* 'Rachel'. Postharvest Biology and Technology 11: 101-106.
- LYONS, J.M. 1973. Chilling Injury in plants. Annual Review Plant Physiology 24: 467-492.
- MARTÍNEZ M., A. 1998. Fisiología de la maduración de frutos de mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn.). Tesis de Maestría en Ciencias, Especialidad de Fruticultura, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 70 p.

- RAO, D.V.R.; CHUNDAWAT, B.S. 1989. Postharvest changes in respiration and enzyme activities in sapota (*Manihot esculenta* (Mill.) Forsberg). Indian Journal of Plant Physiology 2:105-109.
- RAO, D.V.R.; CHUNDAWAT, B.S. 1992. Effect of certain new ripening retardants on ripening in sapota (*Manihot esculenta* (Mill.) Forsberg) cv. Kirthabarthi. Indian Journal of Plant Physiology 2: 167-173.
- SALCEDO, J. G. 1986. Anatomía de la unión del injerto en mamey (*Calocarpum sapota* (Jacq) Merr.) Universidad y Ciencia 3(5): 23-29.
- SALVEIT, M.E. Jr.; MORRIS, L.L. 1990. Overview on chilling injury of horticultural crops, pp. 3-15 *In*: Chilling Injury in Horticultural Crops. Wang, C.Y. (ed.). CRC Press, Inc. Boca Raton Florida, USA.
- TORAL-JARQUIN, J.O. 1988. El cultivo de mamey (*Calocarpum sapota*). Escuela Nacional de Fruticultura. Xalapa, Veracruz. México. 40 p.
- UNDERHILL, S.J.R. 1992. Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) pericarp browning. Trop. Sci. 32: 305-312.
- WHITAM, F. H.; BLAYDES, D.F.; DEVLIN, R.M. 1971. Experiments in Plant Physiology. Van Nostrand Reinhold Company. New York, USA. 245 p.