



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRICOLAS

## CAMPUS MONTECILLO

POSGRADO DE RECURSOS GENETICOS Y  
PRODUCTIVIDAD

## FRUTICULTURA

TRATAMIENTOS POSTCOSECHA PARA REDUCIR  
DAÑOS POR FRIO EN ZAPOTE MAMEY (*Pouteria  
sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn) EN ALPOYECA,  
GUERRERO

PABLO TÉLLEZ PALOS

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO,

2008

La presente tesis, titulada: **“Tratamientos postcosecha para reducir daños por frío en zapote mamey (*Pouteria zapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn) en Alpayeca, Guerrero”** realizada por el alumno: **“Pablo Téllez Palos”**, bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**RECURSOS GENETICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**FRUTICULTURA**

**CONSEJO PARTICULAR**

**CONSEJERO**



---

DR. CRESCENCIANO SAUCEDO VELOZ

**ASESOR**



---

DR. MA. DE LOURDES C. AREVALO GALARZA

**ASESOR**



---

DR. SALVADOR VALLE GUADARRAMA

Montecillo, Texcoco, Edtado de México, 30 de Junio del 2008

# TRATAMIENTOS POSTCOSECHA PARA REDUCIR DAÑOS POR FRÍO EN ZAPOTE MAMEY (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn) EN ALPOYECA, GUERRERO

Pablo Téllez Palos M. C.  
Colegio de Posgraduados, Campus Montecillos, 2008.

## Resumen

Se evaluó el patrón de maduración y el efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP), metil jasmonato (MJ), ethrel y choques de CO<sub>2</sub> para reducir los daños frío (DF) en frutos zapote mamey procedente de huertas comerciales de Alpoyecá, Guerrero, México. Los frutos se almacenados por 7, 14 y 21 d a 10°C y madurados a 23°C. El patrón maduró 9 y 10 d después de la cosecha, incrementando SST (12,51% a 30,16%), pérdida de peso de 1,067% por día, disminución de la firmeza (38.76 N a 0.84 N), color de naranja moderado a naranja fuerte, mostrando un patrón climatérico con preclimaterio de CO<sub>2</sub> y etileno de 26,45 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y 15,84 μL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y máximos de 156,40 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y 222.69 μL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a los 6 d de transferirlos a 23°C. Las dosis de 600 y 900 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP retrasaron la maduración sin afectar calidad en 7 y 14 d de almacenamiento. Después de 21 d a baja temperatura 1-MCP hizo mas susceptibles a los DF, 600 nL L<sup>-1</sup> mostró el índice de daños por frío (IDF) más alto (93%), los DF retrasaron e incrementaron los máximos de CO<sub>2</sub> y etileno, la firmeza y pérdida se relacionaron directamente proporcional con el IDF especialmente en la dosis de 600 nL L<sup>-1</sup>. El MJ a 10<sup>-3</sup>M disminuyó los DF después de 21 d de almacenamiento, asociados con un rápido incremento en la producción de CO<sub>2</sub> y etileno, firmeza en la punta de la pulpa del fruto maduro, pero disminuyó la vida de anaquel. Ethrel exógeno de 1000 μL L<sup>-1</sup> por 10 minutos aminoró el desarrollo de DF después de 21 d de almacenamiento, asociado con un rápido incremento de los picos máximos de etileno y CO<sub>2</sub>, pero adelantando la madurez comestible. Los choques de CO<sub>2</sub> aminoraron los DF, relacionados con altibajos en la producción de CO<sub>2</sub> y etileno, retención de la firmeza en la madurez comestible especialmente el choque de 58% de CO<sub>2</sub>, sin embargo no afectó la vida de anaquel. Por lo tanto, 1-MCP puede ser una tecnología viable para prolongar la vida de anaquel de zapote mamey si se almacena a 10°C por un periodo menor o igual a 14 días, y MJ, ethrel y choques de CO<sub>2</sub> podrían ayudar al 1-MCP para prolongar este periodo a 21 días de almacenamiento a 10°C para aminorar lo DF y incrementar la vida de anaquel.

Palabras claves; zapote mamey, 1-MCP, CO<sub>2</sub>, daños por frío.

**POSTHARVEST TREATMENT FOR REDUCES CHILLING INJURY ON MAMEY ZAPOTE (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore and Stearn) IN ALPOYECA, GUERRERO**

Pablo Téllez Palos M. C.  
Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos, 2008.

**Summary**

In this work we evaluated ripening of mamey zapote fruit at ambient conditions (23°C) and effects of pre-storage application of 1-methylcyclopropene (1-MCP), methyl jasmonate (MJ), ethrel and CO<sub>2</sub> shocks in order to reduce chilling injury (CI) damage in fruits harvested in a commercial orchard of Alpoyecá Guerrero, Mexico. Fruits were then stored for 7, 14 and 21 days at 85-95 % relative humidity and ripening at 23°C. The fruits on ambient conditions ripening at 9 and 10 days after harvest increasing showed increase in total soluble solids (TSS: 12,51% to 30,16%), 1,067% d<sup>-1</sup> the weight loss, decrease firmness (38.76 N a 0.84 N), the color shower with The Royal Horticultural Society (RHS) and The Universal Color Language (UCL) were Moderate Orange in FM and Strong Orange in ripe fruit, showed a climacteric patron with a peak of CO<sub>2</sub> and ethylene the 26,45 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y 15,84 μL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> and climacteric peak 156,40 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> and 222.69 μL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> to 6 days after they were transferred to 23°C. It was found that 1-MCP 600 and 900 nL L<sup>-1</sup> increase the shelf life in fruits stored for 7 and 14d at 10°C maintenance the quality, fruit stored at 10°C for 21 days and then ripened at 23°C showed CI, 600 nL L<sup>-1</sup> shower the chilling injury indices (CII) higher with 93%. The CI delayed climacteric peak of CO<sub>2</sub> and ethylene, the firmness and weight loss increase with the CI, especially with 600 nL L<sup>-1</sup> the 1-MCP. The MJ at 10<sup>-3</sup>M reduced the CI after 21 days at 10°C were associated an increase fast the CO<sub>2</sub> and ethylene production and firmness in ripe fruit flesh, but decreased the shelf life. The treatment of 1000 μL L<sup>-1</sup> ethrel appeared to be most effective in reducing CI, when the fruits were stored for 21 days at 10°C, associated an increase fast the CO<sub>2</sub> and ethylene production, but delayed the shelf life. The CO<sub>2</sub> shocks ameliorated the CI, shower irregular the CO<sub>2</sub> and ethylene production, retarded firmness in ripe fruits special the shock 58% of CO<sub>2</sub> and it did not affect the shelf life of mamey zapote. The application of 1-MCP was an effective technology for ripening inhibition and quality maintenance the zapote mamey fruits in time period minor at 14 days at 10°C, y MJ, ethrel and CO<sub>2</sub> shocks have been the important tools to join the 1-MCP in prolong the storage at 10°C for 21 days.

Key words: zapote mamey, 1-MCP, CO<sub>2</sub> and chilling injury.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) ya que sin su apoyo no hubiera sido posible la realización de esta tesis.

Al Colegio de Postgraduados, por proporcionar los medios para mi superación académica, así, como a cada uno de los profesores y trabajadores que de alguna forma contribuyeron para mi formación.

A los profesores que tuvieron la gentileza de constituir mi Consejo Particular: Dr. Crescenciano Saucedo Veloz, Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza, Dr. Salvador Valle Guadarrama, M.C. David Jaén Contreras por la dirección, asesoría, sugerencias, dedicación, consejos y por la amistad que me han brindado, pero sobre todo por la infinita paciencia para conmigo y mis problemas.

A los profesores del Programa de Fruticultura quienes han contribuido en mi formación académica y científica.

A todos los individuos, llámese compañero (a), amigo (a) o familia quienes de alguna manera me han acompañado hasta hoy, aun en la distancia.

## **DEDICATORIA**

*Especialmente a mis padres; Pablo Téllez Lobatos y María Palos Téllez, quienes me llenado de vida y bendición.*

*A mis hermanos, sobrinos, familiares y amigos quienes siempre han estado conmigo y con quienes he compartido los momentos más dichosos de mi vida.*

*A mi esposa Lupita e Hija Aylín Suzet, quienes son el motivo de superación y esfuerzo constante.*

## CONTENIDO

	Pàg
Resumen .....	iii
Lista de cuadros .....	ix
Lista de figuras .....	x
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	1
<b>3. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	2
3.1 Generalidades del mamey (Pouteria zapota (Jacq.) H.E. Moore Stearn) .....	2
3.1.1 Producción en México .....	2
3.1.2 Canales de Comercialización .....	2
3.1.3 Variedades y Selecciones .....	3
3.1.4 Juvenilidad y Fruto .....	4
3.1.5 Cosecha e Índice de Cosecha .....	5
3.1.6 Fisiología Postcosecha del Mamey .....	7
3.1.6.1 Maduración .....	7
3.1.6.2 Respiración y producción de etileno .....	7
3.1.6.3 Daños por frío .....	7
3.1.6.4 Calidad fruto .....	8
3.2 Mecanismos de respuesta al frío .....	8
3.3 Daños por frío .....	9
3.3.1 Tratamientos que mitigan los DF .....	9
3.3.1.1 Ethrel reduce daños por frío .....	9
3.3.1.2 1-MCP reduce daños por frío .....	10
3.3.1.3 Choques de CO <sub>2</sub> .....	10
3.3.1.4 Reducción de los Daños por frío con MJ .....	11
3.4 Mecanismos antioxidantes .....	12
3.4.1 Especies reactivas del oxígeno .....	12
3.4.2 Acumulación de proteínas de choque térmico (HSPs) .....	16
3.4.3 Acido Jasmónico (JA) .....	17
3.4.3.1 Ruta de biosíntesis de MJ .....	18
3.4.3.2 Efectos del metiljasmonato (MJ) en frutos .....	19
3.4.3.3 Mecanismo del metiljasmonato en la tolerancia a daños por frío .....	20
3.4.4 Biosíntesis de etileno y poliaminas en respuesta al estrés .....	21
3.4.4.1 Importancia postcosecha de etileno .....	23
3.4.4.2 Ruta de Señalización de Etileno .....	23
3.4.4.3 Inhibidores de la síntesis de etileno .....	25
3.4.4.4 Inhibidores de acción de etileno .....	26
3.4.4.5 Inhibidores del receptor de etileno .....	26
3.4.5 Características del 1-metilciclopropeno (1-MCP) .....	26
3.4.5.1 Efectos del 1-MCP en frutos y hortalizas .....	27
3.4.5.2 Factores involucrados en la respuesta del 1-MCP .....	27
3.4.5.3 Principio y modo de acción del 1-MCP .....	28
3.4.6 Atmósferas controladas .....	29
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	31
4.1 Localización del Experimento .....	31
4.2 Material Vegetal .....	31
4.3 Tratamientos .....	31
4.4 Variables .....	33

4.4.1 Intensidad respiratoria y producción de etileno .....	33
4.4.2 Firmeza, Color y SST .....	33
4.4.3 Pérdida de peso.....	34
4.4.4 Daños por frío.....	34
4.5 Diseño Experimental y Análisis estadístico .....	34
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>35</b>
5.1 Patrón de maduración:.....	35
5.2 Efectos del 1-MCP en zapote mamey .....	37
5.3 Efectos de Metil Jasmonato en zapote mamey.....	47
5.4 Efectos de Etileno en zapote mamey.....	53
5.5 Efectos de Choques de CO <sub>2</sub> en zapote mamey .....	57
5.6 Relación del color con el daño por frío .....	63
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>64</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>66</b>



## Lista de cuadros

	Pag
<b>Cuadro 1.</b> Disponibilidad de mamey según principales lugares productores. ....	<b>3</b>
<b>Cuadro 2.</b> Promedios de firmeza, pérdida de peso, sólidos solubles totales y color de frutos de mamey madurados a 23°C. Madurez comestible (MC).....	<b>36</b>
<b>Cuadro 3.</b> Efecto de 1-MCP en los sólidos solubles totales en la entrada al almacenamiento (EA), salida del almacenamiento (SA) y en madurez comestible (MC). ....	<b>44</b>
<b>Cuadro 4.</b> Efecto en la luminosidad, croma y °Hue en frutos de zapote mamey tratados con 1-MCP, en la entrada al almacenamiento (EA), salida del almacenamiento (SA) y en madurez comestible (MC), tratados con 600 y 900 nL L <sup>-1</sup> de 1-MCP por 8 h previos a los periodos de almacenamiento. ....	<b>44</b>
<b>Cuadro 5.</b> Efecto de 1000 µL L <sup>-1</sup> de etileno en firmeza y sólidos solubles totales (SST) en la salida del almacenamiento (SA) y madurez comestible (MC) después de 7, 14 y 21d a 10°C y maduración a 23°C.....	<b>55</b>
<b>Cuadro 6.</b> Comportamiento de la luminosidad, Croma y ángulo Hue en frutos de zapote mamey tratados con 1000 µL L <sup>-1</sup> en la salida del almacenamiento (SA) y madurez comestible (MC) de después de 7, 14 y 21d a 10°C y madurados a 23°C.....	<b>56</b>
<b>Cuadro 7.</b> Comportamiento de la luminosidad, croma, ángulo hue y SST en frutos de zapote mamey tratado con choques de CO <sub>2</sub> y almacenados a 7 y 11d a 10°C y madurados a 23°C en la salida del almacenamiento (SA) y madurez comestible (MC). ....	<b>61</b>

## Lista de figuras

	Pàg
<b>Figura 1.</b> Canales de comercialización del Mamey. Fuente: Propia con información de los productores. ....	2
<b>Figura 2.</b> Anatomía del fruto de zapote mamey.....	5
<b>Figura 3.</b> Colote o cesta para la cosecha de zapote mamey. ....	5
<b>Figura 4.</b> Método del rasguño para determinar el índice de cosecha del mamey. A; el fruto es rasguñado con la uña en la huerta y B; corroborado en casa del productor con una navaja, C; color que presenta el fruto en la pulpa y salida de látex.....	7
<b>Figura 5.</b> Extra e intracelular producción de ROS (adaptado de Ulrich, 2002; Hodges, 2003).....	13
<b>Figura 6.</b> A) Ruta de Halliwell-Asada y ciclo ascorbato-glutation: APX, ascorbato-peroxidasa; MDHAR, onodehidroascorbato reductasa; DHAR, dehidroascorbato reductasa; GR, glutatión reductasa, (adaptado de May <i>et al.</i> , 1998). B) Degradación del ácido L-ascórbico en los tejidos de las plantas.....	15
<b>Figura 7.</b> Activación de HSPs por estrés, (adaptado Sitia y Molteni, 2004).....	16
<b>Figura 8.</b> Ruta de biosíntesis de ácido jasmónico y metil jasmonato (Adaptado de Yuehui, <i>et al.</i> , 2002; Li <i>et al.</i> , 2005). ....	18
<b>Figura 9.</b> Ruta de biosíntesis de etileno y poliaminas. 1,10-fenantrolina (PA), Acido $\alpha$ -aminoisobutírico (IBA), atmósferas controladas (AC), diazociclopentadieno (DACP), Tiosulfato de plata: Ag <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (STS), 1-metilciclopropeno (1-MCP), Nitrato de plata: AgNO <sub>3</sub> (SN), 2,5-norbornadieno (2,5-NBD), 3,3 dimetilciclopropeno (3,3-DMCP), (adaptado de Génard y Gouble, 2005; Jin, 2006)....	22
<b>Figura 10.</b> Molécula del etileno sintético usado para maduración de frutas.....	23
<b>Figura 11.</b> Receptores de etileno descubiertos en <i>Arabidopsis</i> y tomate.....	24
<b>Figura 12.</b> Modelo de señalización del etileno en <i>Arabidopsis</i> . ....	24
<b>Figura 13.</b> Modo de acción del 1-MCP.....	28
<b>Figura 14.</b> Respiración anaeróbica en frutos, Fuente: Wills, 1998. Con condiciones de anaerobiosis o el exceso de CO <sub>2</sub> se inicia la fermentación alcohólica en vez del Ciclo de Krebs. Esta fermentación metaboliza a ácido pirúvico, convirtiéndolo primeramente a acetaldehído con una Piruvatocarboxilasa más CO <sub>2</sub> . Eventualmente el acetaldehído se puede convertir a etanol, reacción que puede ser reversible, con la enzima alcohol deshidrogenasa. ....	29
<b>Figura 15.</b> Localización de Alpoyecá guerrero. ....	31

<b>Figura 16.</b> Diseño de los contenedores herméticos en la aplicación de 600 y 900 nL L <sup>-1</sup> de 1-MCP después de 24 horas de cosecha el zapote mamey. ....	<b>32</b>
<b>Figura 17.</b> Aplicación de los choques de CO <sub>2</sub> a las campanas diseñadas previamente y con volumen conocido.....	<b>32</b>
<b>Figura 18.</b> Procedimiento utilizado para la determinación la producción de CO <sub>2</sub> y etileno.....	<b>33</b>
<b>Figura 19.</b> Maduración de frutos de zapote mamey a 23°C. ....	<b>35</b>
<b>Figura 20.</b> Producción de CO <sub>2</sub> y etileno en frutos de zapote mamey destinados para el patrón de maduración, madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar. ....	<b>35</b>
<b>Figura 21.</b> Producción de CO <sub>2</sub> en frutos de zapote mamey tratados con 1-MCP por 8h previos al almacenamiento por 7d a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar. ....	<b>38</b>
<b>Figura 22.</b> Producción de CO <sub>2</sub> en frutos de zapote mamey tratados con 1-MCP por 8h previos al almacenamiento por 14d a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar. ....	<b>39</b>
<b>Figura 23.</b> Producción de CO <sub>2</sub> en frutos de zapote mamey tratados con 1-MCP por 8h previos al almacenamiento por 21d a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar. ....	<b>39</b>
<b>Figura 24.</b> Producción de etileno en frutos de zapote mamey tratados con 1-MCP por 8 h previos al almacenamiento de 7d a 10°C y maduración a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.....	<b>40</b>
<b>Figura 25.</b> Producción de etileno en frutos de zapote mamey tratados con 1-MCP por 8 h previos al almacenamiento de 14d a 10°C y maduración a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.....	<b>41</b>
<b>Figura 26.</b> Producción de etileno en frutos de zapote mamey tratados con 1-MCP por 8 h previos al almacenamiento de 21d a 10°C y maduración a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.....	<b>41</b>
<b>Figura 27.</b> Firmeza (Newtons) en la entrada al almacenamiento (EA) y salida del almacenamiento (SA) en frutos previamente tratados con 1-MCP por 8 h previos almacenamiento por 7, 14 y 21d a 10°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar. ....	<b>42</b>
<b>Figura 28.</b> Firmeza (Newtons) en la maduración de los frutos tratados 1-MCP por 8 h previos al almacenamiento por 7, 14 y 21d a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.....	<b>43</b>

<b>Figura 29.</b> Pérdida de peso (%) hasta la salida del almacenamiento (SA) y madurez comestible (MC) en frutos de zapote mamey tratados con 1-MCP por 8h previos al almacenamiento más maduración a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar. Las flechas indican la transferencia a temperatura ambiente.....	<b>45</b>
<b>Figura 30.</b> Porcentaje de Índice de daños por frío presentados en frutos de mamey tratados con 1-MCP antes del almacenamiento a 10°C por 21d. ....	<b>46</b>
<b>Figura 31.</b> Síntomas de daños pro frío durante 21 días a 10°C en los tratamientos 600 y 900 nL L <sup>-1</sup> de 1-MCP.....	<b>46</b>
<b>Figura 32.</b> Producción de CO <sub>2</sub> en frutos de zapote mamey tratados con 10 <sup>-3</sup> M de MJ previos al almacenamiento por 7, 14 y 21 días a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.....	<b>48</b>
<b>Figura 33.</b> Producción de etileno de frutos de mamey tratados con 10 <sup>-3</sup> M MJ por 8 h previos al almacenamiento por 7, 14 y 21d a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.....	<b>48</b>
<b>Figura 34.</b> Firmeza (Newtons) de la base, parte media y punta de la pulpa de frutos de mamey tratados con MJ en la entrada de almacén (EA) y salida del almacenamiento (SA) después de 7, 14 y 21 días de almacenamiento a 10°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar. ....	<b>49</b>
<b>Figura 35.</b> Firmeza (Newtons) de la base, parte media y distal de la pulpa de los frutos de mamey tratados con MJ en la maduración comercial después de 7, 14 y 21d de almacenamiento a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.....	<b>50</b>
<b>Figura 36.</b> Sólidos solubles totales en los frutos de mamey tratados con MJ en la entrada del almacenamiento (EA), salida del almacenamiento (SA) y durante la maduración comestible (MC). Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar. ....	<b>51</b>
<b>Figura 37.</b> Efecto del MJ en Luminosidad, Cromo y Hue en la entrada del almacenamiento (EA), salida del almacenamiento (SA) y madures comestible (MC) de frutos de zapote mamey almacenados por 7, 14 y 21d a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.....	<b>51</b>
<b>Figura 38.</b> Pérdida de peso (%) en frutos de zapote mamey tratados con 10 <sup>-3</sup> M de MJ. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar. Las flechas indican la transferencia a temperatura de maduración. ....	<b>52</b>
<b>Figura 39.</b> Producción de CO <sub>2</sub> en frutos de zapote mamey tratados con 10 <sup>-3</sup> M por 8h de MJ previos al almacenamiento por 7, 14 y 21 días a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.....	<b>53</b>

- Figura 40.** Producción de CO<sub>2</sub> en frutos de zapote mamey tratados con 10<sup>-3</sup> M por 8h de MJ previos al almacenamiento por 7, 14 y 21 días a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar..... **54**
- Figura 41.** Pérdida de peso en frutos de zapote mamey tratados con 1000 ppm de etileno, a la salida del almacenamiento (SA) y hasta madurez comestible (MC) después de 7, 14 y 21d de almacenamiento a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar. Las flechas representan la transferencia a temperatura de maduración..... **56**
- Figura 42.** Producción de CO<sub>2</sub> en frutos de zapote mamey tratados con choques de CO<sub>2</sub> previos al almacenamiento por 7 y 11d a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar..... **58**
- Figura 43.** Producción de etileno en frutos de zapote mamey tratados con choques de CO<sub>2</sub> previos al almacenamiento por 7 y 11d a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar..... **59**
- Figura 44.** Comportamiento de la firmeza en frutos de zapote mamey tratados con choques de CO<sub>2</sub> en la salida del almacenamiento. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar. .... **60**
- Figura 45.** Comportamiento de la firmeza en frutos de zapote mamey tratado con choques de CO<sub>2</sub> y almacenados a 7 y 11d a 10°C y madurados a 23°C, en la maduración comestible. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar. .... **61**
- Figura 46.** Pérdida de peso en zapote mamey con choques de CO<sub>2</sub> durante el almacenamiento a 10°C por 7 y 11d, y madurados a 23°C, en la salida del almacenamiento (SA), madurez comestible (MC) y la pérdida total. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar. Las flechas indican la transferencia a temperatura de maduración..... **62**
- Figura 47.** Claves de color RHS y CIELAB mostradas en mamey almacenado a 0, 4, 8 y 12 °C y 6 días a 23°C para encontrar su comportamiento durante el daño por frío..... **63**

## 1. INTRODUCCIÓN

La comercialización de frutos de mamey en México se realiza sin refrigeración, situación que limita su vida de anaquel a pocos días (Saucedo *et al.*, 2001; Martínez *et al.*, 2006), aunado a que existen problemas en el manejo pre cosecha tales como índice de cosecha, fisiología de la maduración y de las condiciones óptimas de conservación y transporte. Se ha reportado que la temperatura optima para incrementar su vida útil se ubica entre 10 a 15° C, manteniendo la calidad a un nivel aceptable (Díaz *et al.*, 2000; Alia *et al.*, 2005; Martínez *et al.*, 2006). El almacenamiento a menor temperatura y/o mayor tiempo se traduce en la incidencia de daños por frío (Díaz *et al.*, 2000). Además, por su alta tasa de producción de CO<sub>2</sub> y etileno, el mamey es muy perecedero y no tolera el almacenamiento prolongado (Saltveit, 2003).

Los daños por frío pueden reducirse con el uso de diferentes técnicas de previos o durante el almacenamiento en frío de frutos (Wang, 1993). Recientes investigaciones han mostrado que el ácido jasmónico en su forma metilada (MJ) en forma de vapor u solución puede disminuir los síntomas de DF en frutos (González *et al.*, 2004). Otra tecnología reciente es el 1-MCP que retrasa la maduración, alarga la vida de anaquel y mantiene la calidad en varios productos hortofrutícolas (Silva *et al.*, 2004; Osuna *et al.*, 2007). Investigaciones actuales han revelada que el etileno exógeno disminuye y da tolerancia a los DF (Palou *et al.*, 2003; Valdenegro *et al.*, 2005). Otra tecnología son los choques de CO<sub>2</sub> con concentraciones arriba de 15% han mostrado disminuir los DF en frutos (Yahia, 2006).

## 2. OBJETIVOS

1. Establecer los parámetros, biofísicos, bioquímicos y fisiológicos que definan la calidad de los frutos en la madurez de consumo.
2. Evaluar los efectos de los Choques de CO<sub>2</sub>, aplicación de MJ, 1-MCP y ethrel sobre la disminución de daños por frío en frutos de zapote mamey.

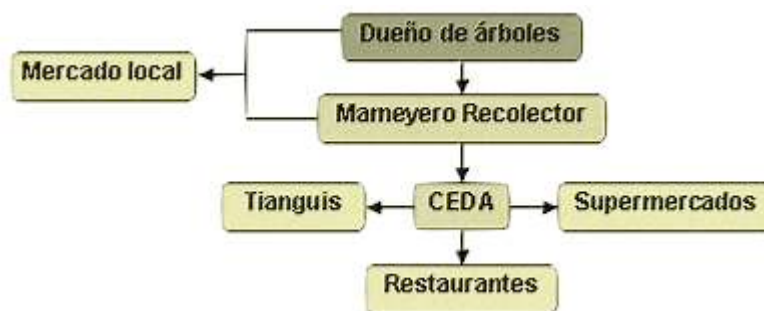
### 3. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Generalidades del mamey (*Pouteria zapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn)

El nombre de “mamey” se originó a partir de una confusión con el árbol de *Mammea americana* (Almeyda y Martín, 1976) de la familia *Guttiferae*, en tanto que el zapote mamey pertenece a la familia de las *Sapotáceas* (Pennington y Sarukhán 1998). El mamey es originario del sur de México y América Central, en donde se le encuentra frecuentemente prosperando en forma silvestre y se distribuye actualmente en Belice, Guatemala, El Salvador, Honduras, Costa Rica, Puerto Rico, República Dominicana, Nicaragua, Brasil, Colombia Ecuador, Florida, E.U., Cuba, Colombia, Jamaica, Venezuela, Panamá, Ecuador, Filipinas, Australia, Israel, Vietnam, Birmania, Tailandia, Malacia, Nueva Guinea, Indonesia y España (Manzano, 2001; Moosler y Nesheim, 2002).

#### 3.1.1 Producción en México

México es el principal productor de mamey en el mundo con una superficie sembrada de 1,338 ha y una producción de 14,024 toneladas anuales, generando un valor de 70 millones de pesos. Los principales estados productores son Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Tabasco, Puebla, Veracruz, Colima, San Luis Potosí, Michoacán, Morelos y Yucatán. El 71% lo aporta Yucatán y 34% los estados, Chiapas, Guerrero y Tabasco (Nava y Ricker, 2004; SIAP-SAGARPA, 2006; Bacab, 2006; Herrera, 2008). Con las has sembradas se tiene la capacidad de producir 66,900 ton si el rendimiento es de 50 ton ha<sup>-1</sup>, si en cada hectárea ha 200 árboles y que producen 300 kg por cada uno de ellos al año (Bacab, 2006).



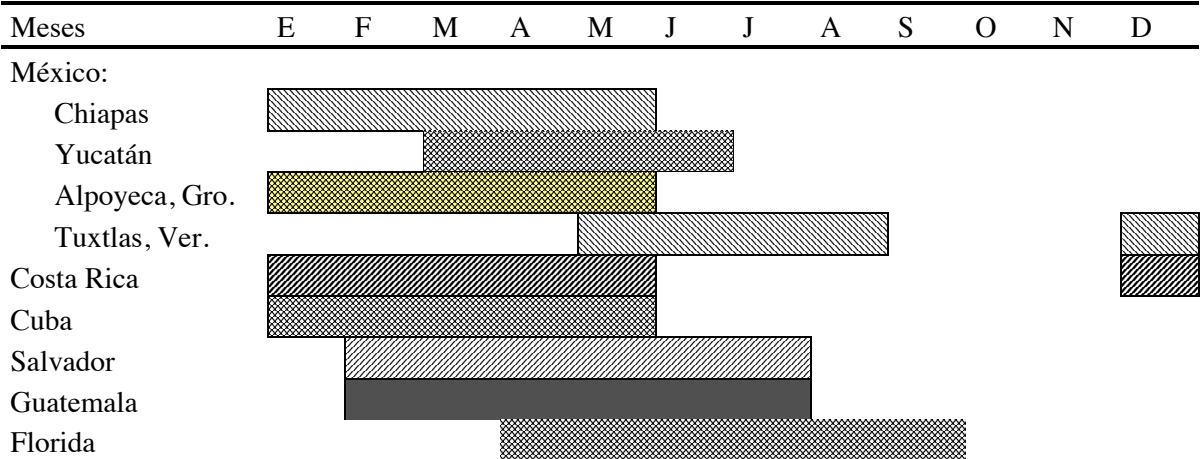
**Figura 1.** Canales de comercialización del Mamey. Fuente: Propia con información de los productores.

#### 3.1.2 Canales de Comercialización

La comercialización empieza con los dueño de los arboles, personas que pueden vender el fruto ya sea en el mercado local o al consumidor final, o bien al mameyero recolector de

quien es propio en transporte para llevarlo a las centrales de abasto (CEDA) de la ciudad de México y Puebla (Figura 1). En la zona Metropolitana los frutos se venden como producto de lujo, aunque durante el 2005 y 2006 los precios han bajado en compras por mayoreo en las centrales de abastos de la Ciudad de México hasta \$ 5.0 /kg, mientras que en los supermercados y tianguis los precios alcanzan hasta \$ 35.0 /kg.

**Cuadro 1.** Disponibilidad de mamey según principales lugares productores.



Fuente: adaptado de Pennington y Sarukhan, (1998) y GCMPZ, (2002).

En México la disponibilidad de frutos se encuentra entre los meses de noviembre a agosto (Cuadro 1). La cosecha de mamey en la Cañada de Huamuxtitlán y Alpoeyca se distribuye principalmente en los meses de enero a mayo, en la región de los Tuxtlas de mayo-agosto y en Xalapa, Veracruz., de diciembre a marzo (Torrice, 1991). Martínez, (1998), menciona que en Xalapa el pico de la cosecha de mamey es de abril a mayo. Esto indica que la disponibilidad depende de la región y de la gran variedad que existe entre las selecciones en cada área de producción.

**3.1.3 Variedades y Selecciones**

Existe una gran variación en cuanto al tamaño y forma del fruto y calidad y color de la pulpa. En Florida E. U. se distinguen diferentes variedades introducidas; 'Tazumal' (de 400-850 g.), 'Pace', 'Magaña' (de peso 740-2,400 g.) y 'Pantin'. En el Salvador se encuentra también la 'Magana' 'Tazumal' y 'Rivera' (330-434g de peso) (Pineda, 2002). En Cuba se encuentran la 'AREC No. 3' de peso 400-740 g., 'Cuban No. 1' una variedad larga (22.8 cm) de peso 1kg., 'Copan' ('AREC No. 1') de peso 425-900 g., 'Mayapan' ('AREC No. 2') (con peso de 510-



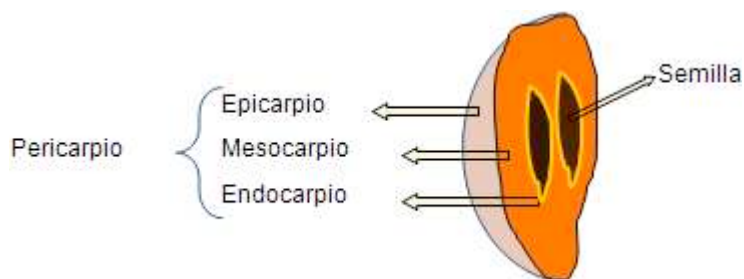
1,135 g), 'Chenox' y 'Francisco Fernández'. En otros países se encuentran 'Progreso' (Belice), 'Cayo Hueso' (República dominicana), 'Flores' (Guatemala), y otras como 'Rivera', 'Cáceres', 'Valiente' (peso promedio 529 g, pulpa muy dulce, fibrosa, coloración anaranjada y roja) y 'Velado' (Alix, 1999).

En México no existen variedades, solo selecciones (Ricker, 2001). En Alpayeca Gro., se encuentran las selecciones 'Cid', 'Darío', 'Díaz', 'Genaro', 'Juanito', 'Pardo I', 'Pardo II', 'Pardo III', 'Regalo', 'Risueño' y 'Rojo', 'Caramelo 5' y 'Caramelo 6'.

### **3.1.4 Juvenilidad y Fruto**

Los árboles tienen un periodo de juvenilidad de 7 a 10 años (Narciso y Franklin, 1976; Campbell *et al.*, 1998). Pueden vivir 100 a 200 años o más comenzando a producir fruto en cantidades apreciables a los 8-13 años de edad (Campbell y Lara, 1982). Si la propagación es por injerto los árboles comienzan a producir a los 4 años de plantados, esperando su máxima producción a partir del séptimo año, la desventaja que presenta esta forma de propagación es que la vida de los árboles es 50 años, que sin embargo también dependerá también del manejo (Ricker, 2001).

Es un fruto carnoso indehisciente, polispermo (pentalocular con dos semillas en cada uno) como una baya típica (Pennington y Sarukhán, 1998), pero en su madurez una baya monosperma de diferentes formas ovoidea, fusiforme, alargado y asimétrico, o casi esférica de 10 a 25 cm de largo por 8 a 12 cm de ancho. Los frutos tienen un patrón de crecimiento sigmoideal, con tres etapas: la primera es la de división celular general del ovario y rudimento seminal, seguida por la de crecimiento rápido o de expansión celular y finalmente, la tercera de maduración del fruto con crecimiento lento (García *et al.*, 2007). Según Morton (1987), en Florida tienen un peso de 0.2 kg hasta 2.3 kg, muy por encima del promedio observado en árboles naturales de Los Tuxtlas, Veracruz, México, pero semejantes a algunas selecciones de los encontrados en Alpayeca, Guerrero, México. La cáscara es dura, rugosa y quebradiza, de color pardo rojizo. El mesocarpio es dulce, carnoso, de color naranja a rojo, con pequeñas cantidades de látex cuando esta inmadura (García *et al.*, 2007). Pennington y Sarukhán, (1998), reporta que el peso del fruto de mamey se distribuye en 18% en cascara, 62% en mesocarpio y 20% en semilla (Figura 2).



**Figura 2.** Anatomía del fruto de zapote mamey.

### 3.1.5 Cosecha e Índice de Cosecha

El árbol de zapote mamey es muy prolífero, pueden obtener de 200 a 500 frutos por año (Narciso y Franklin, 1976). El estado de desarrollo apropiado para la cosecha es denominado “madurez fisiológica”, etapa donde los frutos ya han alcanzado el tamaño máximo, para que al retirarlos del árbol maduren satisfactoriamente, lo que requiere de cierta experiencia de los cosechadores. El corte del fruto es con la mano, canastillas de madera, navaja o con una herramienta llamado ‘colote’ o cesta (Figura 3), posteriormente son depositados en el suelo y empacados en costales, cajas o a granel para ser transportados a los puntos de venta.



**Figura 3.** Colote o cesta para la cosecha de zapote mamey.

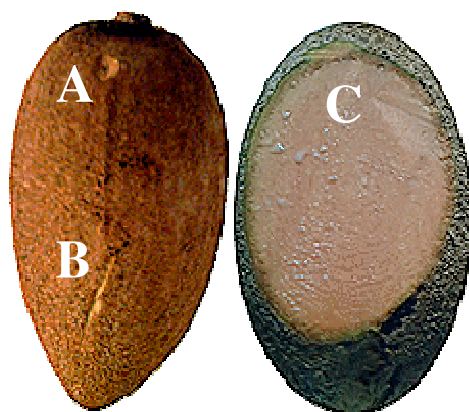
Durante el periodo de cosecha y comercialización sufre daños por impacto, compresión y abrasión entre otros que afecten su calidad final y causa un incremento en la respiración y producción de etileno en los frutos (Hernández *et al.*, 2007), aunque, los productores mencionan que el golpeteo es parte de la maduración del fruto. En Alpoyecá, Guerrero, existe una técnica de cosecha para disminuir pérdidas causadas por golpes mecánicos, que consiste en dos personas, una que trepe a los árboles, realice el índice de cosecha y lance los frutos hacia una segunda persona que amortigua el golpe con un costal de ixtle antes de llegar al

suelo, no obstante este método también causa daños por impacto, haciendo que maduren más rápido y de forma desigual, afectando la calidad y vida de anaquel. Se recomienda utilizar un cosechador hecho de una vara de 2 a 2.5 m de largo y un depósito de tela amarrado en la parte superior, lo que evitará que el fruto se dañe al caer al suelo (Pineda, 2002).

El daño inducido por estrés mecánico es una de las causas mayores de pérdidas postcosecha en el mundo (FAO, 1989). Los daños mecánicos son causados por impacto, compresión y vibración (Vergano *et al.*, 1991). García *et al.* (1988) identificó al impacto como la más importante causa de daño y pérdidas en frutas durante la cosecha, manejo, operaciones de transporte y comercialización. MacLeod *et al.* (1976) reportaron en tomate que la producción de etileno incrementa después de ser golpeados por impacto. En calabaza de invierno el daño por impacto incrementó los niveles de ACC sintasa y ACC oxidasa (Hyodo *et al.*, 1993).

La cosecha del fruto con un grado de madurez adecuado para su comercialización varía según el genotipo, sin embargo, podemos señalar que esto ocurre alrededor de los 470 días después de la anthesis (García *et al.*, 2007). Narciso y Franklin, (1976), menciona que los frutos tardan en madurarse 390 a 720 días, pudiéndose encontrar durante la cosecha frutos maduros e inmaduros, flores, hojas y brotes. Sandoval *et al.*, (2006), determinó que en Alpoyeca, Guerrero el desarrollo desde flor a fruto fisiológicamente maduro, dura entre 540 a 600 días.

El índice de cosecha más usado para cortar mamey es hacer un pequeño rasguño en la cáscara del fruto y estará en madurez fisiológica si la capa de pulpa expuesta tiene un color de rosado-naranja, método que utilizan los productores de la Cañada de Huamuxtitlán y específicamente en Alpoyeca, Guerrero, México (Figura 4). Bermúdez *et al.*, (2002), mostraron que mamey de Coatlán del Río, Morelos, el color de la epidermis es un índice importante para determinar el grado de madurez del fruto del mamey, el cual está correlacionado positivamente con los azúcares reductores y negativamente con la acidez titulable, mientras que firmeza, peso, longitud y diámetro, humedad, azúcares totales, carotenoides y producción de CO<sub>2</sub> no presentan correlación alguna, resultados que corroboran que el rasguño de la cáscara del mamey es un método adecuado para determinar el momento de cosecha del mamey, y sugieren utilizar una tabla de colores que facilite a los productores a decidir cuando un fruto debe ser cosechado óptimamente, no obstante esto depende del cultivar o selección.



**Figura 4.** Método del rasguño para determinar el índice de cosecha del mamey. A; el fruto es rasguñado con la uña en la huerta y B; corroborado en casa del productor con una navaja, C; color que presenta el fruto en la pulpa y salida de látex.

### **3.1.6 Fisiología Postcosecha del Mamey**

#### **3.1.6.1 Maduración**

El mamey es un fruto climatérico (Arce *et al.*, 2000; Alia *et al.*, 2000) que madura entre 3 a 10d después de cosecha si se almacena a temperatura de ambiente (Saucedo *et al.*, 2001; Martínez *et al.*, 2006; Elsy *et al.*, 2007), lo que lo hace un fruto altamente perecedero (Díaz *et al.*, 2000; Alia *et al.*, 2002).

#### **3.1.6.2 Respiración y producción de etileno**

El mamey presenta un preclimatérico de CO<sub>2</sub> de aproximado 20 a 50 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> en la madurez fisiológica (Díaz *et al.*, 2000) y un máximo de entre 90 a 365 mL kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> (Saucedo *et al.*, 2001; Alia *et al.*, 2005; Martínez *et al.*, 2006) y máximos de etileno entre 116 a 503 µl kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (Saucedo *et al.*, 2001; Alia *et al.*, 2005; Ergun *et al.*, 2005; Martínez *et al.*, 2006).

#### **3.1.6.3 Daños por frío**

El fruto de mamey por ser de origen tropical es muy sensible a los daños por frío (Campbell, 1994). Se han utilizado bajas temperaturas para incrementar su vida de anaquel (Díaz *et al.*, 2000; Alia *et al.*, 2002; Ergun *et al.*, 2005; Martínez *et al.*, 2006). Se ha reportado que la temperatura óptima está entre 10 a 15° C, manteniendo la calidad a un nivel aceptable (Alia *et al.*, 2005; Martínez *et al.*, 2006; Elsy *et al.*, 2007). El almacenamiento a menor temperatura y/o mayor tiempo se traduce en la incidencia de daños por frío (Díaz *et al.*, 2000; Alia *et al.*, 2005), que se manifiestan como: áreas oscuras, acuosas y endurecidas cerca de la semilla, irregularidades en la maduración, pulpa adherida a la semilla, lignificación de haces

vasculares, picos altos de producción de CO<sub>2</sub> y etileno y firmeza hasta de 100 N (Alia *et al.*, 2005). Síntomas que se manifiestan hasta después de transferir a condiciones de maduración (Alia *et al.*, 2005; Martínez *et al.*, 2006).

#### **3.1.6.4 Calidad fruto**

En mamey actualmente faltan normas que definan su calidad (Martínez *et al.*, 1999). Los mejores materiales por la calidad de la fruta se caracterizan por tener frutos con una sola semilla, sin deformaciones, color naranja a rojo, cáscara dura con fácil desprendimiento de la pulpa, sin fibras y aroma intenso (Galván y Núñez, 1994). Pero los consumidores asocian la calidad en el color de la pulpa, forma, tamaño y precio del fruto. Díaz *et al.*, (2003) asociaron la maduración del mamey con el ablandamiento de la pulpa y un incremento en SST (30%), cambio de color en pulpa de naranja y rojo (ángulo °Hue = 52; croma = 45; L = 60). Arce *et al.*, (2000), reportaron 10-12 %, y 20-22 % de azúcares totales y Ergun *et al.*, (2005), 23.4%. La firmeza disminuye al madurar, valores arriba de 50 N se han reportado en madurez fisiológica (Díaz *et al.*, 2000), y de 3-12 N en madurez comercial (Arce *et al.*, 2000).

Los análisis químicos muestran que por 100 g de pulpa de zapote mamey se obtienen 86% de agua, 1,7 g de proteínas, 0,4 g de grasa, 31,1 g de carbohidratos, 2,0 g de fibras, 1,2 g de cenizas, 40 mg de calcio, 226 mg de potasio, 28 mg de fósforo, 1 mg de hierro, 115 mg de vitamina A, 0,01 mg de tiamina, 0,02 mg de riboflavina, caroteno; 0.045-0665 mg, 2 mg de niacina, triptofano 19 mg, metionina 12 mg, lisina 90 mg y 22 mg de ácido ascórbico (Woot y Flores, 1961). La pulpa de la fruta es de sabor agradable, con valor nutritivo mediano pero rica en vitaminas A, C y B<sub>2</sub> (Alix, 1999).

### **3.2 Mecanismos de respuesta al frío**

Las plantas son capaces de activar una amplia gama de mecanismos de defensa en respuesta a estrés biótico y abiótico. Las respuestas inmediatas de los tejidos vivos son la acumulación de ciertas hormonas, apertura de canales iónicos, síntesis de óxido nítrico, fosforilación y desfosforilación de proteínas, activación las respuestas hypersensitivas (HR) y inducción de genes (Ronald, 1998). La activación de los genes altera las rutas metabólicas, síntesis de proteínas, fortificación de las paredes celulares, acumulación de ácido benzóico y ácido sialicólico (SA), ácido abscísico (ABA), etileno y ácido jasmónico (JA), este último responsable de la síntesis de MJ y (Z) jasmonato, también los genes activan las enzimas  $\beta$ -glucanasas, quitinasas, peroxidasas, lipooxigenasas y síntesis de otras proteínas (Bol *et al.*, 1990).

El péptido sistemina, JA, ABA, etileno y SA, están implicados en la complicada red de señales que conllevan a la activación de los inhibidores de proteinasas y otros genes de respuesta al estrés (O'Donnell *et al.*, 1996). Condiciones bajo estrés activan las rutas de señalización de ácido jasmónico (JA), etileno, SA, auxinas y ABA estas rutas se combinan de distintas formas para que las respuestas finales sean distintas y específicas para cada estrés y estímulo. Todos los tipos de estrés, además, inducen un flujo de  $Ca^{2+}$  en el citoplasma (Rojo *et al.*, 2003).

### **3.3 Daños por frío**

El DF se define como un desorden fisiológico, que puede presentarse en las plantas o en sus productos, en cualquier etapa o proceso central de su desarrollo, debido a la exposición prolongada a temperaturas inferiores a un mínimo crítico, pero superiores a su punto de congelación (Bramlage y Meir, 1990). Este desorden es habitual en especies de origen tropical y subtropical, pero también puede presentarse en frutos de climas templados (Saltveit y Morris, 1990). La temperatura crítica a la que aparecen los DF, varía de una especie a otra, y puede ser de -0.5 a 4°C para los pocos sensibles, de 4 a 7°C para algunas especies de clima templado, y de unos 8-15 e incluso 20°C para las tropicales y subtropicales más sensibles (Artés, 2001).

El daño por estrés a baja temperatura muestra síntomas visibles en varios tejidos y altera las funciones fisiológicas, de este modo causa un desbalance metabólico los cuales son usados con frecuencias para cuantificar y caracterizar el desarrollo de los DF (Walker *et al.*, 1990). En cada fruto se manifiestan síntomas característicos y están en función de los factores genéticos, especie de planta, manejo nutrimental de los árboles, etapa de madurez, época de cosecha, humedad relativa, composición de la atmósfera, tiempo y temperatura de almacenamiento y otras condiciones ambientales, tipo de fruta, variedad, cultivar, estado metabólico, nivel hormonal, lugar de origen, características morfológicas y fisiológicas al momento de exposición, y tratamientos postcosecha (Wang, 1990).

#### **3.3.1 Tratamientos que mitigan los DF**

##### **3.3.1.1 Ethrel reduce daños por frío**

La aplicación de etileno exógeno en forma de ethrel (ácido 2-chloroethyl fosfónico) se ha aplicado para adelantar la maduración y desverdizado de cítricos (Singh y Janes, 2001). Sin embargo también se ha aplicado para los síntomas de DF en cítricos (Lafuente *et al.*, 2004),

dosis de  $1000 \mu\text{L L}^{-1}$  de etileno por 24 horas a  $20^{\circ}\text{C}$  y almacenado a  $2.5^{\circ}\text{C}$  en melón “Honeydew” redujeron los daños en un 75% (Lipton y Aharoni, 1979). Nair y Singh, (2003) mostraron que  $500 \text{ mg L}^{-1}$  de ethrel por 5 minutos previos al almacenamiento por 4 semanas en mango ‘Kensington Pride’ redujo los daños por frío significativamente y mejoro la calidad de los frutos.

Lurie y Weksler, (2004) postularon que los desórdenes pueden ser aliviados almacenando la fruta en presencia de etileno exógeno y aumentados con inhibidores de etileno, tales como el 1-metilciclopropeno (1-MCP), confirmando los resultados obtenidos por Zoffoli *et al.*, (2002). El rol de etileno en el desarrollo de los DF es complejo e incierto (Watkins, 2002), ya que puede potencializar o aliviar los síntomas en diferentes especies de frutas.

### **3.3.1.2 1-MCP reduce daños por frío**

El 1-MCP disminuye lo DF en mandarina híbridas, ‘Nova’ y ‘Ortanique’ en dosis de  $0.5\mu\text{L/L}$  por 24 horas previas al almacenamiento a  $1^{\circ}\text{C}$ , mostrando un incremento producción de etileno, redujo la respiración y no afecto la calidad (Salvador *et al.*, 2006b). También a mostrados reducir los DF en aguacate ‘Hass’, ‘Pinkerton’ dosis de  $50\text{-}150 \text{ nL L}^{-1}$  y  $300 \text{ nL L}^{-1}$  en Ettinger y Fuerte (Pesis *et al.*, 2003; Woolf *et al.*, 2005).

El 1-MCP no muestra efecto en los DF en ciruela ‘Blackamber’ en dosis de  $150, 300$  y  $600 \text{ nL L}^{-1}$  por 6 días a  $25^{\circ}\text{C}$  en almacenada a  $0^{\circ}\text{C}$  por 15, 30 y 50 días (Candan *et al.*, 2006), dosis de  $100, 250$  y  $500 \text{ nL L}^{-1}$  1-MCP por 24 horas a  $15^{\circ}\text{C}$  en aguacate ‘Hass’ almacenado por 4 y 7 semanas a  $5.5^{\circ}\text{C}$  (Woolf *et al.*, 2005).

El 1-MCP incrementa sensibilidad a los DF en persimonia 'Rojo Brillante' (Salvador *et al.*, 2006a), nectarinas y en general en cítricos (Porat *et al.*, 1999), nectarinas ‘Flavortop’ y ciruela (Fan *et al.*, 2002), chabacano ‘Canino’ (Dong *et al.*, 2002). Por tanto el 1-MCP puede potencializar o reducir los DF, dependen del tipo de producto. Probablemente el mecanismo de regulación de los DF es a través de evitar la acción de etileno o por evitar la alteración que sufre la célula con la inducción de genes esperada por la presencia de etileno.

### **3.3.1.3 Choques de $\text{CO}_2$**

La aplicación de altas concentraciones mayores a 15% de  $\text{CO}_2$  en los productos hortofrutícolas durante un corto período de tiempo, antes o durante la conservación

frigorífica, se denomina choques de CO<sub>2</sub> y muy reducidas de O<sub>2</sub> se llama hipoxia. Los choques de CO<sub>2</sub> disminuyen los DF en aguacate acompañado de una disminución en la producción de etileno (Yahia, 2006), así mismo concentraciones de 10% CO<sub>2</sub> + 10% O<sub>2</sub> por 6 semanas aminoraron los daños por frío en nectarinas ‘Fantasia’, ‘Flavortop’, y ‘Flamekist’ (Lurie, 1992), dosis de 6% O<sub>2</sub> + 17% CO<sub>2</sub> en duraznos y nectarinas (Retamales *et al.*, 1992; Streif *et al.*, 1992). Tratamiento de 25kPa de CO<sub>2</sub> y 5kPa de O<sub>2</sub> en mango ‘Haden’ y ‘Tomy Atkins’ disminuyó los DF pero inhibió la producción de etileno (Bender *et al.*, 2000).

En uva de mesa ‘Thompson’ almacenada a 20°C, 0.5% O<sub>2</sub> y 55-100% CO<sub>2</sub>, además de presentar altos niveles de etanol y acetaldehído, redujo los sólidos solubles, efectos que fueron no mostrados y que además presentó buena calidad cuando estos tratamientos fueron en uva almacenada a 5°C (Ahumada *et al.*, 1996). Sin embargo, es importante mantener el balance CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> para no dañar a los tejidos celulares. Altos niveles de CO<sub>2</sub> (80 kPa), pueden ser tóxicos y provocar el rompimiento de paredes celulares en manzana y pera (Soliva-Fortuny *et al.*, 2002). Algunos autores han reportado las concentraciones superatmosféricas son más efectivas cuando se usan niveles de 15-20 kPa (Farber *et al.*, 2003). Ahumada *et al.*, (1996), mostró que 0.25% O<sub>2</sub> y 40% CO<sub>2</sub> en persimonia ‘Fuyo’, daño la piel, además de presentar altos niveles de etanol y acetaldehído, lo que hizo que perdiera la calidad. Aquí es importante mencionar que los frutos en algunos casos no soportan las concentraciones de los choques de CO<sub>2</sub> y si las soportan el tiempo de tratamiento también los afecta.

#### **3.3.1.4 Reducción de los Daños por frío con MJ**

Estudios recientes han encontrado que la aplicaciones de MJ mantienen más altos los niveles de espermidina y espermina, los cuales han sido reportados como reductores de la peroxidación de lípidos, inhibidores de la actividad de enzimas degradantes y estabilizadoras de las estructuras de membrana (Wang, 1994), así mismo se ha demostrado que el MJ reduce los DF en frutas y hortalizas. Wang y Buta, (1994) fueron los primeros en evidenciar que MJ induce resistencia a los daños por frío en *Zucchini squash* durante almacenamiento a baja temperatura, postulando que la minimización de los DF por MJ involucra un incremento de la concentración interna de ABA y poliaminas. Herrera *et al.*, (2002), mostraron que 10<sup>-4</sup> M de MJ en mango ‘Manila’ almacenados a 6°C con 75-85% humedad relativa reducía los DF efectivamente. Lalel *et al.*, (2003) también encontraron que 10<sup>-4</sup> M por 20 horas a 20 °C mango ‘Kent’ almacenados a 5°C minimizaba los síntomas de DF. Estudios recientes han demostrado que disminuye los daños por frío en dosis de 10<sup>-5</sup>M en fresa y papaya (González



*et al.*, 2003), 10, 100  $\mu\text{M}$  de MJ por 30 s en durazno (Budde *et al.*, 2005), de 1-100  $\mu\text{mol/L}$  a 20°C por 24 horas en durazno ‘Hujing’ (Jin *et al.*, 2006), dosis de  $10^{-4}$  y  $10^{-5}$  M en guayaba ‘Hawaiana Roja’ y ‘Hawaiana Blanca’ (González *et al.*, 2004), de 1-100  $\mu\text{M}$  por 24 h antes del almacenamiento a 2°C por 4 y 10 semanas, y un día a 20°C en aguacate ‘Hass’, ‘Etinger’ y ‘Fuerte’. Sin embargo, el mecanismo de acción del MJ en la reducción de los DF aún es incierto y controversial.

### **3.4 Mecanismos antioxidantes**

#### **3.4.1 Especies reactivas del oxígeno**

Una de las respuestas más tempranas en defensa al estrés por frío es un rápido incremento de especies reactivas de oxígeno (ROS o AOS) en un proceso conocido como rompimiento del estrés oxidativo (Orozco y Ryan, 1999; Pellinen *et al.*, 1999) Las ROS incluyen superóxido ( $\text{O}_2^-$ ), radicales hidroxil ( $\text{OH}^-$ ), peróxido de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) y el oxígeno en estado libre ( $^1\text{O}_2$ ), que causan daño en los organelos celulares por la peroxidación de lípidos (Levine *et al.*, 1994). Durante la maduración ROS aumenta los niveles (Jiménez *et al.*, 2003), probablemente a eso se deba que los frutos cosechados en estados de maduración tardíos, toleran más los daños por frío. Los sitios de acumulación de ROS son en las áreas lesionadas, sugiriendo que la producción de ROS funciona regulando la muerte celular (Kawano y Muto, 2000).

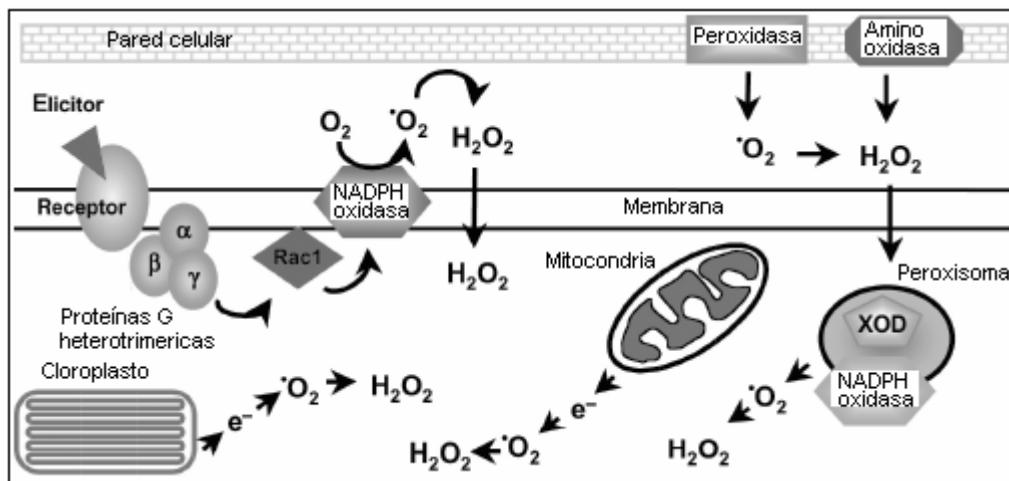
En el mecanismo de defensa que puede ocurrir en horas e incluso en días en respuesta al rompimiento oxidativo se desarrolla respuestas hipersensitivas (HR), localizarse en el área de muerte celular (Heath, 2000). Durante HR el influjo de iones de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{H}^+$  y el flujo de  $\text{K}^+$  y  $\text{Cl}^-$  son controlados por fosforilación de proteínas y eventos de defosforilación, las cuales son señales para la generación de ROS como  $\text{O}_2^-$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$  y especies reactivas de nitrógeno como óxido nítrico (NO) (Hancock *et al.*, 2002). Las HR influyen en la producción de ROS, peroxidación lipídica y fuga de electrolitos, debido a la ruptura de las membranas. La importancia de NO en el mecanismo de defensa fue demostrada en soya, donde NO potencializa las ROS e indujo las HR en el área de muerte celular (Delledonne *et al.*, 1998).

Delledonne *et al.*, (2001) mostró que NO, no activa las RH, pero si hace un balance apropiado entre NO y ROS, incluyendo los niveles de  $\text{H}_2\text{O}_2$  los cuales son controlados por la superóxido dismutasa (SOD) en la conversión de  $\text{O}_2^-$  a  $\text{H}_2\text{O}_2$ .  $\text{H}_2\text{O}_2$  y NO pueden inducir la expresión de genes asociados a las respuestas de resistencia como los de la fenilalanina amonio-liasa (PAL,

EC 4.3.1.5) y glutation S-transferasa (GST) (Delledonne *et al.*, 1998; Durner *et al.*, 1998). La tolerancia a las bajas temperaturas en cítricos ha sido asociada con la activación de la PAL en mandarina ‘Fortune’, no obstante, la actividad de PAL en respuesta a los DF depende del estado de maduración de las frutas (Lafuente *et al.*, 2003).

HR y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, además estimulan lignificación de la pared celular (Delledonne *et al.*, 1998; Durner *et al.*, 1998). La lignificación es estimulada por H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en defensa al estrés para proteger de la biodegradación celular (Yang *et al.*, 1997). La lignina en combinación con callosa, un polímero de β-1,3-glucan forman la lignificación en los sitios de muerte celular en defensa al estrés, además incrementa los niveles de hidroxiprolina y glicoproteínas en las paredes celulares y la producción de oclusiones vasculares (geles, gomas o tilosas), las cuales dan resistencia, bloqueando la introducción de cualquier sustancia dañina para las células y regulando su muerte (Turner, 1994).

El mutante *cevl* que controla los defectos de la pared celular en *Arabidopsis*, activa las ruta de biosíntesis de JA e incrementa la resistencia de las células al estrés (Vorwerk *et al.*, 2004). CEV1 codifica la síntesis de celulosa, implicando la síntesis en la pared celular primaria, esto disminuye la celulosa, y *cevl* detecta el efecto que incrementa la producción de JA para dar la resistencia al daño (Ellis *et al.*, 2002).



**Figura 5.** Extra e intracelular producción de ROS (adaptado de Ulrich, 2002; Hodges, 2003).

Las ROS son producidos en diferentes organelos intra y extracelular a través de diferentes señales en condiciones de estrés por frío. Las enzimas encargadas de su producción se localizan intra y extracelularmente (Bolwell *et al.*, 2002). La peroxidasa y amino oxidasas se

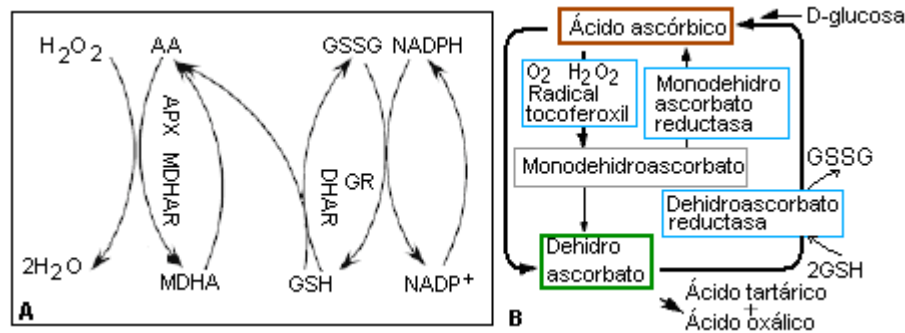
localizan en la pared celular, las NADPH oxidasas en la membrana que trasfiere electrones a la molécula de oxígeno pero también se localizan intracelular en mitocondrias, cloroplasto, peroxisomas y núcleo (Figura 5) (Ulrich, 2002; Hodges, 2003).

Los hidroperóxidos de lípidos son generados por la oxidación de lípidos causados por ROS y la actividad de lipoxigenasas (LOX; EC 1.13.11.12) (Jalloul *et al.*, 2002), NO y la hidroperoxidación de lípidos son importantes en la elaboración de respuestas en defensa al estrés (Delledonne *et al.*, 2001). En respuestas al estrés también se producen moléculas denominadas elicitores que son proteínas y holo polisacáridos derivados de la pared celular (Bonas y Lahaye, 2002), el elicitador y receptor activan el flujo de iones y el rompimiento oxidativo, aunque las moléculas encargadas de estas señales no han sido caracterizadas, se cree que son proteínas G heterotriméricas localizadas en la membrana y núcleo (Peskan *et al.*, 2000), que le transmiten la señal a Rac1 una GTPasa (Forman and Torres, 2001), que activa la NADPH oxidasa de la membrana y esta produce ROS en defensa al estrés (Suharsono *et al.*, 2002). En consecuencia, finalmente hay una acumulación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en el citoplasma en respuesta al estrés. ROS bajo estrés a baja temperatura activa las enzimas SOD, catalasa (CAT), peroxidasa (POD), ascorbato peroxidasa (APX) y glutatión reductasa (GR) (Lee *et al.*, 2004), y compuestos antioxidantes (tocoferoles, ácido ascórbico y glutatión) (Noctor *et al.*, 1998). ROS es inhibido con la presencia de ácido ascórbico (Rao y Davis, 1999). El ascorbato elimina los H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> del citoplasma directamente o por la enzima APX (Asada, 1999). Sin embargo, su eliminación puede perjudicar ya que H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> induce la tolerancia al daño, actuando también como molécula señalizadora inicial para comenzar el desarrollo de la tolerancia al daño (Yu *et al.*, 2002).

Varias reacciones metabólicas ocurren en la pared celular que genera la formación de ROS activadas por las enzimas peroxidasa y amino oxidasa (Gross, 1980). La amino oxidasa usa poliaminas (putrexina, espermidina, espermina y cadaverina) como sustratos para reducir el oxígeno vía una quinona intermediaria para formar superóxido (Vianello y Macri, 1991).

Las bajas temperaturas que causan los DF alteran la homeostasis entre la ROS y la generación de mecanismos de defensa, dando como resultado un incremento en los daños (Hodges, 2003). Algunos trabajos sugieren que la tolerancia a los DF se puede generar con el aumento de antioxidantes durante el estrés y la producción de ROS, lo que sucede en las especies más sensibles al daño (Wismer, 2003).

El ácido ascórbico se sintetiza en los cloroplastos, citoplasma, vacuola y otros compartimentos (Foyer y Halliwell, 1976). Este recicla las ROS por medio del monodehidroascorbato reductasa y dehidroascorbato reductasa usando reducción equivalentes de NADPH y glutation, o el dehidroascorbato puede descomponer en ácido tartárico y oxálico (Foyer, 1993) en la ruta de Halliwell-Asada, el ciclo del ascorbato-glutation y la degradación de ácido ascórbico (Figura 6).



**Figura 6.** A) Ruta de Halliwell-Asada y ciclo ascorbato-glutation: APX, ascorbato-peroxidasa; MDHAR, monodehidroascorbato reductasa; DHAR, dehidroascorbato reductasa; GR, glutathion reductasa, (adaptado de May *et al.*, 1998). B) Degradación del ácido L-ascórbico en los tejidos de las plantas.

El ácido ascórbico reduce el DF y mantiene altos niveles de vitamina C. MJ induce la transcripción de genes de la biosíntesis de ácido ascórbico *in novo* lo que provoca un incremento de este ácido evitando la activación de las rutas secundarias para preservar el estado redox en las células de las plantas (Wolucka *et al.*, 2005). Estos resultados sugieren que MJ a través del ácido ascórbico incrementa el sistema de enzimas antioxidantes para reducir las ROS durante la exposición de las frutas a las bajas temperaturas y de esta forma incrementar la tolerancia a los DF.

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se ha mostrado como un activador de los canales de Ca<sup>2+</sup> provocando un incremento en el protoplasto (Pei *et al.*, 2000), en respuesta a choques de frío, pero el rompimiento oxidativo que provoca H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> requiere de un influjo de Ca<sup>2+</sup> (Yang y Poovaiah, 2002). La pérdida de agua genera un incremento de ROS, especialmente H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en los tejidos de las plantas (Yan *et al.*, 2003). Hodges *et al.*, (2004) mostraron que hay una relación entre la pérdida de agua durante el almacenamiento y la generación de ROS, mencionando que alta humedad durante el almacenamiento reduce los DF (Forney y Lipton, 1990).



chaperonas del ER (BiP (también llamada GRP78; proteína regulada por glucosa de 78 kDa), calreticulina y disulfito isomerasa) y citoplasma (SP90 y HSP70) realicen la agregación de proteínas HSP en respuesta al estrés (Sitia y Molteni, 2004).

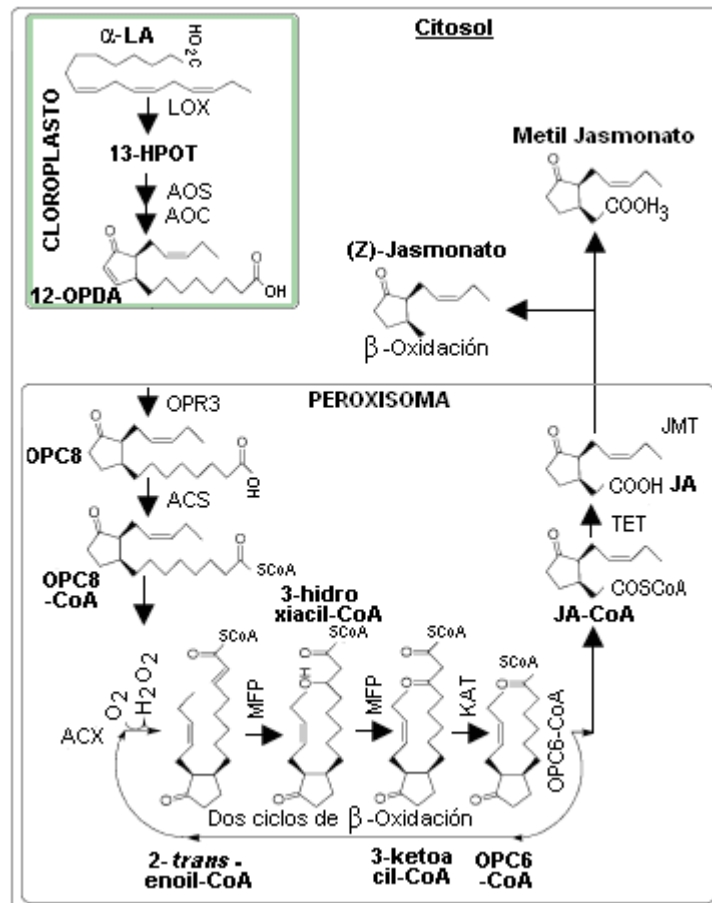
### **3.4.3 Acido Jasmónico (JA)**

El JA es un derivado ciclopentano del los ácido grasos linoléico y linolénico que presenta las características de una fitohormonas, actúan como moléculas señalizadoras de la respuesta de las plantas a numerosas situaciones de estrés y participan procesos de maduración, crecimiento de la raíz, la tuberización, producción de etileno al estimular la actividad ACC sintasa, cierre estomático, senescencia, desarrollo del polen, enrollamiento de zarcillos y respuestas a los daños por insectos, microbios, patógenos y estrés abiótico (Turner *et al.*, 2002); pero inhibe o disminuye el crecimiento de tejidos, germinación de semillas, biosíntesis de pigmentos, desarrollo de aromas en frutos y fotosíntesis (Farmer *et al.*, 2003; Rojo *et al.*, 2003). El ácido jasmónico (JA), es el precursor inmediato del metil jasmonato (MJ) (Creelman y Mullet, 1995). El MJ se ha reportado como un estimulante de la producción de etileno en tomates (Wang, 1994) y manzanas (Fan *et al.*, 1998), promotor de la abscisión de hojas, inhibidor de la germinación de semillas, estimulador de la degradación de clorofila y de la maduración de frutos, estimulante de la síntesis de etileno y se sintetiza en hojas o en tejidos bajos estrés (Wang, 1994). Los niveles endógenos de jasmonatos aumentan en respuesta a varios estrés como daños físicos (Baldwin *et al.*, 1997), ataque de patógenos estrés salínico y presencia de ozono, irradiación UV y escasez de agua (Mackerness *et al.*, 1999). La acumulación endógena de jasmonatos provoca la activación de diversos genes como los inhibidores de proteasas y genes de la vía de los fenilpropanoides, que dan lugar a la síntesis de fitoalexinas y establecen una relación entre la respuesta de defensa y el tipo de estrés. Aplicado exógenamente es capaz de inducir estos genes en plantas no dañadas, produciendo grandes cambios en la traducción, transcripción y en las poblaciones de mRNA (Farmer *et al.*, 2003).

La membranas de las plantas particularmente las de los plastidios son ricas en ácido linolénico (LA), precursor de JA, esterificado en forma de glicerolípidos y fosfolípidos. Esto sugiere que el aumento de JA intracelular puede ser causado por la activación de fosfolipasas (EC 3.1.4.4) que liberan LA de las membranas, cuando la señal emitida por un estrés interacciona con un posible receptor localizado en éstas (Farmer *et al.*, 2003).

### 3.4.3.1 Ruta de biosíntesis de MJ

La ruta de biosíntesis de los jasmonatos (ruta de los octadecanoídes) (Turner *et al.*, 2002) involucra diferentes enzimas localizadas en diferentes partes de la célula (Li *et al.*, 2005). La primera parte de dicha ruta es la conversión de LA en ácido 12-oxo-fitodienóico (12-OPDA) (Figura 8).



**Figura 8.** Ruta de biosíntesis de ácido jasmónico y metil jasmonato (Adaptado de Yuehui, *et al.*, 2002; Li *et al.*, 2005).

Durante el rompimiento de membrana por lipasas después de una herida se genera AL que promueve la producción de OPDA por la secuencia de enzimas en los plastidios AL es oxigenado a ácido 13-hidroxiperoxilinolénico (13-HPOT) por LOX (Porta y Rocha, 2002), seguido por una deshidratación para formar ácido epoxioctadecatrienoico por la Cyt P450 aleno oxido sintasa (AOS; EC4.2.1.92). El resultado es un compuesto intermediario inestable el aleno oxido el cual es ciclizado por una aleno oxide ciclasa (AOC) para formar 12-OPDA. La segunda parte de la ruta de biosíntesis ocurre en los peroxisomas, donde OPDA es reducido por la OPDA reductasa (12-oxo-fitodienoato reductasa (OPR3) estudios recientes muestran que esta enzima se localiza en los peroxisomas (Strassner *et al.*, 2003) para dar el

ácido 3-oxo-2(29(Z)-pentenil)-ciclo-pentano-1-octanoico (OPC8). Removiendo el carbono seis de la cadena de actanoato de OPC8. En este proceso se requiere exportar el OPDA al peroxisoma y glioxisomas (Strassner *et al.*, 2003). A continuación OPC8 requiere de dos ciclos de  $\beta$ -oxidación para formar el JA y una  $\beta$ -oxidación para formar metil jasmonato (Zolman y Bartel, 2004). La parte de la ruta catalizada por OPR3 y acil-CoA sintasa (ACS) no es conocida. En la etapa final de síntesis de JA es catalizada por las enzimas acil-CoA oxidase (ACX), la actividad de la proteína multifuncional (containing 2-*trans*-enoyl-CoA hidratasa y L-3-hidroxiacil-CoA dehidrogenasa) (MFP); 3-ketoacil-CoA thiolasa (KAT).

Se ha sugerido que puedan existir dos vías para la síntesis de JA, una en el citoplasma y la otra en los plastidios, puesto que la enzima LOX se localiza tanto en los plastidios como en vacuolas y en citoplasma y los plastidios contienen actividad AOS y AOC (Vick y Zimmerman, 1987). Los jasmonatos inactivan la acumulación de proteínas en los ribosomas (Farmer y Rayan, 1990). Además, han mostrado la estimulación de amidas de ácido hidroxicinámico (HCAs), las cuales son formadas al aglomerar poliaminas (putresina, espermidina, y espermita) por el ácido hidroxicinámico, ácido caféico y ácido coumárico. La actividad de LOX incrementa con el estrés físico (Porta y Rocha, 2002). SA inhibe ciertas respuestas al estrés por bloquear la biosíntesis de JA. SA inhibe la conversión de 13-HPOT a 12-OPDA por interacción con la actividad de AOS. Ambos 12-OPDA y JA inhiben el efecto de SA (Peña, *et al.*, 1993). Los mutantes que activan las defensas mediatizadas por JA incluyen *cev1* y *cet*. El gen *cev1* incrementa los niveles de JA y etileno (Ellis *et al.*, 2002). El gen *cet* activa la expresión de los genes de la ruta dependiente de JA y incrementa los niveles de JA (Nibbe *et al.*, 2002).

### **3.4.3.2 Efectos del metiljasmonato (MJ) en frutos**

Las aplicaciones externas de MJ incrementa los niveles de ácido abscísico, sólidos solubles totales contenido de poliaminas, fenoles, pigmentos, la actividad de ACC sintasa y ACC oxidasa, PAL, LOX, induce HSPs, azúcares entre otros. Disminuye pérdida de peso, firmeza, color, pH, y acidez titulable. Incrementa la degradación de clorofila, vitamina C, producción de etileno y CO<sub>2</sub>, síntesis de antocianinas, maduración y mejora la calidad. Reduce los síntomas de DF, el porcentaje de electrolitos y el deterioro (González *et al.*, 2001). Evidencias recientes sugieren que los jasmonatos juegan un rol importante como moléculas de señalización en frutos climatéricos para inducir respuestas en defensa y incrementa la resistencia a los DF (González *et al.*, 2004).



### 3.4.3.3 Mecanismo del metiljasmonato en la tolerancia a daños por frío

Meir *et al.* (1996) postulan que los jasmonatos pueden jugar un rol integral en la transducción de señales en cascada y remplazan otros tratamientos de estrés que inducen cambios bioquímicos benéficos involucrados en la tolerancia a los DF. La generación de señales por MJ en las células de frutos y vegetales inducen la activación de varias reacciones enzimáticas y síntesis de proteínas que juegan diferentes roles en la vida postcosecha de los frutos (González *et al.*, 2004). Ding *et al.* (2001) reportó que MJ promueve la acumulación mRNA y HSPs en tomate lo cual explica una reducción de los DF. MJ estimula la transcripción y acumulación de HSP 17.6, HSP 17.7 y HSP 17.4 (Ding *et al.*, 2001), las cuales son inducidas a agruparse bajo condiciones de estrés para proteger del daño y dar tolerancia a los DF (Sabehat *et al.*, 1996).

Las exposiciones de MJ induce la actividad de la PAL, esta enzima cataliza la primera etapa de la ruta de los fenilpropanoides y compuestos fenólicos ambos con propiedades antioxidantes, por lo que es primordial para el oscurecimiento (González *et al.*, 2004). En guayaba y tomate, MJ puede activar LOX, enzima que cataliza la hidroperoxidación de los ácidos grasos poliinsaturados, ácidos que también son involucrados en la tolerancia a los DF en las frutas (González *et al.*, 2004). Mauch *et al.*, (1997), menciona que la inducción de la actividad de LOX por MJ es parte del modo de acción de los jasmonatos para activar los sistemas de defensa al estrés por frío.

Los tratamientos de MJ han mostrado incrementar la actividad de las enzimas antioxidantes incluyendo, SOD, POD, APX, glutathion peroxidasa, GR, dehidroascorbato reductasa y monodehidroascorbato reductasa (Chanjirakul *et al.*, 2006). MJ externo incrementa también, los fenoles totales en guayaba, manzana 'Fuji', (González *et al.*, 2004). Los jasmonatos pueden modular los genes o proteínas directamente responsables de la síntesis de fenoles, y para entender su mecanismo hace falta más estudios para mostrar su papel en la tolerancia de DF (Lalel *et al.*, 2003). La activación de la PAL por MJ sugiere que la síntesis de fenoles en guayaba está involucrada en la tolerancia a los DF y descomposición, lo que sugieren que la inducción de estas enzimas por MJ es parte de la activación de los sistemas de defensa en las frutas (González *et al.*, 2004).

Los niveles de carbohidratos pueden influenciar la sensibilidad de los tejidos a las bajas temperaturas, por la disminución del punto de congelación, aunque los mecanismos del azúcar en los tejidos bajo estrés por frío no es bien conocido (Holland *et al.*, 1999). Los efectos de

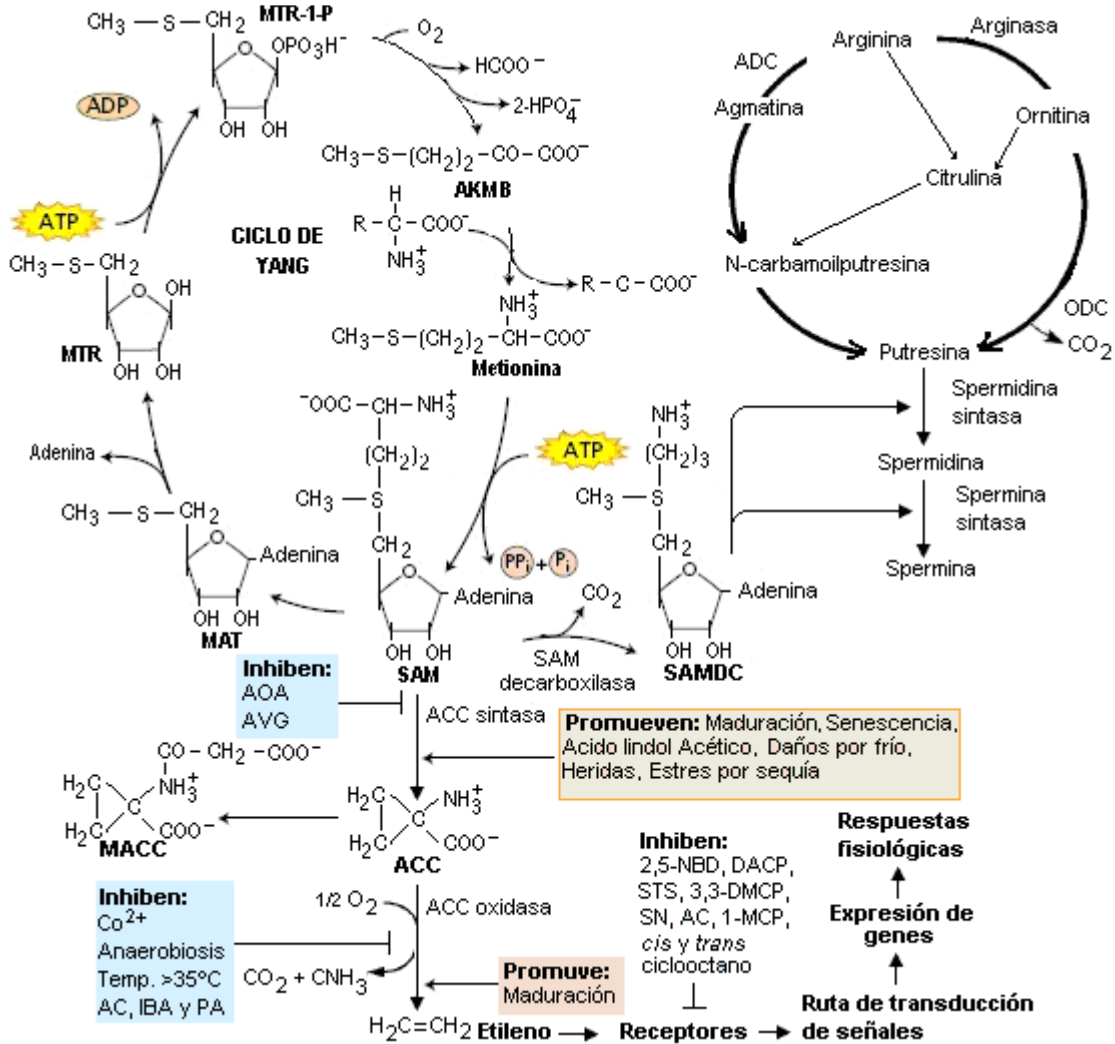
MJ y el contenido de azúcar en frutas y vegetales son controversiales. Altos contenidos de glucosa y fructosa fueron reportado en *Zucchini squash*, mango ‘Kent’ y guayaba con concentraciones de  $10^{-4}$  M de MJ (González *et al.*, 2004). En contraste, tratamientos con  $10^{-5}$  M de MJ en mango ‘Kent’ reducen el contenido de fructosa y glucosa. Lo que sugiere que el MJ pueden jugar un rol importante en la inducción de tolerancia a los DF, involucrando el contenido de carbohidratos y fenoles, sin embargo el contenido de azúcares no tiene un efecto directo con el MJ, ya que su incremento depende del tipo de fruta, etapa de maduración y el tiempo de aplicación (González *et al.*, 2001).

#### **3.4.4 Biosíntesis de etileno y poliaminas en respuesta al estrés**

La ruta de biosíntesis de etileno fue establecida primeramente en manzana (*Malus domestica*) por Adams y Yang (1977). La ruta de biosíntesis de etileno ha sido bien establecida (Figura 9) (Wang *et al.*, 2002). El sustrato para la producción de etileno a partir de Metionina es S-adenosil-L-metionina (SAM), presente en altos niveles en las células de las plantas. SAM es convertida por la enzima ACC-Sintasa en 1-amino-ciclopropano-1-acido carboxílico (ACC), pudiéndose también transformarse en 5'-metiltioadenosina (MTA), el cual es recirculado a metionina por el ciclo de Yang que necesita ATP producto de la respiración (Arshad y Frankenberger, 2002). Finalmente, ACC es oxidado por la ACC oxidasa para formar etileno,  $\text{CO}_2$  y cianuro ( $\text{CNH}_3$ ), el cual es destoxificado a  $\beta$ -cianoalanina por  $\beta$ -cianoalanina sintasa ( $\beta$ -CAS, EC 4.4.1.9) para prevenir toxicidad con la acumulación de cianuro durante los máximos climaterios de etileno. Aunque ACC con malonato. También puede producir malonil-ACC (MACC), lo cual hace que disminuya la habilidad de ACC para producir etileno (Arshad y Frankenberger, 2002; Wang *et al.*, 2002). McMurchie *et al.* (1972), postulan dos mecanismos de control de la síntesis de etileno, uno donde se induce un nivel basal de etileno común en todos los frutos que se activa por lesiones mecánicas o por heridas en los tejidos, y otro para frutas climatéricas e incluye la producción autocatalítica de etileno, que desciende cuando finaliza la maduración.

Las poliaminas (putresina, espermidina y espermina) (Figura 9) derivan de los aminoácidos arginina y metionina (Bagni, 1989). Que son consideradas como compuestos inhibidoras de la senescencia. Putresina puede ser sintetizada a partir de ornitina o arginina, por arginina decarboxilasa (ADC) y ornitina decarboxilasa (ODC) ambas enzimas regulan la síntesis de esta poliamina (Yoda *et al.*, 2003; Yerlikaya, 2004). Putresina es sucesivamente convertida a espermidina y espermina por las enzimas espermidina sintasa y espermina sintasa

respectivamente, con adición de un grupos propilamino derivado de SAM decarboxilada (SAMDC) la cual fue generada por SAM-decarboxilasa (dcSAM), siendo SAM el intermediario común para la biosíntesis de etileno y poliaminas (Bagni y Tassoni, 2001).



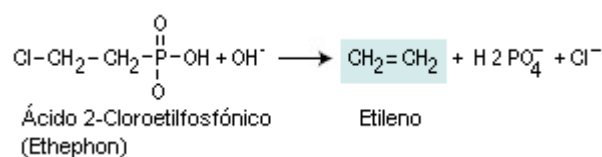
**Figura 9.** Ruta de biosíntesis de etileno y poliaminas. 1,10-fenantrolina (PA), Acido α-aminoisobutírico (IBA), atmósferas controladas (AC), diazociclopentadieno (DACP), Tiosulfato de plata: Ag<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (STS), 1-metilciclopropeno (1-MCP), Nitrato de plata: AgNO<sub>3</sub> (SN), 2,5-norbornadieno (2,5-NBD), 3,3 dimetilciclopropeno (3,3-DMCP), (adaptado de Génard y Gouble, 2005; Jin, 2006).

Las putrescina, espermina y espermidina son poliaminas de las plantas, involucradas en la división celular, síntesis de macromoléculas, senescencia y respuestas al estrés (Angelini y Fand, 1990). Aplicaciones de MJ incrementan los niveles de espermidina y espermina, pero disminuye putrescina (Wang y Buta, 1994). La espermidina y espermina se ha reportado que están involucradas en la reducción de la peroxidación de lípidos, inhibición de las enzimas degradativas y la estabilización de la estructura de la membrana (Smith y Arteca, 2000). Los

altos niveles de poliaminas y ABA que se manifiestan en los tejidos con tratamientos de MJ también son efectivos para reducir los daños bajo estrés por bajas temperaturas, y están fuertemente relacionados con varios tipos de mecanismos (Wang and Buta, 1994). La S-adenosilmetionina es inducida por MJ, la cual es necesaria para la síntesis de poliaminas y etileno, y podría ser la llave para el control de estas dos rutas (Cassol y Mattoo, 2002). Estos mecanismos también reducen los DF y dan tolerancia a las bajas temperaturas (Wang y Buta, 1994).

### 3.4.4.1 Importancia postcosecha de etileno

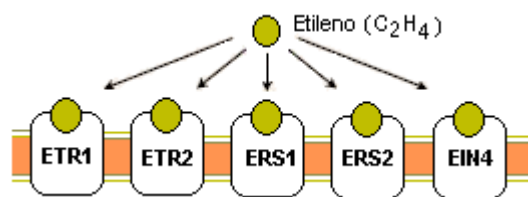
El etileno regula muchos procesos fisiológicos en el desarrollo de las plantas, esto hace una de las usadas hormonas en la agricultura (Lelièvre *et al.*, 1997). La dificultad de usar el etileno como tal es muy difícil, limitación que encamina al uso del compuesto estofón (ácido 2-chloroetilfosfonico), el cual fue descubierto en los 1960s, conocido por varios nombres triviales como Ethrel (Figura 10). El compuesto es un líquido que en solución acuosa libera el gas etileno que acelera la maduración en frutas climatéricas y desverdizado en cítricos, sincroniza la floración en piña y acelera la abscisión de flores y frutos (Saltveit, 1999). La inhibición del etileno en los almacenes promueve la conservación de las frutas con el manejo de atmósferas controladas con bajas concentraciones de O<sub>2</sub> y temperaturas que inhiben su biosíntesis. Altas concentraciones de CO<sub>2</sub> (3 a 5%) previenen la acción de etileno y la maduración. Las bajas presiones son usadas para remover el etileno y oxígeno en las cámaras de almacenamiento para retardar la maduración y prevenir la sobre maduración.



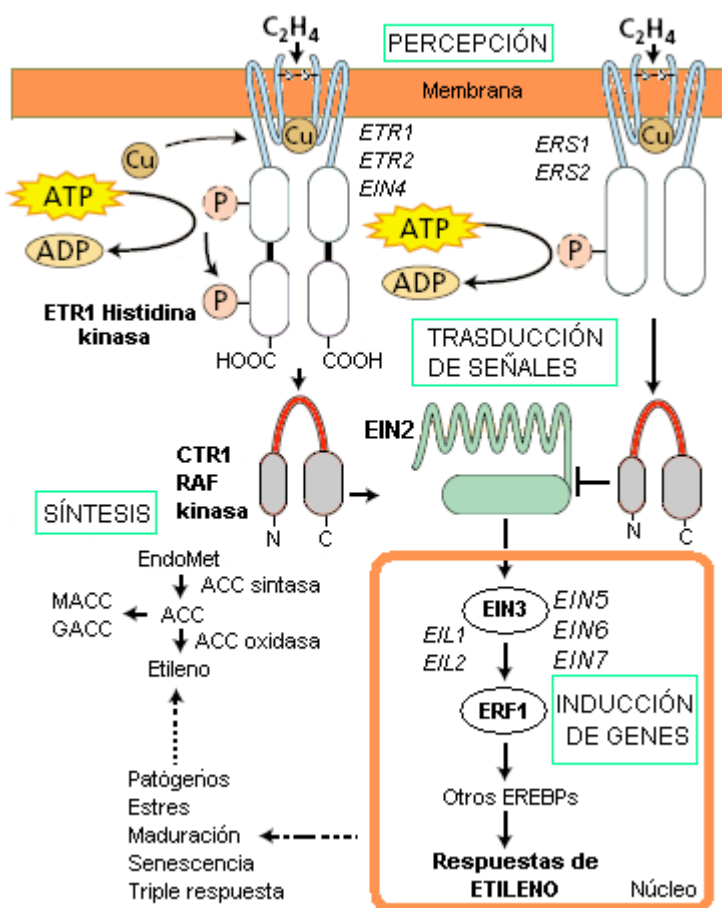
**Figura 10.** Molécula del etileno sintético usado para maduración de frutas.

### 3.4.4.2 Ruta de Señalización de Etileno

El etileno es percibido por dos familias de receptores localizados en las membranas (*Arabidopsis* (Chang y Bleecker, 2004) y tomate (Ciardi y Klee, 2001) y fresa: ETR1, ETR2, ERS1, ERS2, and EIN4, cada uno con su respectivo gen de expresión (*ETR2*, *ERS1*, *ERS2*, y *EIN4*) (Bleecker y Kende, 2000). Una compuesta por los receptores ETR1 y ETR2, y la otra familia integrada por ERS1, ERS2 y EIN4 (Hua y Meyerowitz, 1998) (Figura 11).



**Figura 11.** Receptores de etileno descubiertos en *Arabidopsis* y tomate.



**Figura 12.** Modelo de señalización del etileno en *Arabidopsis*.

En algunos frutos se han encontrado otros genes receptores de etileno que han sido aislados *MdETR1*, *MdERS1*, *MdERS2* (Tatsuki y Endo, 2006) y su expresión ha sido estudiada en la abscisión de frutos (Cin *et al.*, 2005) pero en manzanas determinaron que el 1-MCP suprime estos genes (Tatsuki y Endo, 2006). También el gen *MdPG1cDNA* (L27743) aislado en manzana (Atkinson *et al.*, 1998); es regulado durante la maduración por etileno (Wakasa *et al.*, 2006). Los genes ACC sintasa, *MdACS1* y *MdACS3* y ACC oxidase *MdACO1* expresados durante la biosíntesis de etileno en la maduración de frutos climatéricos (Cin *et al.*, 2005).

El mecanismo de señalización involucra primeramente dos proteínas, una histidina kinasa que actúa como un sensor autofosforilando una histidina en respuesta a una señal ambiental (Figura 12) (Pirrung, 1999).

Fue demostrado que la percepción del etileno por ETR1 (el cual es una proteína integral de la membrana) ocurre en la parte hidrofóbica de la membrana en el N terminal del receptor y que además, requiere cobre un metal de transición, el cual funciona como un cofactor y energía en forma de ATP (Rodríguez *et al.*, 1999). Cuando el etileno se une al receptor en algún tiempo podrían ser horas, el etileno se desligan pero deja activo los receptores, los cuales activan la ETR1 kinasa para comenzar transmisión de señales en cascada, CTR1 regula negativamente la ruta de señalización de etileno, en tomate y *A. thaliana* (Chang y Bleeker, 2004), en presencia de 1-MCP, se mantiene CTR1 inhibido, el cual a su vez inhibe la transducción de señales de la ruta de etileno. CTR1 se inactiva pero se activa la proteína EIN2, que a continuación activa la familia de factores de transcripción (*EIN3*, *EIN5*, *EIN6*, *EIN7*, *EIL1* *EIL2*), los cuales inducen la expresión de ERFI y otros EREBPs. El núcleo lee estas señales en cascada que cambia la expresión de los genes comenzando una alteración en las funciones de las células para mandar las respuestas de etileno (Bhowmik y Matsui, 2005).

La producción de etileno es precedida por la inducción de los genes CsACS1 y CsACO1 en uno de los receptores, CsERS1 (Katz *et al.*, 2004). Otros resultados mostraron en fresa que dos cDNAs codifican las enzimas de la biosíntesis de etileno (FaACO1 and FaACO2), y tres cDNAs codifican diferentes receptores de etileno (FaETR1, FaETR2 y FaERS1) (Trainotti *et al.*, 2005).

#### **3.4.4.3 Inhibidores de la síntesis de etileno**

El uso de inhibidores de la síntesis de etileno se plantea como alternativa para retrasar los procesos de maduración y senescencia de los frutos en postcosecha. El aminoetoxivinilglicina (AVG) y ácido aminooxiacético (AOA) bloquean la conversión SAM a ACC y son conocidos como inhibidores de la enzima ACC sintasa (Zacarías, 1993). También pueden ser inhibidas por ciertas concentraciones de auxinas y citocininas. El ión Cobalto  $\text{Co}^{2+}$ , bajas concentraciones de  $\text{O}_2$  y altos niveles de  $\text{CO}_2$  en el rango del 1, IBA y PA, bloquean la conversión de ACC a etileno (Lelièvre *et al.*, 1997). La temperatura óptima para el paso de ACC a etileno catalizada por la ACC oxidasa está entre 15 y 25°C, temperaturas mayores a 35°C y debajo de 10°C inhiben la actividad de esta enzima (Lelièvre *et al.*, 1997).  $\text{CO}_2$  y 1-MCP regulan el gen de expresión de la ACC oxidasa y por tanto, inhiben la estimulación de producción de etileno, la actividad de la ACC oxidasa y la acumulación del gen *PP-ACO1* transcripcional en durazno durante la maduración (Mathooko *et al.*, 2004). En AVG

disminuyó la concentración de etileno y la maduración de los frutos. Bramlage y Meir, (1990) realizaron aplicaciones de AVG en precosecha, inhibiendo drásticamente las concentraciones internas de etileno y lograron retrasar la maduración en manzana.

#### **3.4.4.4 Inhibidores de acción de etileno**

El dióxido de carbono en el rango de 5 a 10% inhibe algunas respuestas de etileno como la inducción a la maduración de frutas, aunque el CO<sub>2</sub> es menos eficiente que Ag<sup>+</sup> (Lelièvre *et al.*, 1997). Estos efectos son mostrados con frecuencia en los almacenamientos de frutos, donde se retarda la maduración en concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub> que bloquean la acción de etileno hasta bajo condiciones ambientales (Sopee *et al.*, 2006). También la olefina cíclica 2,5-norbornadieno (NBD), diazociclopentadieno (DACP) y 1-metilciclopropeno (1-MCP) inhiben competitivamente la acción del etileno (Sisler y Serek, 1997).

#### **3.4.4.5 Inhibidores del receptor de etileno**

Compuestos volátiles como el trans-cicloocteno y cis-cicloocteno son inhibidores competitivos del receptor de etileno (Sisler *et al.*, 1990). El 1-metilciclopropeno (1-MCP: C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>) inhibe también los receptores de etileno y que ha demostrado ser particularmente efectivo (Watkins *et al.*, 2000). Recientemente se ha demostrado que si se aplica en un estado de madurez adecuado previene los efectos del etileno como la madurez y senescencia de los frutos (Xuetong y Matheis, 1998). Respuestas debidas en gran parte al antagonismo con el etileno y por la inactivación de proteínas (EBP) (Wills *et al.*, 2002).

#### **3.4.5 Características del 1-metilciclopropeno (1-MCP)**

El 1-MCP fue comercializado primeramente por Floralife, Inc. (Walterboro, SC) para uso en productos ornamentales. En 1999 fue aprobado por U.S. Environmental Protection Agency (EPA). EthylBloc<sup>®</sup> y SmartFresh son los nombres comerciales del 1-MCP producido por AgroFresh, Inc., una subsidiaria de la Rohm and Haas (Spring House, PA), EthylBloc: 0.14% 1-MCP para flores y hortalizas y SmartFresh: 3.3% 1-MCP para frutos (Sisler y Serek, 1997).

El 1-MCP no es tóxico para el hombre, activo a dosis baja del orden de partes por billón y deja menos de 5 nL L<sup>-1</sup> de residuos de 1-MCP en frutos. Disuelto en agua a 40°C suelta el ingrediente activo en forma de gas en los espacios libres de los cuartos de almacenamiento (Sisler y Serek, 2003). En la actualidad es posible contar con generadores de 1-MCP con cantidades fijas del producto calculadas para volúmenes conocidos de cámaras. El 1-MCP

está clasificado por la Agencia de Protección del Ambiente de EUA como un regulador de crecimiento (Zoffoli *et al.*, 2002). El 1-MCP, está aprobado para su uso en frutas y hortalizas en Estados Unidos, Argentina, Chile, Nueva Zelanda, México, Sudáfrica, Francia, España, Grecia, Portugal, Colombia, Brasil, Costa Rica, Guatemala, Israel, Reino Unido, Australia, Austria, Guatemala, Honduras, Unión Europea, Japón, Corea y Canadá (Calvo, 2005). En 2002 SmartFresh™ fue aprobado para el uso en los Estados Unidos en manzanas, chabacano, aguacate, bananas, kiwi, mango, melón, nectarinas, papaya, duraznos, chile, peras, persimonia, piña, plátano (*Musa paradisiaca*), chilacayote (*Squash vine*), bulbos de tulipán, ciruela, y tomate (Wamer *et al.*, 2003).

#### **3.4.5.1 Efectos del 1-MCP en frutos y hortalizas**

El etileno juega un rol central en la iniciación y aceleración del proceso de maduración en frutas. Para mantener la calidad y retardar la maduración y senescencia muchas investigaciones han encontrado que se logran mediante la inhibición del etileno. El 1-MCP se ha encontrado muy efectivo para inhibir la acción de etileno. Sisler y Serek (1997) mostraron que bajas concentraciones de ( $0.5 \text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 1-MCP puede inhibir la acción d etileno al reaccionar con el receptor de etileno.

El 1-MCP disminuye la producción de etileno y  $\text{CO}_2$  en aguacate, ‘Reed’ y ‘Simmonds’ (Woolf *et al.*, 2005), bananas (Jansasithorn y Kanlavanarat, 2006), kiwi (Kim *et al.*, 2001) y mango’ (Penchaiya *et al.*, 2006). Retarda la producción de  $\text{CO}_2$  y etileno en mamey ‘Magaña’ (Ergun *et al.*, 2005). Prolonga la vida de anaquel en mango ‘Nam Dokmai’ (Penchaiya *et al.*, 2006), pero no la afecta en mamey ‘Magaña’ (Ergun *et al.*, 2005). El 1-MCP disminuye la firmeza en banana (Jiang *et al.*, 2004) y kiwi (Kim *et al.*, 2001). También pueden mejorar la firmeza como en banana ‘Williams’ (Moradinezhad *et al.*, 2006), persimonia ‘Rojo Brillante’ (Salvador *et al.*, 2006a). La aplicación de 1-MCP no afecta el contenido de SST en mamey en dosis de  $1 \mu\text{l l}^{-1}$  de 1-MCP a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  por 24 h en mamey ‘Magaña’ no afectaron el contenido de SST (Ergun *et al.*, 2005).

#### **3.4.5.2 Factores involucrados en la respuesta del 1-MCP**

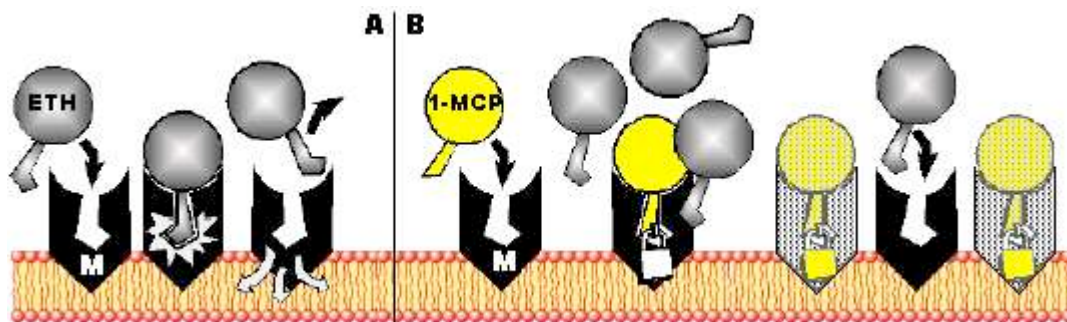
Los efectos del 1-MCP puede prolongar o acortar la vida de anaquel de los frutos dependiendo de muchos factores de pre y postcosecha por el efecto en la producción de etileno (Watkins y Nock, 2004). La eficacia del 1-MCP difiere por el cultivar, tipo de fruto, peso de los frutos, producción de etileno, condiciones de almacenamiento, la concentración



activa, tiempo de tratamiento, temperaturas de tratamiento etapa de maduras de la fruta y condiciones de cosecha (Jin, 2006). La efectividad del 1-MCP disminuye cuando la fruta es cosechada después de su madurez fisiológica de las frutas (Mir *et al.*, 2001). Otro factor que altera la eficacia del 1-MCP es la composición de aire, el 1-MCP fue más efectivo en combinación con atmósferas controladas en manzana Watkins *et al.*, (2000).

### 3.4.5.3 Principio y modo de acción del 1-MCP

Burg y Burg, (1967), reportan que para dar la respuesta el etileno necesita actuar con un receptor vía un metal necesitando de la habilidad del ion plata. Se ha propuesto que el etileno podría actuar sustrayendo electrones de un metal (probablemente un ión cobre) del receptor de las membranas celulares, causando un proceso de sustitución de ligadura que induce a una respuesta (Sisler y Goren, 1981). Al dejar el etileno el receptor, se forma un complejo activo (Figura 13 A).



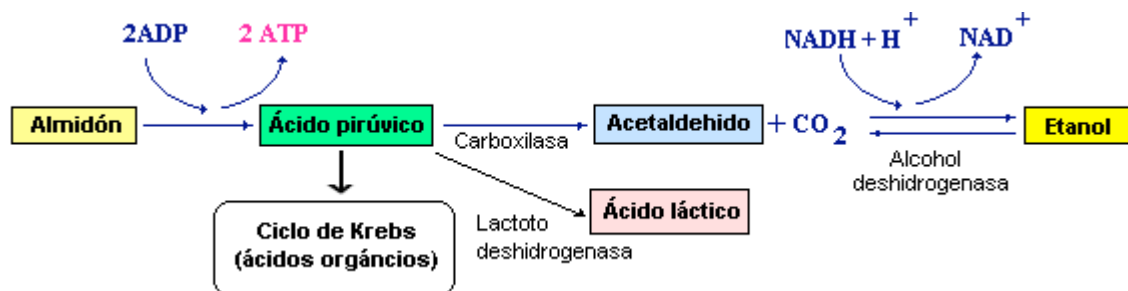
**Figura 13.** Modo de acción del 1-MCP.

El complejo activo produce una cascada de efectos fisiológicos en donde el etileno no es parte del complejo activo, pero sería el iniciador (McKeon y Yang, 1987). El 1-MCP actúa de manera similar al etileno, pero no se separa del complejo, y por lo tanto no se forma el complejo activo. El etileno es liberado del complejo pocos minutos, mientras que al 1-MCP le demanda horas o incluso días (Zoffoli *et al.*, 2002). Sin embargo, posteriormente en el tejido vegetal se forman nuevos receptores que son ocupados por etileno al no haber 1-MCP y se producen nuevamente las respuestas del etileno (Figura 13 B) (Jin, 2006).

Luego de un período que varía según la especie y el cultivar, los tejidos vegetales tratados con 1-MCP recuperan parcialmente la sensibilidad al etileno (Argenta *et al.*, 2001), sugiriendo como alternativa múltiples aplicaciones de 1-MCP y utilizar los efectos de sinergismo con otros inhibidores, como por ejemplo combinación de 1-MCP + AVG (Jin, 2006).

### 3.4.6 Atmósferas controladas

La modificación sin controlar el ambiente externo de los productos se denomina atmósferas modificadas (AM), mientras que la modificación controlada se denomina atmósferas controladas (AC). Esta última puede considerarse, si el control varía con las condiciones ambientales y puede ir de rango <21%> de O<sub>2</sub> y <0.03%> de CO<sub>2</sub>, siendo más efectivos para disminuir la respiración del tejido vegetal y sus consecuencias si se aplican en combinación con bajas temperaturas (Malcolm, 2005). Kader y Ben-Yehoshua, (2000), reportaron que la súper atmósfera de O<sub>2</sub> (altos niveles de hasta del 100%) combinadas con elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> (15-20kPa), se a denominamos “choques de CO<sub>2</sub>”, logrados en un tiempo (lo más rápido posible), puede ser la técnica más efectiva para controlar el crecimiento de hongos y bacteria y controlar la respiración y producción de etileno y sus respuestas principales.



**Figura 14.** Respiración anaeróbica en frutos, Fuente: Wills, 1998. Con condiciones de anaerobiosis o el exceso de CO<sub>2</sub> se inicia la fermentación alcohólica en vez del Ciclo de Krebs. Esta fermentación metaboliza a ácido pirúvico, convirtiéndolo primeramente a acetaldehído con una Piruvatocarboxilasa más CO<sub>2</sub>. Eventualmente el acetaldehído se puede convertir a etanol, reacción que puede ser reversible, con la enzima alcohol deshidrogenasa.

En la práctica CA no debe ser menor a 1% de O<sub>2</sub> (1kPa) para frutas y hortalizas, aunque la concentración depende de la especie pero el rango puede ir de 0.4 a 0.8kPa, ya que de lo contrario rebasaría el límite para la respiración aeróbica, y por tanto se produciría la respiración anaeróbica (Figura 14) que no es recomendable para todas las frutas pues reduce su valor comercial por el incremento de la fermentación y la producción de etanol y acetaldehído (Kader, 2003).

Almacenamientos con altas concentraciones de CO<sub>2</sub> y bajo O<sub>2</sub> son efectivos en la reducción de la incidencia de pudriciones y mantenimiento de la calidad de las frutas (Robbins y Fellman, 1993). Las bajas y altas concentraciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, ejercen efectos, en gran parte independientes, sobre la respiración y otras reacciones metabólicas (Wills *et al.*, 1981). Cuando no causan estrés fisiológico, reducen la respiración y la producción de etileno,

además, retardan cambios de composición relacionados con color, firmeza, sabor y calidad nutricional de los frutos, altas concentraciones de CO<sub>2</sub> inhibe la degradación de las sustancias pépticas (Wills *et al.*, 1981), lo que influye directamente sobre el deterioro y firmeza del fruto. En frambuesa atmósferas de 20 a 25% de CO<sub>2</sub> retrasan la maduración (Lloyd y Pentzer, 1982). En fresa ‘Selva’ tratadas con 0.5 kPa O<sub>2</sub> 20 kPa CO<sub>2</sub> (balance N<sub>2</sub>) almacenadas a 5°C, incrementó el pH mejorando el color, incrementó ácido succínico, disminuyó acidez titulable especialmente ácido cítrico y málico (Holcroft y Kader, 1999). Stewart, (2003) mostró que en fresa tratadas con 80kPa O<sub>2</sub> se obtuvo la mejor calidad en combinación con, CA (5kPa O<sub>2</sub> y 5kPa CO<sub>2</sub>) y N<sub>2</sub> (90kPa).

Zheng *et al.* (2003) mostró que O<sub>2</sub> (> 60kPa) aparte de reducir el deterioro incrementa los niveles de antioxidantes en arándano azul. Kader y Ben-Yehoshua, (2000), mencionan que 20kPa de CO<sub>2</sub> y 50kPa de O<sub>2</sub> durante el almacenamiento para controlar el deterioro en frutos. Sopee *et al.*, (2006), reportaron que 10-15% CO<sub>2</sub> a 13°C con 90-95%, en rambután ‘Rongrein’ incrementó L, y la vida de anaquel en 12 días respecto al testigo, redujo el oscurecimiento en pericarpio, pérdida de peso, producción de CO<sub>2</sub> y etileno, y el incremento de SST. Wild *et al.*, (2003), mostraron que altos niveles de CO<sub>2</sub> (20kPa) inhiben la producción de etileno y previenen la acumulación de ACC en tomate ‘Aromata’ almacenado a 18°C por 5 días.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Localización del Experimento

Los frutos de mamey fueron cosechados en una huerta comercial en Alpoyecá, Guerrero, localizada en la región montañosa a 196 km de Chilpancingo, en 17°41' de latitud Norte y 98°30' longitud Oeste, a una altura de 1030 msnm (Figura 15).



**Figura 15.** Localización de Alpoyecá guerrero.

Los climas predominantes son: cálido, cálido subhúmedo y semicálido subhúmedo y una precipitación media anual de 800 mm ([www.guerrero.gob.mx](http://www.guerrero.gob.mx)). Con temperaturas mínimas de 23.40 y máximas 37.44°C así como la humedad relativa de 62.62%. El experimento postcosecha se realizó en el Laboratorio de Postcosecha del Colegio de Posgraduados Campus Montecillos, Texcoco, Edo. De México.

### 4.2 Material Vegetal

Se utilizaron 60 frutos de mamey para cada tratamiento, recolectados en madurez fisiológica de acuerdo a los índices de cosecha que utilizan los productores de la región. La cosecha se realizó el día 9 de febrero del 2007. La selección para el experimento se basó en tamaño. Los frutos previamente tratados fueron colocados en cajas de plástico, para luego ser sacados 20 frutos a los 7 días, 20 frutos a los 14 días y 20 frutos a los 21 días después de ser colocados a una temperatura de 10°C.

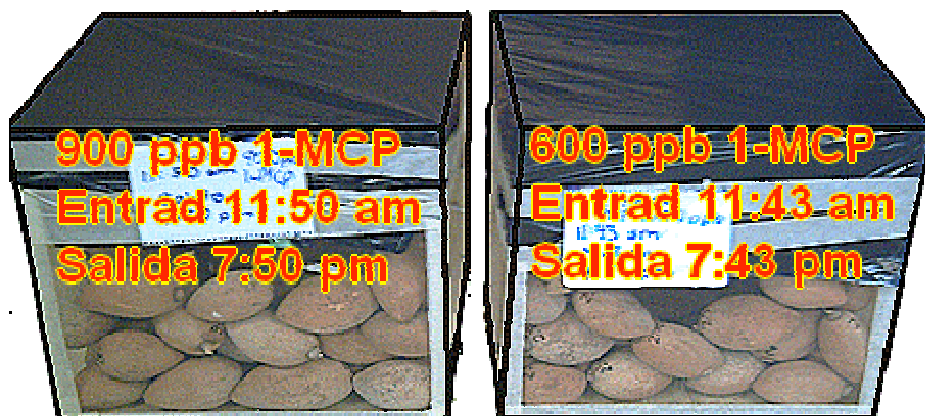
### 4.3 Tratamientos

1	Testigo a 23°C	6	Testigo 10°C
2	600 nL L <sup>-1</sup> 1-MCP por 8 h	7	Choques de 53% de CO <sub>2</sub>
3	900 nL L <sup>-1</sup> 1-MCP por 8 h	8	Choques de 53% de CO <sub>2</sub>
4	10 <sup>-3</sup> M de MJ por 8 h	9	Choques de 49% de CO <sub>2</sub>
5	1000 μL L <sup>-1</sup> de etileno por 10 min	10	Choques de 58% de CO <sub>2</sub>

Los frutos del tratamiento testigo se colocaron en una caja de plástico a temperatura ambiente y se incrementó la temperatura a 23°C con un foco de 100 Watts. El peso de los frutos fue de entre 644-873 g. Mientras que los frutos de tratamiento testigos almacenados a 10°C tuvieron

pesos entre 319 a 600g. Después de 7, 14 y 21 días de de almacenamiento, posteriormente se trasladaron a condiciones de 23°C para complementar el proceso de maduración en todos los tratamientos evaluados.

El 1-MCP (SmartFresh con 14% de ingrediente activo) se aplico en dosis de 600 y 900 nL L<sup>-1</sup>. Las dosis se calcularon con base al volumen del recipiente. La aplicación se realizó en contenedores herméticos de 1/8 m<sup>3</sup> a 20°C por 8 h (Figura 16). El polvo fue disuelto en agua tibia a 40 °C. Para 600 nL L<sup>-1</sup> se pesaron 0.120 g y se agregaron 2 mL de agua, mientras que para 900 nL L<sup>-1</sup> se pesó 0.180 g y se agregó 3 mL de agua. Después de 8 h de tratamiento, los frutos se colocaron y almacenaron en cajas de plástico por los diferentes periodos tiempo.



**Figura 16.** Diseño de los contenedores herméticos en la aplicación de 600 y 900 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP después de 24 horas de cosecha el zapote mamey.

El Metil Jasmonato se aplica a una concentración de 10<sup>-3</sup> M por 8 h a 20°C. El etileno se aplicó en una dosis de 1000 mg L<sup>-1</sup> por 10 min a 20°C con Maduthrel 240 LS<sup>®</sup>.



**Figura 17.** Aplicación de los choques de CO<sub>2</sub> a las campanas diseñadas previamente y con volumen conocido.

Para la aplicación de choques de CO<sub>2</sub> se conectaron directamente al tanque de 100% CO<sub>2</sub> cada campana por 10 segundos (Figura 17) y se abrió cada campana por 10 segundos para dejarlos en la concentración final. Para estos tratamientos se destinaron 40 frutos, 10 para cada campana.

#### 4.4 Variables

##### 4.4.1 Intensidad respiratoria y producción de etileno

La velocidad de respiración y producción de etileno se midió de acuerdo con el método estático (Saltveit y Sharaf, 1992), utilizando un cromatógrafo de gases (Hewlett Packard 5890 Serie II) equipado con un detector de conductividad térmica (TCD) y un detector de ionización de flama (FID).



**Figura 18.** Procedimiento utilizado para la determinación la producción de CO<sub>2</sub> y etileno.

La determinación se realizó diariamente con tres repeticiones por tratamiento (dos frutos colocados en recipientes con volumen (3000 mL) y peso de los frutos conocidos (Figura 18), cerrados herméticamente durante 1 h). Se tomo una muestra de 1 mL con una jeringa para insulina con aguja Ultra-Fine II 30G x 13mm. Para los patrones de etileno (20  $\mu\text{L L}^{-1}$  balance Nitrógeno) y bióxido de carbono (100% CO<sub>2</sub>) se utilizó el mismo tamaño de jeringa. Los resultados de intensidad respiratoria se reportaron como mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> y producción de etileno en  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .

##### 4.4.2 Firmeza, Color y SST

La firmeza, color y contenido de sólidos solubles de la pulpa se determinó en tres frutos por tratamiento, por periodo de almacenamiento y variable evaluada; de cada fruto se obtuvieron tres lecturas (punta, parte media y basal), con previa eliminación de 1 cm de exocarpio a lo largo del fruto. La firmeza se evaluó por penetrometría utilizando un Texturómetro Universal, Force-five modelo FDV-30 y punta de penetración cónica de 8 mm de diámetro, los datos se reportaron en Newtons (N). Esta variable se evaluó en la estrada del

almacenamiento (EA), salida del almacenamiento (SA) y en la madurez comestible (MC). El color se midió con un Colorímetro Hunter L (Donde 0= negro y 100= blanco) a b D25-PC 2 en escala CIE L\*a\*b\* y calculando con los datos el ángulo de matiz ( $^{\circ}\text{Hue} = \arctan b^* / a^*$ , donde 0= rojo y 90= amarillo) y el índice de saturación [Croma =  $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$  0 = gris incrementando hasta la pureza de  $^{\circ}\text{Hue}$ ]. Las mediciones se realizaron en la EA, SA y en la MC). Los sólidos solubles totales (SST) se determinaron de acuerdo a la metodología descrita por la A.O.A.C. (1990), utilizando un refractómetro digital modelo PR-100 (escala 0-32); los resultados se expresaron como % SST. Las mediciones se hicieron en la EA, SA y MC.

#### **4.4.3 Pérdida de peso**

Para esta variable se utilizó un lote de 10 frutos por cada tratamiento, pesados individualmente al inicio (con una balanza digital modelo EX2200 ALSEP), en SA y MC. Las pérdidas de peso acumuladas se midieron en porcentaje (%) respecto al peso inicial de los frutos, en cada periodo de evaluación de acuerdo a la siguiente fórmula:  $\%PP = (P_i - P_f / P_i) \times 100$ , Donde: %PP= Porcentaje de pérdida de peso,  $P_i$ = Peso inicial y  $P_f$ = Peso final. Para el patrón de maduración esta variable se determinó todos los días hasta que el fruto alcanzó la madurez de consumo.

#### **4.4.4 Daños por frío**

Para evaluar los daños por frío se estableció la siguiente escala; 1= manchado en pulpa, 2= aéreas acuosas, 3= maduración irregular 4= lignificación de tejido, para determinar el Índice de Daños por Frío (IDF) con la siguiente ecuación:  $IDF = ((n_1 + n_2 + n_3 + n_4) / N) \times 100$ , donde n: número de frutos dañados y N: numero de frutos por grupo o tratamiento. Los datos se reportaron en % con el grado de severidad del daño. Además se propuso la utilización de las cartas de color The Royal Horticultural Society para su relación con los DF. Esto consistió en provocar los daños por frío al fruto y elaborar una escala del comportamiento del color durante el desarrollo de los síntomas, para después compararla con los tratamientos.

#### **4.5 Diseño Experimental y Análisis estadístico**

Se aplicó un diseño estadístico completamente al azar, considerando para velocidad de respiración y producción de etileno dos frutos como unidad experimental y tres repeticiones, calculando con los datos obtenidos la media y desviación estándar. Para las demás variables se consideró como unidad experimental un fruto con tres repeticiones y el análisis de datos se realizó por medio del paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) aplicando la técnica análisis de varianza y comparación de medias por Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Patrón de maduración:

Los frutos de mamey sin ningún tratamiento (testigo) maduraron entre 9.5 d después de cosecha (Figura 19), cuando fueron expuestos a 23°C.



Figura 19. Maduración de frutos de zapote mamey a 23°C.

**Producción de CO<sub>2</sub> y etileno:** Los frutos de mamey madurados a 23°C mostraron el pico climatérico de etileno y CO<sub>2</sub> a los 6 días después de cosecha (Figura 20). Los valores CO<sub>2</sub> incrementaron de 26,45 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> en el preclimatérico a 156,40 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> en la etapa climatérica, los valores de etileno incrementaron de 15,84 μL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> en el preclimatérico a 222.69 μL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> en el máximo climatérico.

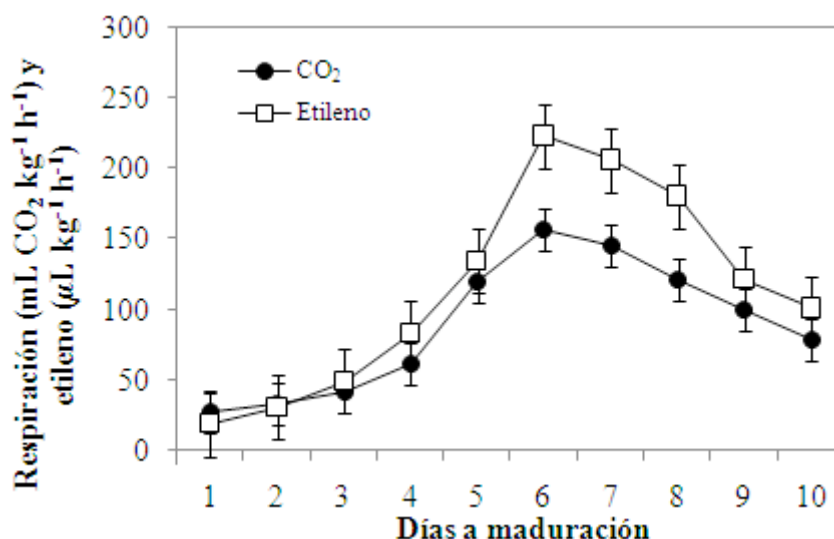


Figura 20. Producción de CO<sub>2</sub> y etileno en frutos de zapote mamey destinados para el patrón de maduración, madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.

**Firmeza:** La maduración de los frutos testigo fue asociada con una reducción en firmeza de cerca de 38.76 N inicial a 0.84 N en los frutos maduros (Cuadro 2). Fue en la punta del fruto donde resulto el promedio de firmeza más alto al inicio (41.48 N), mientras que el promedio



más bajo se mostró en la base de los frutos. Al madurar los frutos la firmeza de la punta fue más alta. Smith *et al.*, (2003) mostró que la disminución de la firmeza se debía a un incremento en las hidrolasas de la pared celular, como la poligalacturonasa (PG). Arellano *et al.*, (2005) mostraron que el etileno estaba involucrado en el proceso de ablandamiento el frutos de zapote negro, además encontraron una correlación positiva entre la actividad de PME y la producción de etileno, sugiriendo que esta enzima es activada por dicha hormona. Awad y Young, (1979), reportaron que la disminución de la firmeza se acompañaba por incremento en la PME actuando para desesterificar las pectinas para luego ser hidrolizadas por PG, enzima que incrementa su actividad inmediatamente después que ocurre la respiración climatérica en zapote negro (Arellano *et al.*, 2005), y son Arenas *et al.*, (2003), quienes determinan que en zapote mamey la mayor disminución de la firmeza ocurre entre el climatérico y postclimatérico, afirmado además por Alia *et al.*, (2005). Es probable entonces que la disminución de la firmeza se deba al incremento de PG y PME en la etapa comprendida entre la respiración climatérica y el postclimatérico de zapote mamey.

**Cuadro 2.** Promedios de firmeza, pérdida de peso, sólidos solubles totales y color de frutos de mamey madurados a 23°C. Madurez comestible (MC).

	Firmeza		Pérdida de peso		SST	Luminosidad	Indice de Saturación	Angulo de Matiz
	Inicial	MC	(%)		(%)	(L)	(Croma)	(°Hue)
Base	33,98 ±8.75	0,67 ±0.30	Diaría	1.10	12.5 ±0,52	51.4 ±8.60	43.2 ±1.54	33.9 ±7.15
Medio	40,81 ±0.33	0,61 ±0.25	Total	9.94	30.2 ±1,65	31.9 ±2.47	40.1 ±1.13	42.2 ±4.08
Punta	41,48 ±9.97	1,22 ±0.61						

**Sólidos solubles totales:** Inmediatamente después de la cosecha los frutos de zapote mamey mostraron en promedio 12,51% de SST y incrementaron a 30.16% en los frutos maduros (Cuadro 3). Casas, (1977), mostraron que el incremento de SST en zapote mamey se debía a la conversión de almidón a azúcar, ya que el almidón disminuía de 14 a 5% mientras que los azúcares totales incrementaban de 6 a 16%. Biale, (1960) menciona que el incremento de los SST durante la maduración de zapote (*Manilkara zapota* L.) se debía al incremento de la actividad de las enzimas encargadas de la hidrólisis de almidón a azúcares solubles durante la maduración, lo que también fue observado en papaya (Hofman *et al.*, 2001). Lo que sugiere el papel que juega la hidrólisis del almidón durante la maduración de mamey.

**Color:** Los frutos de mamey disminuyeron la luminosidad de 51.43 a 43.24 durante la maduración. El índice croma incrementó de un valor 33.9 inicial a 35.6 en frutos maduros y el de tono (Hue) mostró un valor promedio inicial de 40.6 y 42.39 en madurez de consumo

(Cuadro 3). El color mostrado de acuerdo a las cartas de color RHS (The Royal Horticultural Society) fueron 170A y 170B; y UCL (The Universal Color Language) con número y nombre 53 (Naranja Moderado) en madurez fisiológica y RHS 170A en madurez comercial y UCL de 50 (Naranja Fuerte). Casas (1977), reporta que el color típico naranja y rojo de la pulpa está relacionado con un incremento en el contenido de carotenoides, principalmente  $\beta$ -caroteno con 94%, resultados que fueron confirmados por Alia *et al.*, (2002).

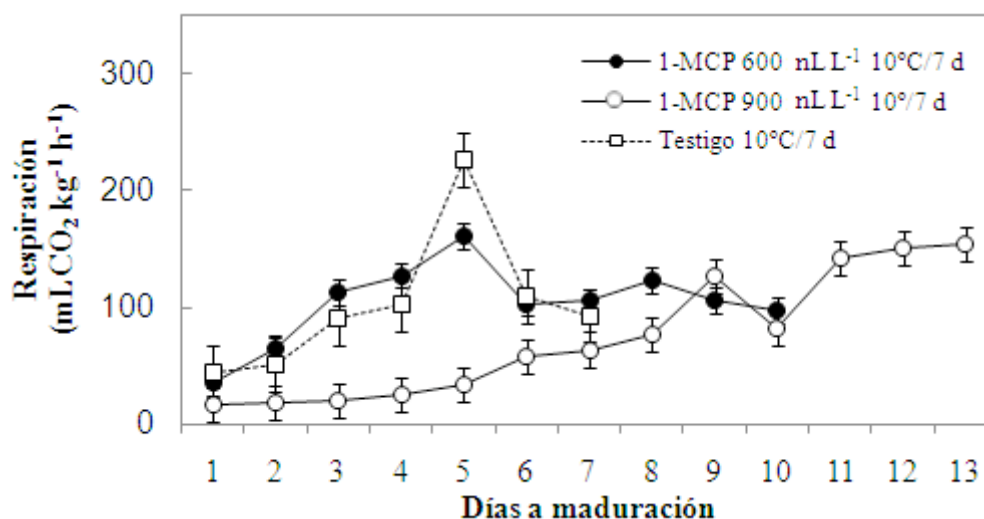
**Pérdida de peso:** La pérdida de peso durante la maduración de los frutos, alcanzó en promedio 9.94% (1.10 por d) después de 10 días a las condiciones de maduración 23°C. Arce *et al.*, (2000) reportan 10-14.6 % pérdida total a la madurez de consumo. Díaz *et al.*, (2000) registran que hay una pérdida de 10.8 % total a la maduración, con 1.8% de pérdida diaria en frutos madurados a 25°C, considerando que a medida que aumenta la temperatura de almacenamiento la pérdida de peso es mayor. Díaz *et al.*, (2000) atribuyeron que este comportamiento se debía a las diferencias en la presión de vapor alrededor del fruto y a que la rapidez de maduración del fruto a altas temperaturas ocurría paralelamente a la pérdida acelerada de agua. Las pérdidas de peso mostradas en mamey se debió probablemente a tiempo y temperatura para madurar (23°C), lo cual provoca una mayor evaporación de agua de las células del fruto. Estas pérdidas en mamey representan una desventaja para la rentabilidad del cultivo, de manejares durante el transporte y/o almacenamiento temperaturas arriba de 12°C implicaría pérdida de 99.4 ton de cada 1000 ton de cosecha hasta la comercialización.

## 5.2 Efectos del 1-MCP en zapote mamey

**Maduración:** Después de 7 d de almacenamiento a 10°C, los frutos con 600 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP maduraron a los 10 d de trasladarlos a 23°C. Mientras que los que recibieron 900 nL L<sup>-1</sup> lo hicieron en 13 d a la misma temperatura de maduración, el testigo maduro a los 7d. Ergun *et al.*, (2005), reportaron en mamey ‘Magaña’ sin almacenamiento maduró en 14 d a 20°C con una dosis de 1  $\mu$ L L<sup>-1</sup> de 1-MCP que solo retraso la maduración 1 d comparado con el testigo (que maduro a los 13 d). Los frutos almacenados por 14d a 10°C, y con 600 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP maduraron a los 9d de ser puesto a 23°C, y los de 900 nL L<sup>-1</sup> lo hicieron en 11 d y el testigo maduro a los 6 d. Finalmente, los frutos almacenados por 21 d a 10°C con 600 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP maduraron a los 8 d de ser colocados a 23°C, e incluso el 93% no maduraron adecuadamente, mientras que los de 900 nL L<sup>-1</sup> lo hicieron a los 10 d, y también el 87%

presentaron maduración irregular, el testigo maduro a los 4 d y el 47% de los frutos presentaron maduración irregular. En los tres periodos de almacenamiento el 1-MCP atrasó la maduración respecto al testigo, mismo efecto que fue observado en banana (Zhang *et al.*, 2006), persimonia (Salvador *et al.*, 2006a), mango (Penchaiya *et al.*, 2006), entre otros. Feng *et al.*, (2000), mostraron que el 1-MCP retrasa la maduración debido a la supresión en la acción de etileno y la falta de activación de las enzimas hidrolíticas como la PG, celulasas y ME (Jeong *et al.*, 2002).

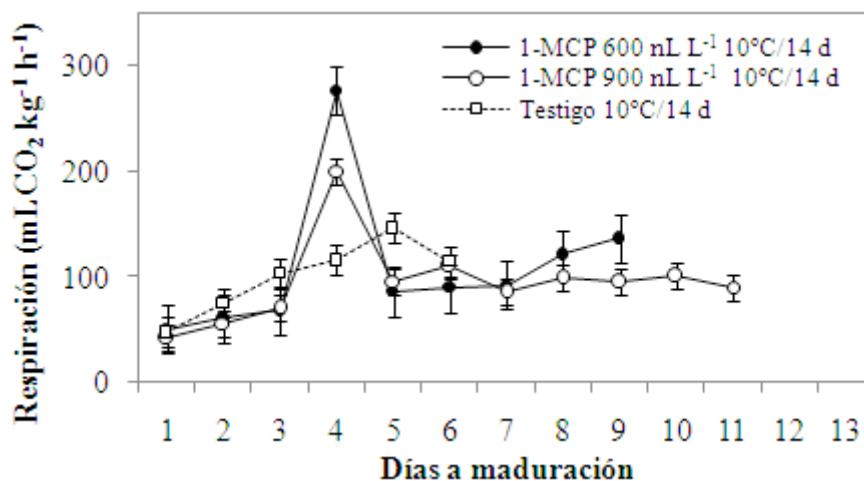
**Producción de CO<sub>2</sub>:** la producción de CO<sub>2</sub> los frutos con 600 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP y almacenados por 7 d a 10°C y madurados a 23°C, presentado el máximo de climatérico de CO<sub>2</sub> a los 5 d, con valor de 160.32 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, es decir 65.5 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> menor al testigo, presentado el mismo día que el testigo en las mismas condiciones (Figura 21).



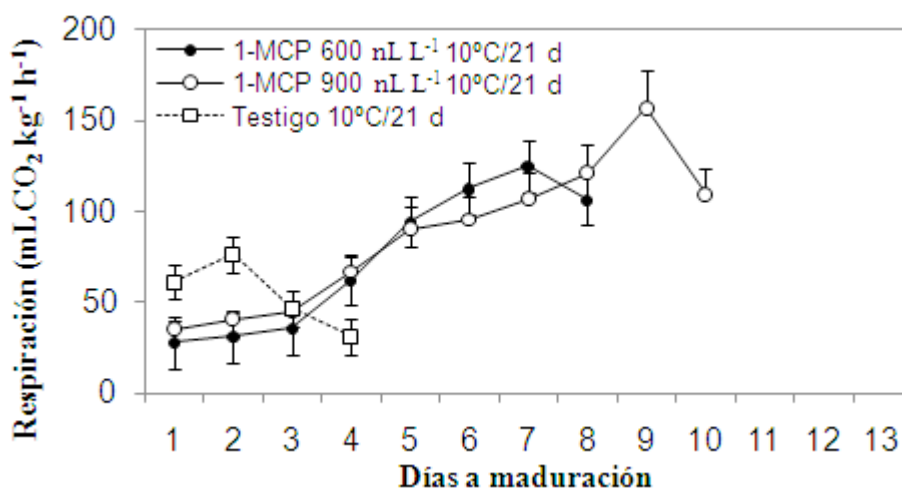
**Figura 21.** Producción de CO<sub>2</sub> en frutos de zapote mamey tratados con 1-MCP por 8h previos al almacenamiento por 7d a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.

El tratamiento con 900 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP almacenado por 7d presentó el pico climatérico de CO<sub>2</sub> a los 9d de colocarse a 23°C, con valor de 141.94 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, es decir 83.88 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> menor que el testigo y presentado 5 d después del testigo. La dosis de 900 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP inhibió significativamente la producción de CO<sub>2</sub> por un tiempo de 9 d, mientras que la dosis de 600, solo lo hizo durante el pico climatérico. Ergun *et al.*, (2005) reportaron que la aplicación en mamey de 1 μL L<sup>-1</sup> de 1-MCP por 24 h y madurado a 20 °C mostró un efecto retardante en la aparición del climaterio de CO<sub>2</sub> con valores entre 90 a 137 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> presentado a

los 6 días después del testigo. Probablemente la dosis de 900 nL L<sup>-1</sup> bloquea más eficientemente la acción de etileno y por más tiempo, sin embargo, podría traer efectos sobre firmeza, color y otros atributos de la calidad.



**Figura 22.** Producción de CO<sub>2</sub> en frutos de zapote mamey tratados con 1-MCP por 8h previos al almacenamiento por 14d a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.

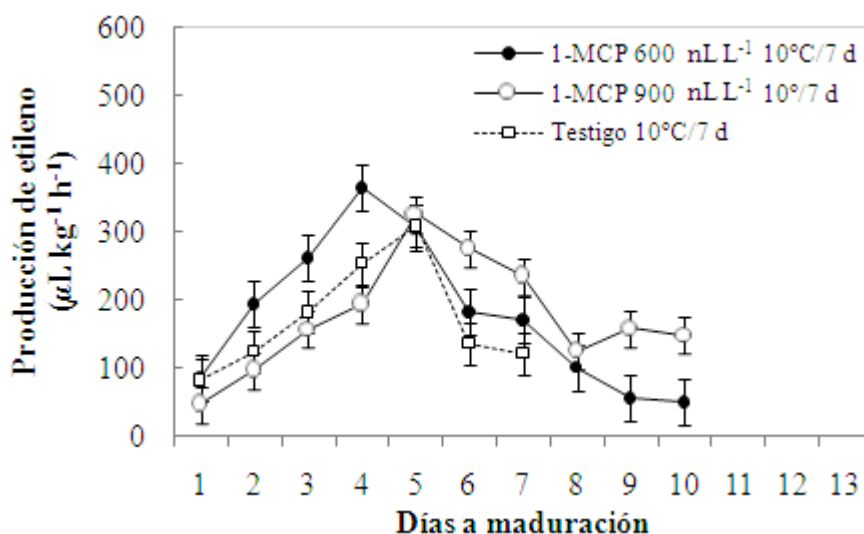


**Figura 23.** Producción de CO<sub>2</sub> en frutos de zapote mamey tratados con 1-MCP por 8h previos al almacenamiento por 21d a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.

Después de 14d de almacenamiento a 10°C los frutos que recibieron 600 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP presentaron el pico climatérico 1 d antes que el testigo, con valor de 276.33 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, y los de 900 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP también presentó el pico climatérico 1 d antes que el testigo, con un valor de 200.47 mL de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, presentando diferencias significativas solo durante la etapa climatérica (Figura 22), presentaron valores mayores al testigo de 130.04 y 54.18 mL de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para 600 y 900 nL L<sup>-1</sup> respectivamente.

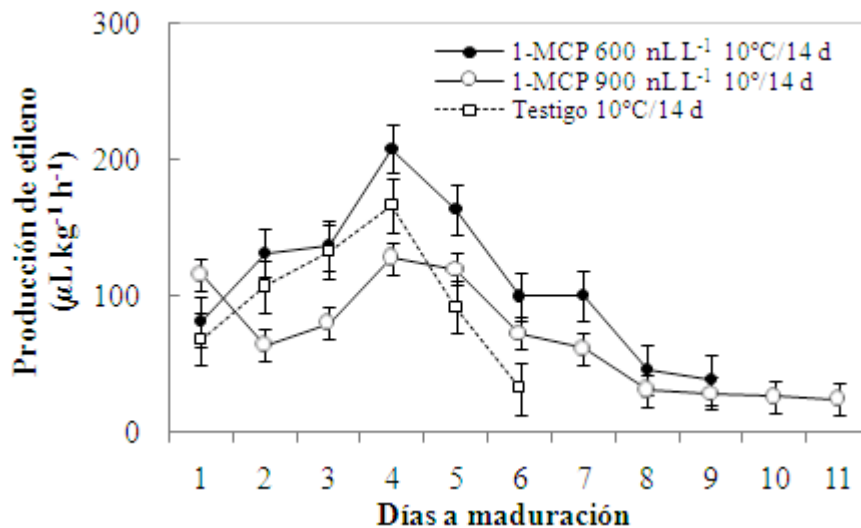
Después de 21d de almacenamiento a 10°C, los frutos con 600 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP presentaron el máximo climatérico 5 d después que el testigo, con 124.72 mL de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Los frutos con 900 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP presentaron el pico climatérico a los 7 d después que el testigo, con un valor 157.01 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (Figura 23). Ambas dosis superaron al testigo con 30.58 y 80.87 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para 600 y 900 nL L<sup>-1</sup> respectivamente, y ambos tratamientos mostraron diferencias significativas casi en la mayoría de las mediciones.

**Producción de etileno:** Después de 7d de almacenamiento a 10°C, el tratamiento con 600 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP presento el máximo climatérico de etileno 1d antes que el testigo, con valor de 364,54 μL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, mientras que con 900 nL L<sup>-1</sup> lo presentaron el mismo días que el testigo, con valor de 326,48 μL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Ambos tratamientos superaron al testigo en 55.91 con 600 nL L<sup>-1</sup> y 17.85 μL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> con 900 nL L<sup>-1</sup> y solo la dosis de 600 nL L<sup>-1</sup> incrementó la producción de etileno significativamente respecto al control, pero 900 nL L<sup>-1</sup> mostró una tendencia a incrementar la producción de etileno hacia el final de la maduración (Figura 24).



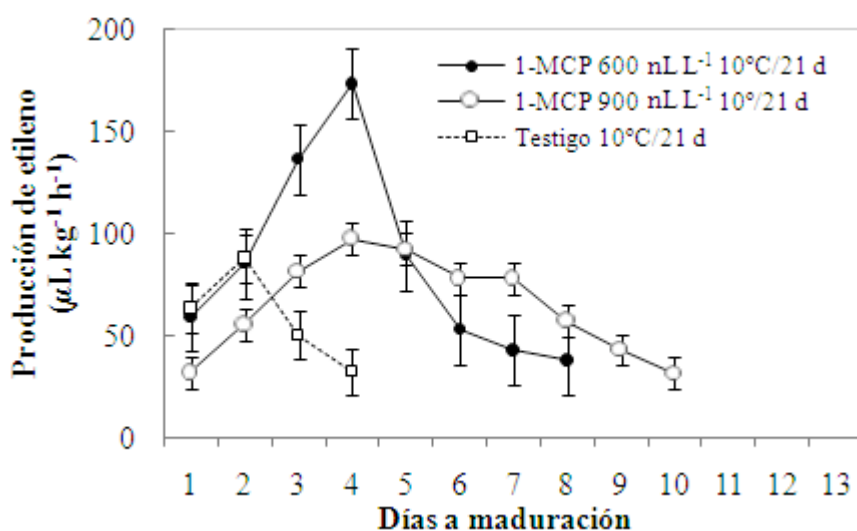
**Figura 24.** Producción de etileno en frutos de zapote mamey tratados con 1-MCP por 8 h previos al almacenamiento de 7d a 10°C y maduración a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.

Después de 14 d de almacenamiento a 10 °C, 600 y 900 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP, los frutos mostraron el pico climatérico el mismo días que el testigo, con valores de 208.52 μL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y 128.13 μL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (Figura 25). El tratamiento de 600 nL L<sup>-1</sup> incrementó significativamente la producción de etileno respecto al testigo durante el climatérico y la etapa postclimatérico, mientras que la dosis de 900 nL L<sup>-1</sup> disminuyó significativamente la producción de etileno durante la maduración de los frutos.



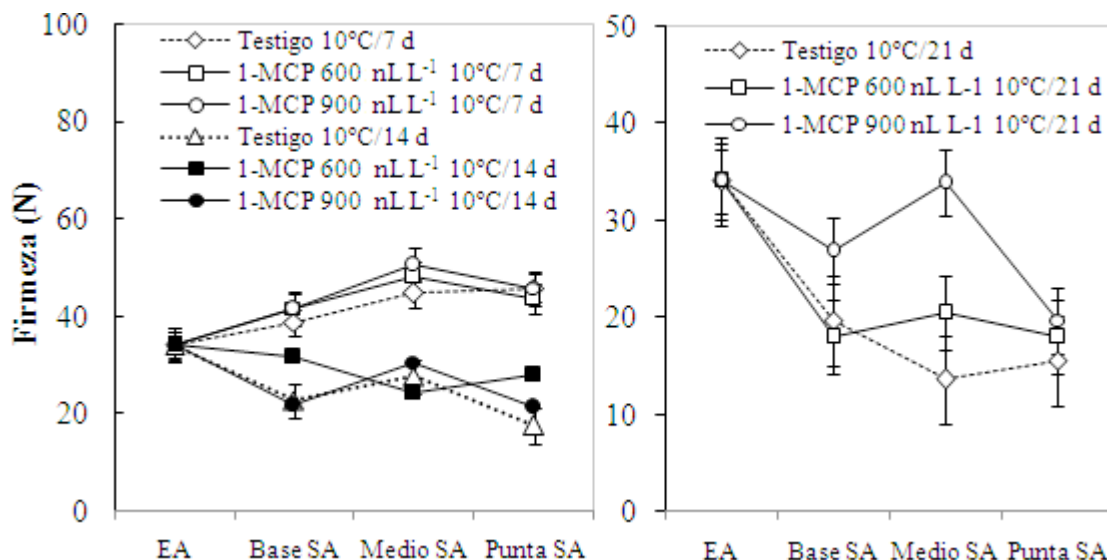
**Figura 25.** Producción de etileno en frutos de zapote mamey tratados con 1-MCP por 8 h previos al almacenamiento de 14d a 10°C y maduración a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones  $\pm$  error estándar.

Después de 21 d de almacenamiento a 10°C los frutos de los tratamientos de 1-MCP presentaron los máximos de etileno 2 d después que el testigo con valores de  $173,01 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  con  $600 \text{ nL L}^{-1}$  y  $97,21 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  con  $900 \text{ nL L}^{-1}$  (Figura 26), ambos tratamientos mostraron valores superiores al testigo en  $86,01$  con  $600 \text{ nL L}^{-1}$  y  $10,21$  con  $900 \text{ nL L}^{-1}$ , pero solo con  $600 \text{ nL L}^{-1}$  mostró incrementos significativos en la producción de etileno durante el climatérico. Ergun *et al.*, (2005), mostró que  $1 \mu\text{L L}^{-1}$  de 1-MCP por 24 horas en mamey ‘Magaña’ madurado a 20°C y 83 a 90% retrasó el pico climaterio de etileno en 5d comparado con el testigo, con valores entre 116 a  $209 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ .



**Figura 26.** Producción de etileno en frutos de zapote mamey tratados con 1-MCP por 8 h previos al almacenamiento de 21d a 10°C y maduración a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones  $\pm$  error estándar.

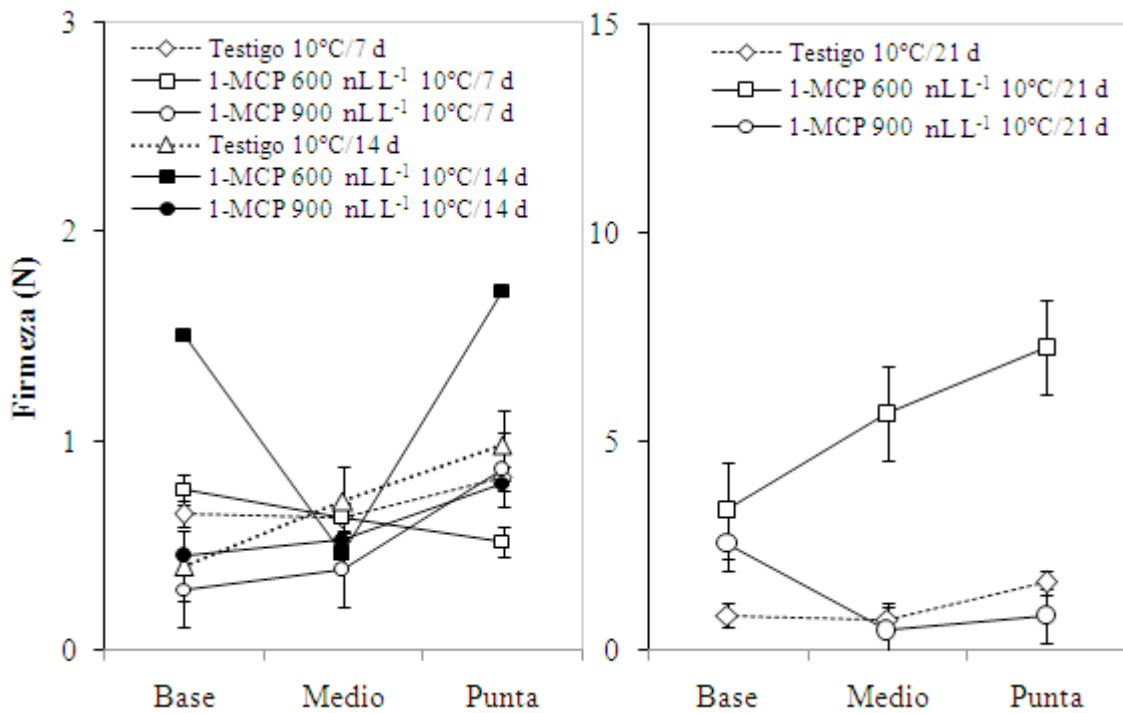
**Firmeza:** La firmeza en la entrada del almacenamiento fue de 33,98 N. En la salida del almacenamiento después de 7d mostró un incremento sin diferencias estadística con 600 y 900 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP en la base, parte media y punta de la pulpa de los frutos (Figura 27).



**Figura 27.** Firmeza (Newtons) en la entrada al almacenamiento (EA) y salida del almacenamiento (SA) en frutos previamente tratados con 1-MCP por 8 h previos almacenamiento por 7, 14 y 21d a 10°C. Cada punto representa la media de tres observaciones  $\pm$  error estándar.

Después de 14 d de almacenamiento la firmeza del fruto disminuyó sin presentar diferencias mínimas significativas para ambas dosis de 1-MCP. Finalmente, después de 21d en la salida de almacenamiento mostró una tendencia a disminuir tanto en el testigo y en la dosis de 600 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP en las tres partes de la pulpa del fruto, sin embargo en la dosis de 900 nL L<sup>-1</sup> se mostró diferencias significativas en la pulpa de la parte media del fruto, lo que probablemente debido al enfriamiento o bien a que desde ese momento la presencia de daños por frío se hacía evidente con la presencia de aéreas endurecidas por la presencia de células lignificadas.

De la salida del almacenamiento a la maduración de los frutos la firmeza de la pulpa en las tres partes del fruto disminuyó, pero no se mostraron diferencias significativas cuando los frutos se almacenaron por 7 y 14d tanto para 600 y 900 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP. Sin embargo, después de 21d de almacenamiento y en la maduración de los frutos con 600 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP la firmeza incremento significativamente, principalmente en la parte media y punto de la pulpa de los frutos, no obstante la firmeza en los frutos con 900 nL L<sup>-1</sup> no mostró diferencias significativas durante la maduración en el medio y punta de la pulpa del fruto, pero si mostró diferencias significativas en la base de la pulpa del fruto respecto al testigo (Figura 28).



**Figura 28.** Firmeza (Newtons) en la maduración de los frutos tratados 1-MCP por 8 h previos al almacenamiento por 7, 14 y 21 d a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.

Se sabe que el ablandamiento de los tejidos es un proceso característico de la maduración y senescencia de los frutos. Las paredes de las células de las frutas son ricas en pectinas, que durante la maduración se polimerizan y solubilizan lo que ocasiona la degradación de la pared celular. Feng *et al.*, (2000) y Smith *et al.*, (2003) mostraron que 1-MCP mantiene la firmeza temporalmente debido a la disminución de la actividad de las enzimas, celulasas, PG y PME, y en cambio en el metabolismo de carbohidratos. Qiuping *et al.*, (2006), encontraron correlación negativa entre la firmeza y la actividad de PG durante la maduración de zapote (*Manilkara zapota* L.) tratado con 1-MCP. Alia *et al.*, (2005) mostraron que las pectinas solubles en zapote mamey disminuyen cuando los frutos sufren daños por frío. En este trabajo se encontró una relación directa entre la firmeza y la presencia de daños por frío, pudiera deberse a que en los frutos con daños por frío, la actividad de las enzimas degradadoras de la paredes celulares presentan actividad baja, ya que estas son reguladas por el etileno, y inhibidas indirectamente por el 1-MCP.

**Sólidos Solubles Totales:** Los tratamientos de 1-MCP no afectaron el contenido de sólidos solubles totales, pero incrementaron de 12,51 en la EA a 31.10 en madurez comestible (Cuadro 3). Ergun *et al.*, (2005) mostraron que 1-MCP no afectó significativamente los SST



en mamey ‘Magaña’ mostrando un valor de 23.4% en la madurez fisiológica, y fue confirmado en zapote (*Manilkara zapota* L.) por Quiping *et al.*, (2006) quienes mostraron que el 1-MCP no afecta los sólidos solubles totales. Pudiera verse esperado que disminuyera los SST al inhibir la acción de etileno, ya que de forma indirecta se disminuye la degradación del almidón a azúcares solubles.

**Cuadro 3.** Efecto de 1-MCP en los sólidos solubles totales en la entrada al almacenamiento (EA), salida del almacenamiento (SA) y en madurez comestible (MC).

Tratamiento	Sólidos Solubles Totales (%)		
	EA	SA	MC
Testigo 10°C 7d 10°C	12.51	12.32a	30.12a
600 nL L <sup>-1</sup> 1-MCP 7d 10°C	12.51	12.22a	31.10a
900 nL L <sup>-1</sup> 1-MCP 7d 10°C	12.51	12.22a	30.01a
Testigo 10°C 14d 10°C	12.51	12.63a	28.73a
600 nL L <sup>-1</sup> 1-MCP 14d 10°C	12.51	12.52a	30.35a
900 nL L <sup>-1</sup> 1-MCP 14d 10°C	12.51	12.08a	27.27a
Testigo 10°C 21d 10°C	12.51	12.33a	27.74a
600 nL L <sup>-1</sup> 1-MCP 21d 10°C	12.51	12.57a	30.18a
900 nL L <sup>-1</sup> 1-MCP 21d 10°C	12.51	11.87a	29.94a
<b>DMS</b>		<b>1.87</b>	<b>3.91</b>

Medias con letras iguales no son significantes estadísticamente.

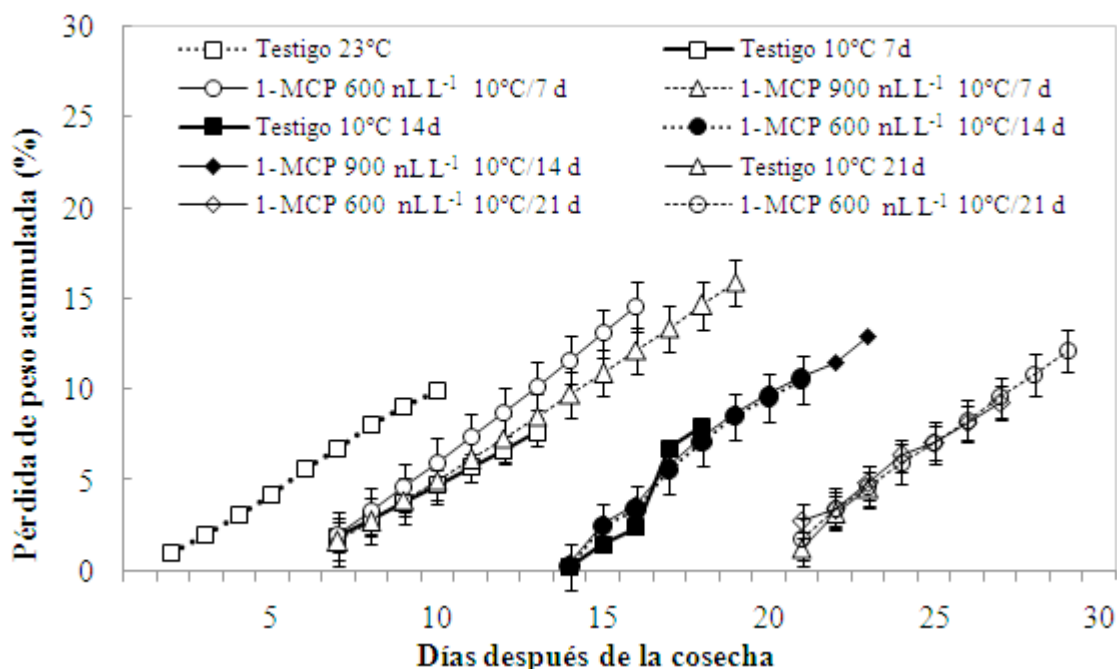
**Cuadro 4.** Efecto en la luminosidad, cromas y °Hue en frutos de zapote mamey tratados con 1-MCP, en la entrada al almacenamiento (EA), salida del almacenamiento (SA) y en madurez comestible (MC), tratados con 600 y 900 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP por 8 h previos a los periodos de almacenamiento.

Tratamiento	Luminosidad (L)			Índice de Saturación Cromas (C)			Angulo de Matiz °Hue (H)		
	EA	SA	MC	EA	SA	MC	EA	SA	MC
Testigo 10°C 7d 10°C	51.43	57.24a	39.09ab	33.90	30.07a	27.42a	40.69	48.85a	42.06a
600 nL L <sup>-1</sup> 1-MCP 7d 10°C	51.43	52.04a	37.77b	33.90	33.23a	33.04a	40.69	42.52a	33.19a
900 nL L <sup>-1</sup> 1-MCP 7d 10°C	51.43	53.14a	43.47ab	33.90	30.33a	29.27a	40.69	47.51a	40.17a
Testigo 10°C 14d 10°C	51.43	54.91a	47.22a	33.90	28.47a	30.31a	40.69	52.44a	45.04a
600 nL L <sup>-1</sup> 1-MCP 14d 10°C	51.43	49.36a	39.42ab	33.90	35.79a	32.86a	40.69	36.13a	33.91a
900 nL L <sup>-1</sup> 1-MCP 14d 10°C	51.43	59.49a	45.07ab	33.90	30.45a	28.75a	40.69	49.40a	44.69a
Testigo 10°C 21d 10°C	51.43	55.32a	48.33a	33.90	33.03a	30.90a	40.69	49.22a	46.15a
600 nL L <sup>-1</sup> 1-MCP 21d 10°C	51.43	52.71a	39.42ab	33.90	28.97a	29.10a	40.69	49.79a	38.48a
900 nL L <sup>-1</sup> 1-MCP 21d 10°C	51.43	60.02a	41.42ab	33.90	30.39a	28.37a	40.69	55.21a	41.35a
<b>DMS</b>		<b>17.01</b>	<b>9.43</b>		<b>8.60</b>	<b>9.58a</b>		<b>20.46</b>	<b>13.13</b>

Medias con letras iguales no son significantes estadísticamente.

**Color:** De acuerdo a los resultados del Cuadro 4, el 1-MCP no afectó el cambio de color durante la maduración de los frutos de mamey cuando se almacenaron a 10 °C por 7, 14 y 21d, pero la luminosidad disminuyó al madurar. El color en los frutos tratados con 1-MCP en la salida del almacenamiento después de 7 d a 10°C de acuerdo a la RHS y UCL fueron para la dosis de 600 nL L<sup>-1</sup>; naranja moderado, y para la dosis de 900 nL L<sup>-1</sup>; naranja moderado, naranja fuerte y Moderate Orangish Yellow, y al madurar, los colores fueron para la dosis de 600 nL L<sup>-1</sup>; Brownish Orange y naranja moderado, y para 900 nL L<sup>-1</sup>; naranja moderado. Después de 14d en la madurez fisiológica el color fue para la dosis de 600 nL L<sup>-1</sup>; Brownish

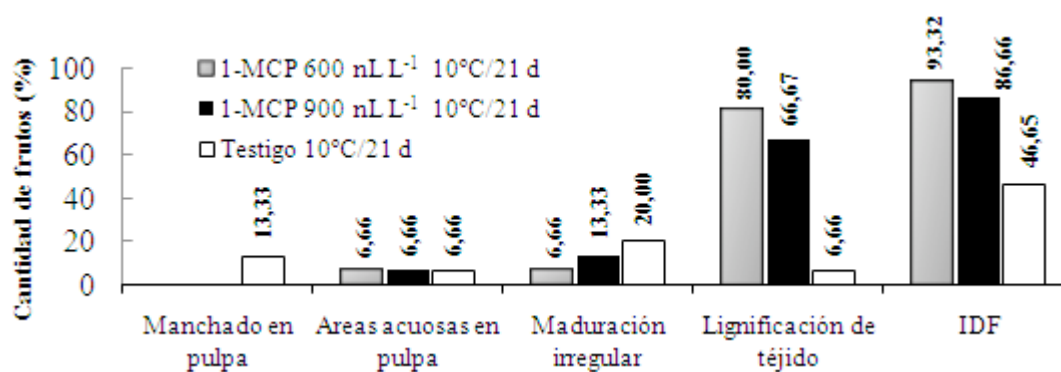
Orange, naranja moderado y para 900 nL L<sup>-1</sup>; naranja moderado, y en la madurez comestible para 600 nL L<sup>-1</sup> fueron; Strong Reddish Orange y naranja moderado, y para 900 nL L<sup>-1</sup>; naranja moderado. Después de 21d de almacenamiento en la madurez fisiológica para la dosis de 600 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP fue; Strong Orange y naranja moderado, y para 900 nL L<sup>-1</sup>; naranja moderado, y en la madurez comestibles los colores para la dosis de 600 nL L<sup>-1</sup> fueron; naranja fuerte, y para 900 nL L<sup>-1</sup>; naranja moderado.



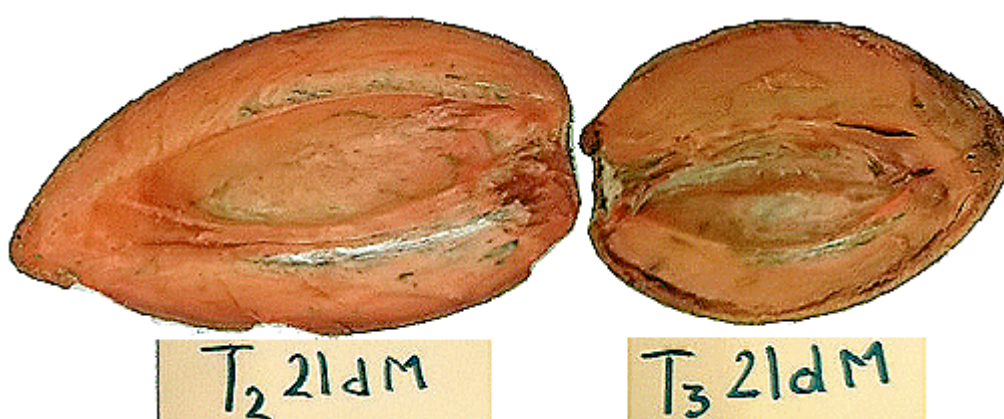
**Figura 29.** Pérdida de peso (%) hasta la salida del almacenamiento (SA) y madurez comestible (MC) en frutos de zapote mamey tratados con 1-MCP por 8h previos al almacenamiento más maduración a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones  $\pm$  error estándar. Las flechas indican la transferencia a temperatura ambiente.

**Pérdida de peso:** el tratamiento con 1-MCP incrementó significativamente el porcentaje de pérdida de peso en los tres periodos de almacenamiento respecto al testigo, especialmente durante la maduración (Figura 29). Esto pudo deberse probablemente a que los frutos tardaron más en madurar y por tanto las pérdidas de agua fue mayor, pero también al proceso fisiológico de respiración y a la humedad relativa de maduración de aproximadamente 85%, ya que la pérdida de peso es consecuencia de una disminución en el contenido de agua en los espacios celulares y que además puede potencializarse con la presencia de DF (Saltveit, 2002). García *et al.*, (2005) demostraron que los melones cataloupe madurados a 85% favorece la pérdida de peso, sobre todo cuando la temperatura es más baja, lo que finalmente sugiere que fue el efecto de la temperatura la que incrementó la pérdida de agua de los frutos de mamey.

**Daños por frío:** después de 7 y 14 d de almacenamiento a 10 °C los frutos que se les aplicó 600 y 900 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP no mostraron síntomas de daños por frío. Sin embargo, después de 21d de almacenamiento y durante la maduración los frutos mostraron síntomas de daños por frío. La dosis de 600 nL L<sup>-1</sup> fue la que mostro el IDF más alto, con valor de 93.32 % (14 frutos con daño por frío de un total de 15) y la de 900 nL L<sup>-1</sup> con un valor de IDF de 86.66 % (13 frutos con DF de un total de 15) (Figura 30).



**Figura 30.** Porcentaje de Índice de daños por frío presentados en frutos de mamey tratados con 1-MCP antes del almacenamiento a 10°C por 21d.



**Figura 31.** Síntomas de daños por frío durante 21 días a 10°C en los tratamientos 600 y 900 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP.

El mismo efecto de potencializar los daños por frío con 1-MCP fue observado en persimonia 'Rojo Brillante' (Salvador et al., 2006a) y en general en cítricos (Lafuente *et al.*, 2001; Dong *et al.*, 2002). Entre los síntomas que presentaron los frutos de zapote mamey fueron manchado y áreas acuosas en pulpa, maduración irregular, lignificación de tejido y desarrollo de color irregular que provocó que fallas en el ablandamiento de la pulpa y lignificación de haces vasculares (Figura 31).

Estos resultados mostrados a los 21d de almacenamiento pudieron ser indirectamente por la inhibición de la acción del etileno, sugiriendo que esta hormona juegue un rol importante en el desarrollo de daños por frío, ya que en este periodo la producción de etileno incrementó más en la dosis de 600 nL L<sup>-1</sup>, o como mencionaron Yang y Hoffman, (1984) las bajas temperaturas hacen que se sintetice una mayor cantidad de ACC, y con el estrés por frío aun mayor, compuesto que a temperatura ambiente es rápidamente convertido a etileno por la enzima ACC oxidasa, y como los receptores estaba ocupados y la maduración había sido alterada, al protegerse el fruto lignificando sus tejidos para evitar la muerte celular, el etileno probablemente no pudo lograr su respuesta en el fruto y como consecuencia el daño por frío. Saltviet, (2003), reportó que además del incremento en la producción de etileno, aumenta la producción de CO<sub>2</sub> como respuesta secundaria y previa a la manifestación de los daños por frío, efecto que también sucedió durante los 14 y 21d de almacenamiento en los frutos de mamey.

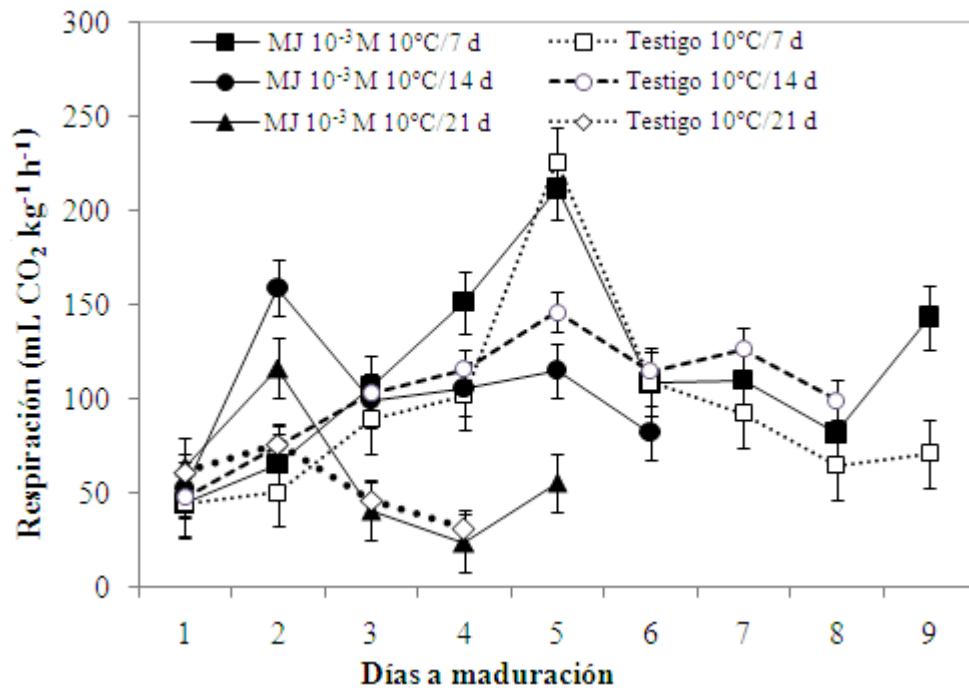
### **5.3 Efectos de Metil Jasmonato en zapote mamey**

**Maduración:** Los tratamientos con metil Jasmonato (MJ) después de 7 d a 10 °C maduraron en 8 días a 23°C atrasando un día la maduración en comparación al testigo con las mismas condiciones. Cuando fueron almacenados a 10°C por 14 d maduraron en 7d, atrasando un día la maduración en comparación al testigo con las mismas condiciones. Y, los que recibieron el almacenamiento de 21d a 10 °C maduraron en 4 d, adelantando un día la maduración en comparación al testigo con las mismas condiciones.

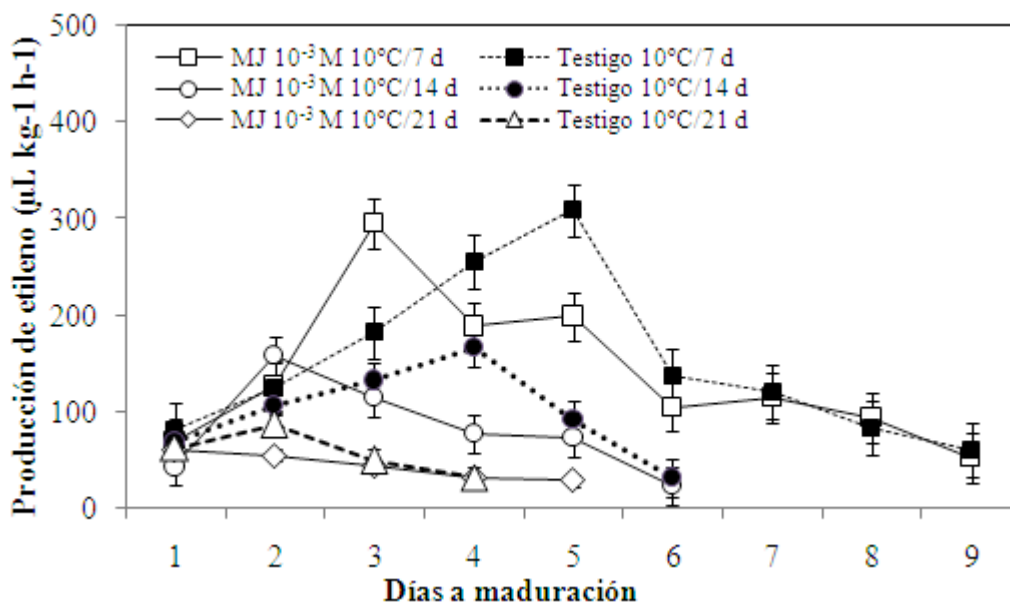
**Producción de CO<sub>2</sub>:** después de 7 d a 10°C los frutos con dosis de 10<sup>-3</sup>M MJ presentaron los máximos de CO<sub>2</sub> el mismo día que el testigo, al 5d de maduración a 23°C, con valores de 211,63 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> resultando 14.19 mL de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> menores que el testigo a las mismas condiciones sin diferencias significativa (Figura 32). González *et al.*, (2007) mostraron el mismo efecto en guayaba hawaiana roja' y hawaiana blanca con 10<sup>-4</sup> y 10<sup>-5</sup> M de MJ.

Después de 14 d a 10°C los frutos tratados con MJ adelantaron el máximo climatérico de CO<sub>2</sub> 3 d respecto al testigo con valor de 159,11 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, es decir 12.95 mL de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> mayor que el testigo en las mismas condiciones y sin diferencias significativas (Figura 31). Y, después de 21d de almacenamiento los frutos tratados con el MJ incrementaron significativamente la producción de CO<sub>2</sub> durante el climatérico en comparación al testigo, mostrándolo el mismo día que el testigo a los 2 d, con valor de 159,11 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, es decir

40.49 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> mayor al testigo (Figura 32). Investigaciones recientes han demostrado que tratamientos con MJ incrementa sus niveles de CO<sub>2</sub> (González *et al.*, 2001). González *et al.*, (2003) reportaron que 10<sup>-4</sup> M MJ en papaya induce la rápida acumulación de CO<sub>2</sub> durante los primeros días de almacenamiento, sin embargo, en este trabajo este efecto ocurrió después de 14d de almacenamiento.



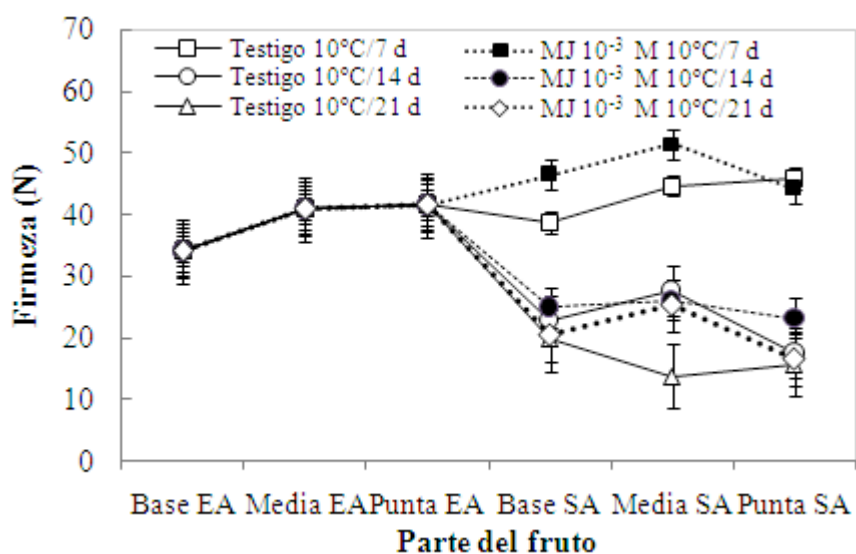
**Figura 32.** Producción de CO<sub>2</sub> en frutos de zapote mamey tratados con 10<sup>-3</sup> M de MJ previos al almacenamiento por 7, 14 y 21 días a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.



**Figura 33.** Producción de etileno de frutos de mamey tratados con 10<sup>-3</sup> M MJ por 8 h previos al almacenamiento por 7, 14 y 21d a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.

**Producción de etileno:** La aplicación de MJ después de 7 días de almacenamiento adelantó el pico climatérico de etileno en 2d respecto al testigo con un valor de  $295,54 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  sin presentar diferencias significativas (Figura 33).

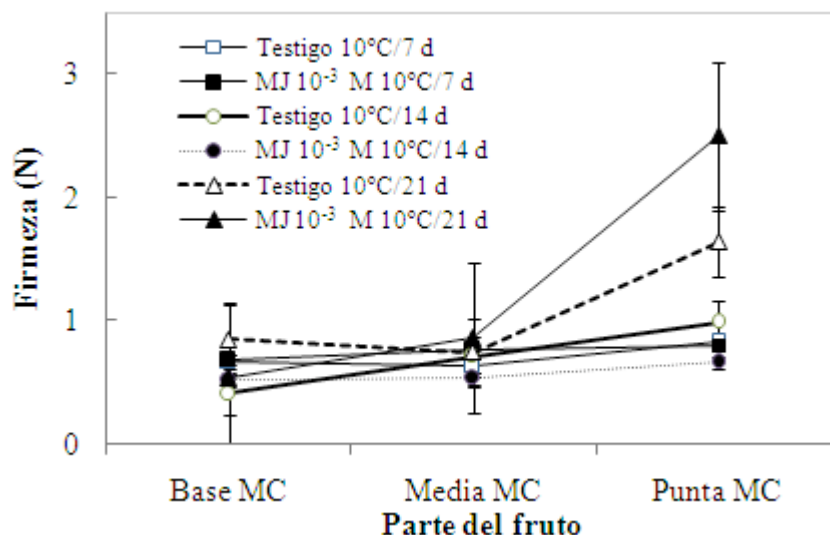
Después de 14d de almacenamiento, el MJ adelantó el climatérico de etileno 2d en relación al testigo con  $158,37 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  pero sin mostrar diferencias significativas. Finalmente, después de 21d a  $10^\circ\text{C}$  el tratamiento con MJ presentó el climaterio de etileno el mismo día de ser transferido a  $23^\circ\text{C}$ , 1d antes que el testigo, con valor de  $61,38 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ , sin presentar diferencias significativas, e incluso, fueron los que maduraron más rápido. En este trabajo el MJ no presentó diferencias significativas en la producción de etileno, pero si, adelantó los máximos climatéricos de esta hormona. Sugiriendo, que es posible que MJ estimula la acumulación de ACC durante el almacenamiento y como consecuencia el delante de los máximos de etileno una vez trasferidos a  $23^\circ\text{C}$ , además es posible que MJ da tolerancia a los DF, ya que mientras el testigo presentó daños por frio después de 21 d de almacenamiento, los frutos tratados con MJ maduraron adecuadamente y con una calidad aceptable.



**Figura 34.** Firmeza (Newtons) de la base, parte media y punta de la pulpa de frutos de mamey tratados con MJ en la entrada de almacén (EA) y salida del almacenamiento (SA) después de 7, 14 y 21 días de almacenamiento a  $10^\circ\text{C}$ . Cada punto representa la media de tres observaciones  $\pm$  error estándar.

**Firmeza:** Después de 7d de almacenamiento los frutos tratados con MJ incrementaron significativamente la firmeza en la base y parte media de la pulpa del fruto pero permaneció sin cambio la firmeza de la pulpa en la punta de los frutos (Figura 34). Los frutos que se almacenaron por 14 Y 21d a  $10^\circ\text{C}$  disminuyeron la firmeza significativamente en la SA

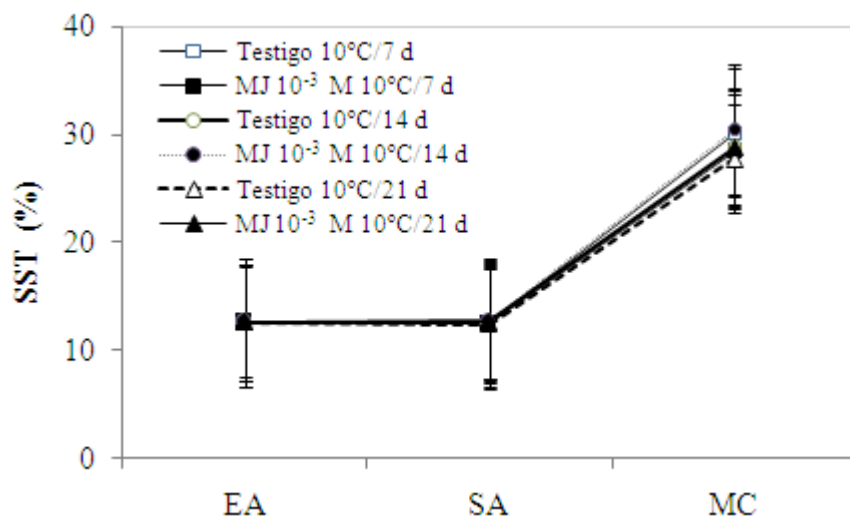
respecto a la EA. Los frutos con 21 de almacenamiento incrementaron significativamente la firmeza de la pulpa den fruto en la parte media respecto a los frutos testigo en la salida del almacenamiento.



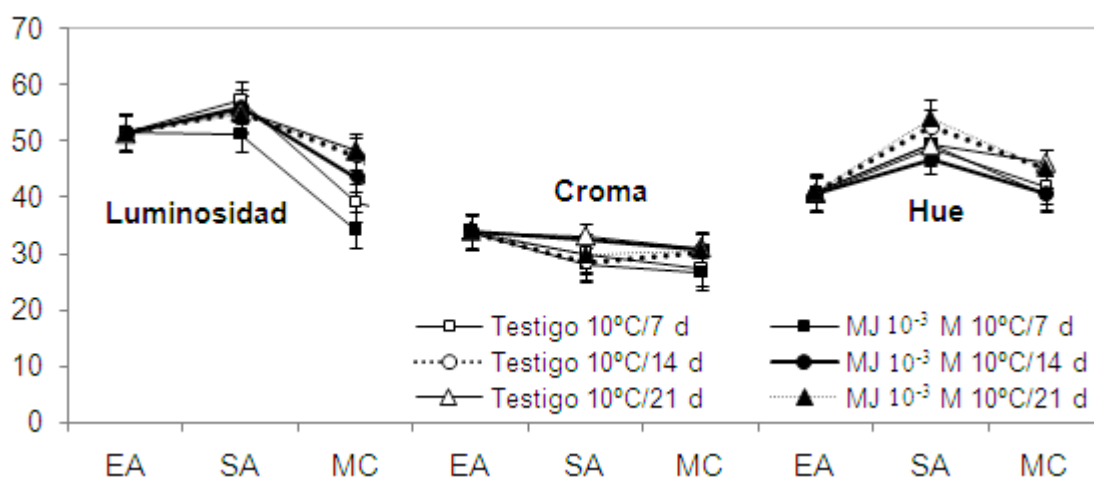
**Figura 35.** Firmeza (Newtons) de la base, parte media y distal de la pulpa de los frutos de mamey tratados con MJ en la maduración comercial después de 7, 14 y 21d de almacenamiento a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones  $\pm$  error estándar.

La firmeza disminuyó de la salida del almacenamiento a la madurez comestible en los tres periodos de almacenamiento, debido a los cambios característicos de la maduración, pero no mostró diferencias significativas en la maduración en ningún periodo de almacenamiento respecto a los frutos testigo, pero los frutos incrementaron levemente la firmeza durante la maduración del periodo de 21d de almacén (Figura 35). Estos resultados se debieron a que los frutos tratados con MJ maduraron con una calidad aceptable en los tres periodos de almacenamiento.

**Sólidos solubles totales:** Los sólidos solubles totales no se afectaron de la entrada del almacenamiento a la salida de este, sin embargo se incrementaron durante la maduración comestible, pero sin presentar diferencias significativas en los tres periodos de almacenamiento (Figura 36), resultados que concuerdan con los reportados por González *et al.*, (2007), en dosis de  $10^{-4}$  y  $10^{-5}$  M de MJ en guayaba. Pero contrastan con los encontrados en mango y manzanas (Fan *et al.*, 1998; González *et al.*, 2001).



**Figura 36.** Sólidos solubles totales en los frutos de mamey tratados con MJ en la entrada del almacenamiento (EA), salida del almacenamiento (SA) y durante la maduración comestible (MC). Cada punto representa la media de tres observaciones  $\pm$  error estándar.



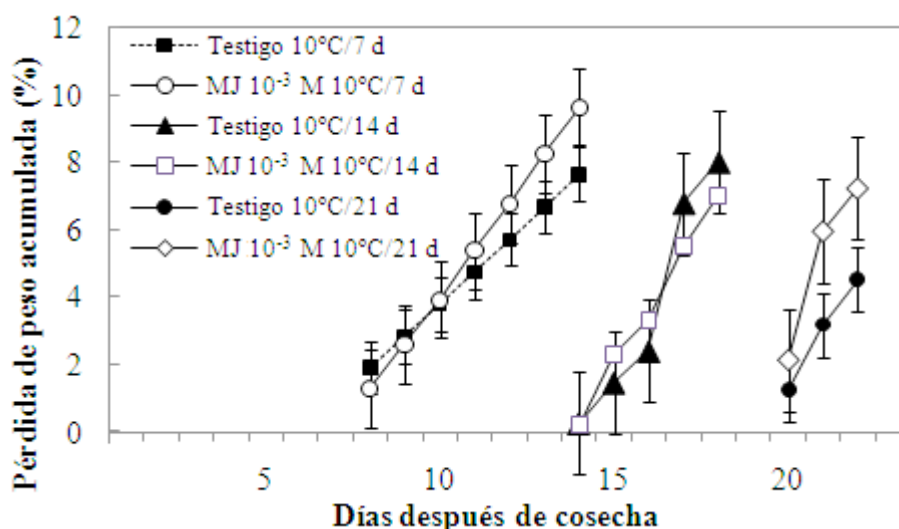
**Figura 37.** Efecto del MJ en Luminosidad, Croma y Hue en la entrada del almacenamiento (EA), salida del almacenamiento (SA) y madures comestible (MC) de frutos de zapote mamey almacenados por 7, 14 y 21d a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones  $\pm$  error estándar.

**Color:** La dosis de MJ en los frutos de mamey no mostro diferencias significativas en los valores de luminosidad, croma y °Hue en los tres periodos de almacenamiento durante la entrada al almacenamiento (EA), salida del almacenamiento (SA) y maduración comestible en comparación al testigo (Figura 37). El efecto del MJ sobre el color en frutos es incierto, puede disminuir o incrementar el color en frutos (Fan *et al.*, 1998; González *et al.*, 2007). Los colores mostrados en los frutos tratados con MJ en la salida del almacenamiento después de 7d a 10°C de acuerdo a la RHS y UCL fueron; naranja moderado, y al madurar; naranja



moderado. Después de 14d a 10°C el color fue; naranja moderado, y la madurar; Strong Reddish Orange y naranja moderado. Y, después de 21 días a 10°C el color mostrado al aplicar  $10^{-3}$  M de MJ fue; naranja fuerte y naranja moderado.

**Pérdida de peso:** de acuerdo a la figura 38 los frutos tratados con  $10^{-3}$  de MJ no presentaron diferencias significativas en la pérdida de peso en los tres periodos de almacenamiento (a 7, 14 y 21d a 10°C con valores de 10.82, 11.15 y 12.36% respectivamente). Probablemente se debió a la rápida maduración que presentaron estos frutos y por lo tanto a la corta exposición a 23°C y 85% de humedad relativa evitaron que se perdiera más agua en los en los espacios de las células de la pulpa de los frutos.



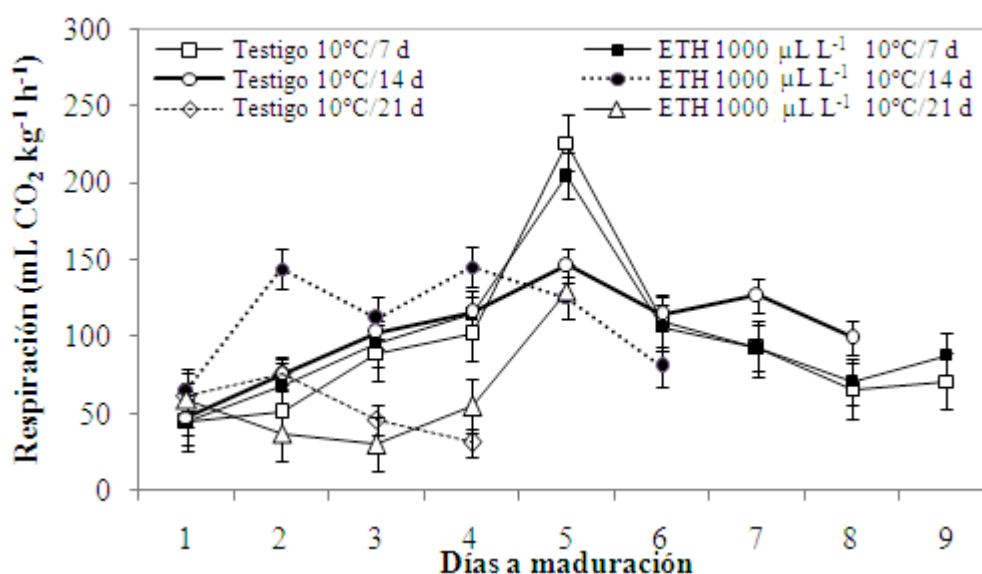
**Figura 38.** Pérdida de peso (%) en frutos de zapote mamey tratados con  $10^{-3}$  M de MJ. Cada punto representa la media de tres observaciones  $\pm$  error estándar. Las flechas indican la transferencia a temperatura de maduración.

**Daños por frío:** Los frutos tratados con  $10^{-3}$  M de MJ no presentaron daños por frío en los tres periodos de almacenamiento, resultados que concuerdan con los reportados en mango (Herrera *et al.*, 2002; Lalel *et al.*, 2003) y papaya (González *et al.*, 2003). El MJ promueve la maduración y senescencias de los frutos (Creelman y Mullet, 1997), y en los frutos maduros la incidencia de daño por frío es menor (García *et al.*, 2005), en este trabajo el MJ adelanto los climatéricos de  $CO_2$  y etileno y como consecuencia la maduración, Ellis y Turner *et al.*, (2002) muestran que MJ y etileno cooperan sinérgicamente activando defensas en respuesta al estrés. También MJ incrementa la ROS especialmente  $H_2O_2$  en las mitocondrias bajo estrés para evitar la muerte celular (Kim *et al.*, 2004). Por tanto en este trabajo los resultados

mostrados en los frutos tratados con MJ pudieron deberse a que MJ y etileno actuaron sinérgicamente para dar tolerancia a los daños por frío, incrementando la ROS, maduración al adelantar los máximos de CO<sub>2</sub> y etileno evitando lignificación de tejidos.

#### 5.4 Efectos de Etileno en zapote mamey

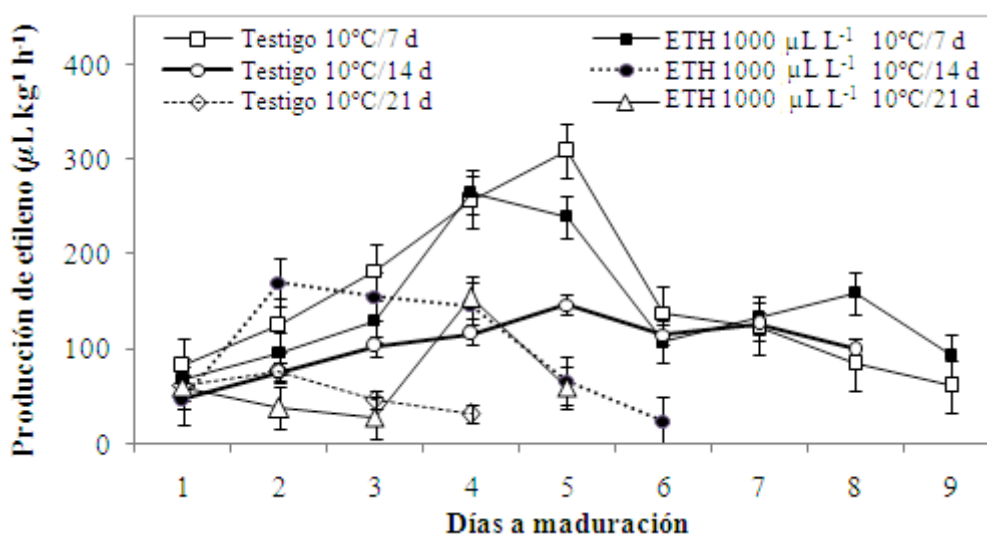
**Maduración:** los frutos con 1000  $\mu\text{L L}^{-1}$  después de 7 d de almacenamiento maduraron a los 7d de ser transferidos a 23°C, los mismos días que tardo el testigo. Después de 14 d a 10°C los frutos tratados con 1000  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etileno maduraron en 6 d, el mismo días que el testigo en las mismas condiciones. Y, después de 21 d de almacenamiento los frutos tratados con etileno tardaron los mismos días en maduraron que el testigo 4d.



**Figura 39.** Producción de CO<sub>2</sub> en frutos de zapote mamey tratados con 10<sup>-3</sup> M por 8h de MJ previos al almacenamiento por 7, 14 y 21 días a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones  $\pm$  error estándar.

**Producción de CO<sub>2</sub>:** después de 7d de almacenamiento a 10°C los frutos que fueron tratados con 1000  $\mu\text{L L}^{-1}$  de Etileno no presentó diferencias significativas en la producción de CO<sub>2</sub> y presentó los máximos el mismo día mismo día que el testigo con un valor de 204,18 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> con 21.64 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> menor que el testigo, (Figura 39). Saucedo *et al.*, (2001) reportaron un máximo de CO<sub>2</sub> 140 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> en frutos que fueron sometidos a 176  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etileno por 24 h a 25°C y lo adelantó en un día comparado al testigo, valor que resultó muy por debajo al obtenido en este trabajo. Después de 14d de almacenamiento a 10°C, los frutos con 1000  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etileno adelantaron el pico de CO<sub>2</sub> tres días antes que el testigo con valor de 145,37 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, pero sin mostrar diferencias significativas.

El tratamiento con etileno adelantó el pico climatérico de CO<sub>2</sub> un días respecto al testigo cuando los frutos se almacenaron por 21d con valores de 58.90 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> sin mostrar diferencias significativas, aunque este tratamiento aumento hasta 129.63 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> durante la senescencia, probablemente por la autocatálisis del etileno durante el almacenamiento prolongado en presencia de etileno externo, que pudo incrementar los niveles de ACC y que incluso pudo ver mostrado el climatérico durante el almacenamiento. En mamey no se han aplicado estos niveles de etileno por lo que no hay evidencia de su comportamientos, sin embargo se sabe que el etileno exógeno incrementa la respiración (Nair y Singh, 2003).



**Figura 40.** Producción de CO<sub>2</sub> en frutos de zapote mamey tratados con 10<sup>-3</sup> M por 8h de MJ previos al almacenamiento por 7, 14 y 21 días a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.

**Producción de etileno:** Los frutos tratados con etileno (1000 µL L<sup>-1</sup>) después de 7 d de almacenamiento a 10°C adelantaron un día el máximo climatérico de etileno respecto al testigo, con un valor de 308,63 µL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, in presentar diferencias significativas (Figura 40). Después de 14 días a 10°C lo frutos tratados con etileno adelantaron le pico climatérico de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> el segundo días de ser transferidos a 23 °C, con valor de 169,59 µL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, pero sin mostrar diferencias significativas. Finalmente, después de 21 d de almacenamiento a 10°C los frutos tratados con etileno adelantaron el pico climatérico de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> un día antes que el testigo con valor de 59,04 µL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

Se sabe que los frutos de mamey tratados con etileno aceleran la maduración y por tanto, adelanta los picos de etileno (Martínez, 1998). Nair y Singh, (2003), reportaron que el etileno exógeno incrementa la producción de etileno. En este trabajo ethrel exógeno adelanto los

picos climatéricos de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> en comparación al testigo, y el almacenamiento disminuyó la producción de etileno por efecto de la temperatura, cuando los frutos se almacenaron por 7, 14 y 21d a 10°C, pero la maduración fue semejante a los frutos testigo. Estos resultados pudieron deberse a la autocatálisis como resultado de la aplicación exógena de ethrel.

**Cuadro 5.** Efecto de 1000  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etileno en firmeza y sólidos solubles totales (SST) en la salida del almacenamiento (SA) y madurez comestible (MC) después de 7, 14 y 21d a 10°C y maduración a 23°C.

Tratamiento	Firmeza (N) SA			Firmeza (N) MC			SST (%)	
	Base	Medio	Punta	Base	Medio	Punta	SA	MC
Testigo 7d 10°C	38.590a	44.647a	45.833a	0.6567a	0.6333a	0.82a	12.320a	28.700a
ETH 1000 $\mu\text{L L}^{-1}$ 7d 10°C	49.717a	48.010a	45.390a	0.8233a	0.6467a	0.89a	12.153a	30.123a
Testigo 14d 10°C	22.663b	27.650b	17.423b	0.4033a	0.7067a	0.98a	12.896a	28.090a
ETH 1000 $\mu\text{L L}^{-1}$ 14d 10°C	21.827b	24.943bc	18.817b	0.4233a	0.6000a	0.87a	12.633a	28.733a
Testigo 21d 10°C	19.690b	13.610c	15.543b	0.8433a	0.7400a	1.63a	12.510a	25.777a
ETH 1000 $\mu\text{L L}^{-1}$ 21d 10°C	18.057b	22.907bc	14.740b	0.7700a	0.7900a	1.20a	12.333a	27.743a
<b>DMS</b>	<b>14.296</b>	<b>13.597</b>	<b>21.09</b>	<b>0.7642</b>	<b>0.6192</b>	<b>1.71</b>	<b>1.866</b>	<b>4.491</b>

Medias con letras iguales no son significantes estadísticamente.

**Firmeza:** Los frutos tratados con 1000  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etileno no mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en los valores de firmeza tanto en la salida del almacenamiento (SA) como en la madurez comercial (MC), ni en la base, parte media y punta de la pulpa del fruto en los tres periodos de almacenamiento. (Cuadro 6), resultados semejantes en mamey fueron reportados por Saucedo *et al.*, (2001).

**Sólidos Solubles Totales:** Los sólidos solubles totales no fueron afectados con los tratamientos de 1000  $\mu\text{L L}^{-1}$  de ethrel en los tres periodos de almacenamiento (cuadro 15), resultados opuestos fueron reportan en mamey cuando se aplicaron 176  $\mu\text{L L}^{-1}$  resultando incrementar los SST (Saucedo *et al.*, 2001), confirmados en mango cuando se aplicaron 500  $\mu\text{L L}^{-1}$  (Nair y Singh, 2003). Se pudiera ver esperado un incremento significativo en el contenido de SST, pues el etileno exógeno acelera la conversión de almidón a azúcares por el incremento en la actividad de amilasas encargados de la degradación del almidón (Chhatpar *et al.*, 1971; Nair y Singh, 2003), sin embargo los SST permanecieron estables con la aplicación de etileno en este trabajo.

**Color:** El color mostrado después de 7d de almacenamiento a 10 °C en la madurez fisiológica de los frutos de zapote mamey tratados con 1000  $\mu\text{L L}^{-1}$  fueron; Strong Reddish Orange y Moderate Orange, y en la madurez comestible; Strong Orange y Moderate Orange. Después de 14 d de almacenamiento a 10°C el color de los frutos tratados con etileno en la SA fue;

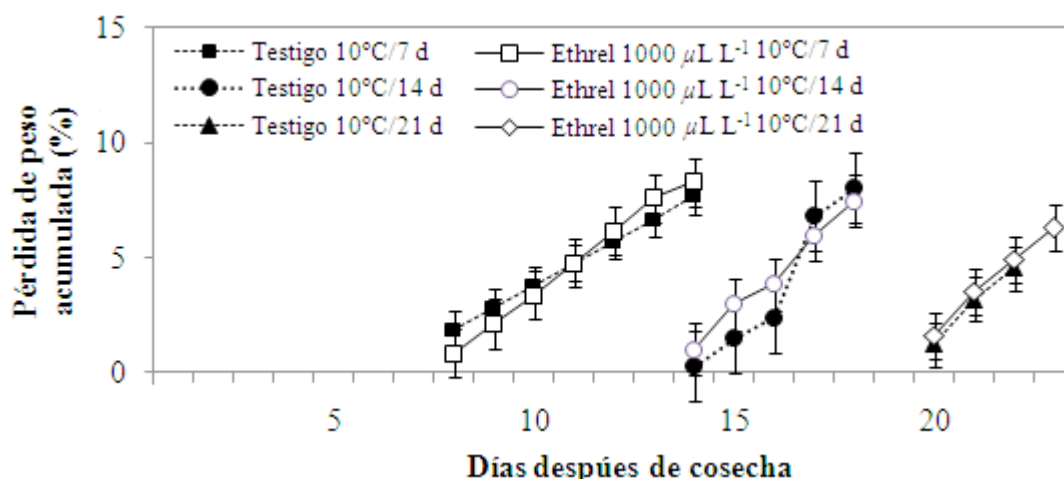
Moderate Orangish Yellow, y Moderate Orange, y en la MC los colores para esto frutos fueron; Brownish Orange y Moderate Orange. Y, los colores mostrados en los frutos con 21 días de almacenamiento en la SA fueron; Strong Orange y Moderate Orange, y en la MC; Moderate Orange.

**Cuadro 6.** Comportamiento de la luminosidad, Croma y ángulo Hue en frutos de zapote mamey tratados con  $1000 \mu\text{L L}^{-1}$  en la salida del almacenamiento (SA) y madurez comestible (MC) de después de 7, 14 y 21d a  $10^\circ\text{C}$  y madurados a  $23^\circ\text{C}$ .

Tratamiento	Luminosidad (L)		Índice de Saturación (Croma)		Ángulo de Matiz ( $^\circ\text{Hue}$ )	
	SA	MC	SA	MC	SA	MC
Testigo 7d $10^\circ\text{C}$	55.123a	45.477ab	32.797a	35.643a	47.967a	39.427a
ETH $1000 \mu\text{L L}^{-1}$ 7d $10^\circ\text{C}$	57.247a	39.090b	30.077a	27.427b	48.850a	42.063a
Testigo 14d $10^\circ\text{C}$	65.180a	46.977ab	29.050a	28.880ab	57.333a	45.083a
ETH $1000 \mu\text{L L}^{-1}$ 14d $10^\circ\text{C}$	54.910a	47.223ab	28.470a	30.317ab	52.440a	45.047a
Testigo 21d $10^\circ\text{C}$	54.910a	50.987a	33.297a	29.673ab	46.517a	49.047a
ETH $1000 \mu\text{L L}^{-1}$ 21d $10^\circ\text{C}$	55.323a	48.333ab	33.030a	30.900ab	49.220a	46.153a
<b>DMS</b>	<b>19.451</b>	<b>11.35</b>	<b>9.823</b>	<b>8.02</b>	<b>23.201</b>	<b>16.629</b>

Medias con letras iguales no son significantes estadísticamente.

Los frutos tratados con etileno  $1000 \mu\text{L L}^{-1}$  no mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en la luminosidad en los tres periodos de almacenamiento respecto al testigo. El Croma de los frutos tratados con ethrel solo presentó diferencias significativas en la MC después de que recibieron 7d de almacenamiento, en los otros periodos de tiempo el fue similar al testigo (Cuadro 6). El ángulo Hue en los frutos tratados con ethrel no mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en los tres periodos de almacenamiento respecto al testigo, resultados similares fueron reportados en mamey con  $50\text{-}176 \text{ nL L}^{-1}$  de ethrel (Saucedo *et al.*, 2001).



**Figura 41.** Pérdida de peso en frutos de zapote mamey tratados con  $1000 \text{ ppm}$  de etileno, a la salida del almacenamiento (SA) y hasta madurez comestible (MC) después de 7, 14 y 21d de almacenamiento a  $10^\circ\text{C}$  y madurados a  $23^\circ\text{C}$ . Cada punto representa la media de tres observaciones  $\pm$  error estándar. Las flechas representan la transferencia a temperatura de maduración.

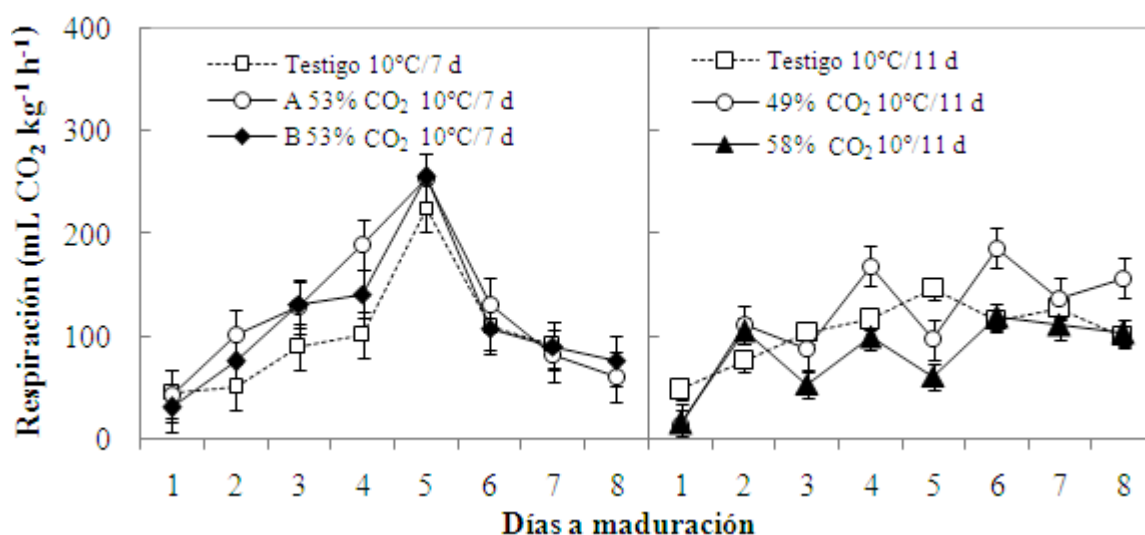
**Pérdida de Peso:** Los frutos de zapote mamey que recibieron  $1000 \mu\text{L L}^{-1}$  de etileno y no mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en la pérdida de peso en los tres periodos de almacenamiento en la salida del almacenamiento (SA), hasta madurez comercial (MC) y en la pérdida total (Figura 41). Saucedo *et al.*, (2001), reportaron que frutos de mamey tratados con 50 y  $176 \text{ nL L}^{-1}$  de ethrel no se mostraron diferencias significativas en la pérdida de peso, resultados que concuerdan con los entrados en este trabajo.

**Daños por frío:** Los frutos de mamey tratados con  $1000 \mu\text{L L}^{-1}$  no mostraron síntomas de daños por frío en los tres periodos de almacenamiento. Investigaciones recientes han demostrado que el etileno reduce los síntomas de daños por frío en melón en un 75% en dosis de  $1000 \mu\text{L L}^{-1}$  de etileno por 24 horas a  $20^\circ\text{C}$  y almacenado a  $2.5^\circ\text{C}$  (Lipton y Aharoni, 1979), en cítricos (Lafuente *et al.*, 2004), en melón (*Cucumis melo*) ‘Piel de Sapo’ pero disminuyó la firmeza de la pulpa y maduro rápidamente (Valdenegro *et al.*, 2005), en mango ‘Palmer’ y “Kensington Pride” (Nair y Singh, 2003). Estudios recientes reportan que cuando el etileno disminuye los síntomas de DF la producción de  $\text{CO}_2$  y etileno incrementan (Nair y Singh, 2003; Nair *et al.*, 2003). En el presente experimentó los tratamientos con etileno disminuyó la producción de  $\text{CO}_2$  y etileno, así mismo, atrasaron los picos climatéricos de etileno y  $\text{CO}_2$  después de 14 y 21 d de almacenamiento, especialmente en el tercer periodo cuando se presentaron los síntomas de DF en el testigo.

### 5.5 Efectos de Choques de $\text{CO}_2$ en zapote mamey

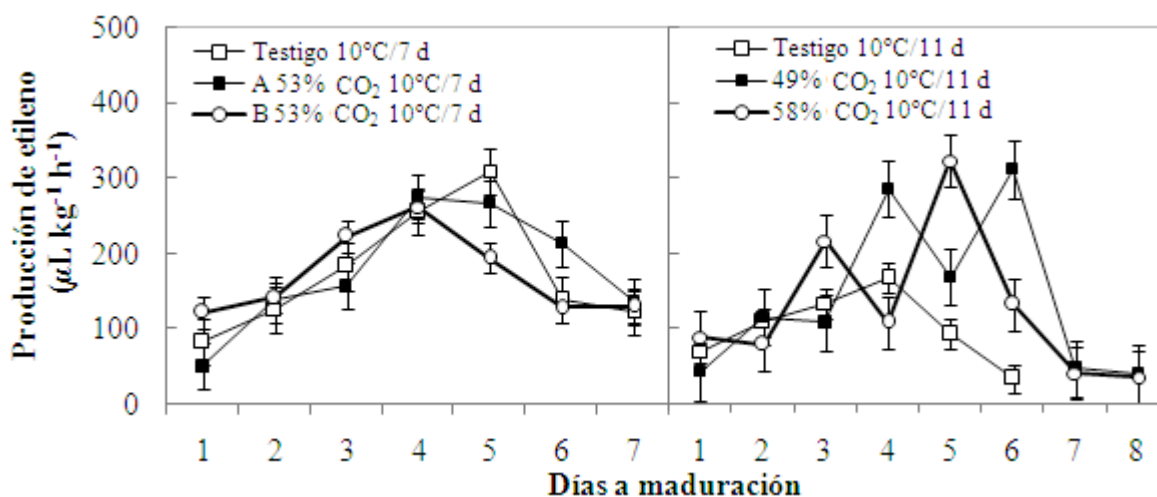
**Maduración:** Los frutos que recibieron choques de  $\text{CO}_2$  de 53% y almacenados por 7d a  $10^\circ\text{C}$ , maduraron 1 d después que el testigo, mientras que aquellos que recibieron choques de 49 y 58% de  $\text{CO}_2$  y almacenados por 11 días a  $10^\circ\text{C}$ , maduraron a los 7 d, un día después que el testigo. Aunque no existe evidencia del efecto de estas concentraciones de  $\text{CO}_2$  en frutos de mamey, el efecto del gas se debió probablemente a la competencia con etileno en sitio de acción y/o la inhibición de la síntesis de etileno en la conversión de ACC a etileno, como mencionan (Sopee *et al.*, 2006; Jin, 2006), pero también pudo ver sucedido que las altas concentraciones pudieron ver inhibido la producción autocatalítica de etileno como se encontró en pera (Chávez-Franco y Kader, 1993).

**Producción de CO<sub>2</sub>:** Los frutos de mamey que recibieron choques de CO<sub>2</sub> de 53% después de 7 d almacenamiento no mostraron diferencias significativas en la producción de CO<sub>2</sub>, y presentaron el pico climatérico el mismo día que el testigo, a los 5d de ser transferidos a 23°C, con valores de 254.66 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y 255,47 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> superando con 28.84 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y 29.65 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> respectivamente (Figura 42).



**Figura 42.** Producción de CO<sub>2</sub> en frutos de zapote mamey tratados con choques de CO<sub>2</sub> previos al almacenamiento por 7 y 11d a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.

Después de 11d de almacenamiento los frutos que recibieron choques de 49% y 58% de CO<sub>2</sub> mostraron un comportamiento irregular en la respiración presentando el máximo a los 6d de ser transferidos a 23°C con valores de 185,37 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y 118,13 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, superando al testigo con 40.45 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y 107.69 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, en el mismo orden (Figura 42). En cuanto a este comportamiento en el fruto de mamey no se tienen evidencias, pero se ha reportado resultados encontrado con choques de 15% de CO<sub>2</sub> a 13°C con 90-95% humedad relativa en rambután ‘Rong-rein’ donde redujo la tasa de respiración (Sopee *et al.*, 2006). También, Srialong *et al.*, (2006), reportaron que 21% CO<sub>2</sub> y 100% O<sub>2</sub> a 5 °C en pepino disminuyó la tasa respiratoria. Escalona *et al.*, (2006) mostró que 10-80 kPa de O<sub>2</sub> en combinación de 10-20 kPa de CO<sub>2</sub> en lechuga almacenada a 1, 5 y 9°C, redujo la tasa de respiración, probablemente porque estas AC incrementaron los desordenes metabólicos, esto que probablemente pudo ver sucedido en este trabajo y por eso se mostraron altibajos en la producción de CO<sub>2</sub>.



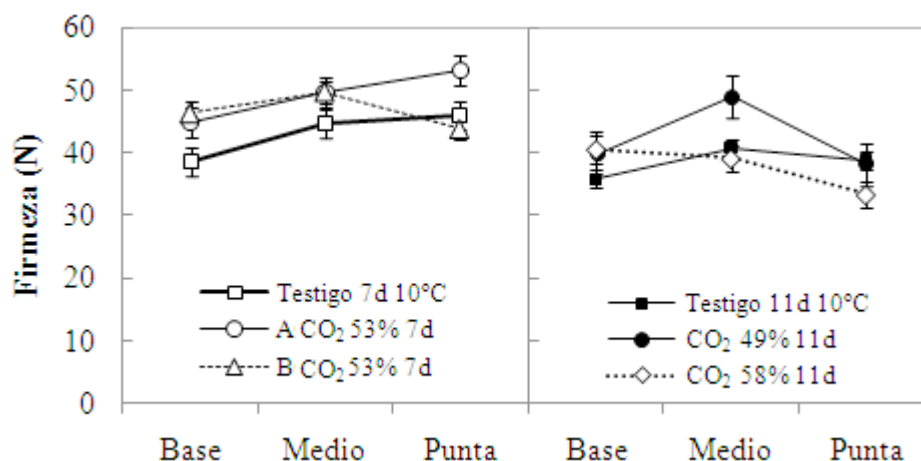
**Figura 43.** Producción de etileno en frutos de zapote mamey tratados con choques de CO<sub>2</sub> previos al almacenamiento por 7 y 11d a 10°C y madurados a 23°C. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.

**Producción de etileno:** Los frutos con choques de CO<sub>2</sub> de 53% no mostraron diferencias significativas, pero presentaron el pico climatérico 1d antes que el testigo, con valores de 274,82  $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  y 261,30  $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ , es decir 33.81 y 47.33  $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  más bajos que el testigo respectivamente (Figura 43). Sopee *et al.*, (2006), mostró que 15% CO<sub>2</sub> a 13°C y 90-95% de humedad relativa en rambután ‘Rong-rein’ redujo la producción de etileno. Escalona *et al.*, (2006), mostró que 10-80 kPa de O<sub>2</sub> en combinación de 10-20 kPa de CO<sub>2</sub> redujo la tasa de producción de etileno en frutas. Es probable que los resultados obtenidos en este trabajo se debieron a que los altos niveles de CO<sub>2</sub> inhiben la producción de etileno y previenen la acumulación de ACC, como lo demostraron en tomate Wild *et al.*, (2003) con 20kPa de CO<sub>2</sub>.

Después de 11d a 10°C los frutos con choques de 49 y 58% de CO<sub>2</sub> mostraron altibajos en la producción de etileno, pero incrementaron significativamente la producción de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> respecto al testigo, los cuales presentaron un máximo a los 6 y 5d de ser transferidos a 23°C, con valores de 310,99  $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  y 322,79  $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  mayores al testigo con 2.36  $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  y 14.16  $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$  respectivamente (Figura 43). En mamey no hay evidencia del comportamiento del etileno bajo altos niveles de CO<sub>2</sub>, en condiciones de refrigeración, pero se sabe que altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, disminuyen los niveles de etileno (Chávez y Kader, 1993; Zhou *et al.*, 2000). Wild *et al.*, (2003) mencionan que altas concentraciones de CO<sub>2</sub> inhiben la producción de etileno al bloquear la actividad de ACC oxidasa. En este trabajo los choques de CO<sub>2</sub> incrementó significativamente la producción de etileno durante la etapa



climatérica, esto pudo deberse a que altas concentraciones de CO<sub>2</sub> estimulan la producción de ACC y por consiguiente altas niveles de etileno, efecto que también fue reportado por Poneleit y Dilley, (1993).

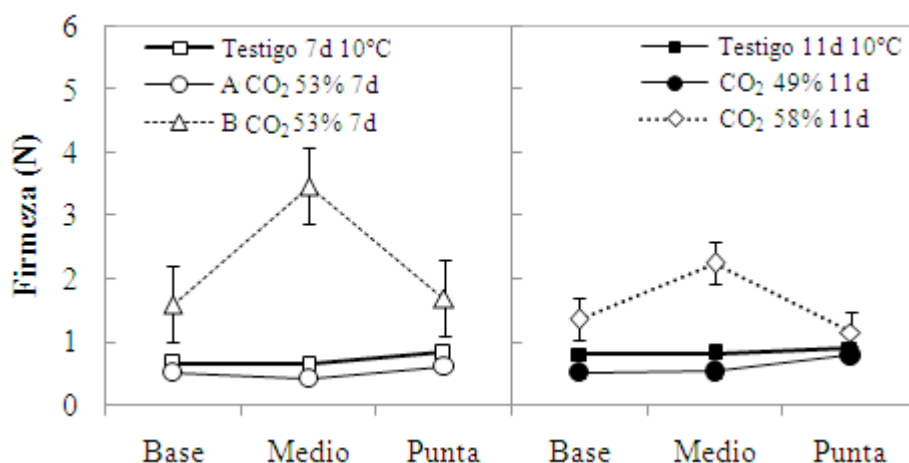


**Figura 44.** Comportamiento de la firmeza en frutos de zapote mamey tratados con choques de CO<sub>2</sub> en la salida del almacenamiento. Cada punto representa la media de tres observaciones  $\pm$  error estándar.

**Firmeza:** Los frutos que recibieron choques de 53% de CO<sub>2</sub> A en salida del almacenamiento no incrementaron significativamente la firmeza en la base y punta de la pulpa de los frutos, mientras que los que recibieron 53% de CO<sub>2</sub> B solo incrementó significativamente la firmeza en la base de la pulpa de los frutos (Figura 44). Los frutos que recibieron 49% de CO<sub>2</sub> incrementaron significativamente la firmeza de parte media de la pulpa de los frutos y el tratamiento de 58% de CO<sub>2</sub> no afectó la firmeza, ambos en la salida del almacenamiento. La retención de la firmeza en la pulpa del fruto, probablemente se debió, a que si los altos niveles de CO<sub>2</sub> inhiben la ACC oxidasa la síntesis de etileno fue menor y consigo baja la actividad de las enzimas degradadoras de pared celular como son las celulasas, PG y PME.

Durante la maduración comestible el tratamiento con choques de 53% de CO<sub>2</sub> B incrementó significativamente la firmeza de las tres partes de la pulpa de los frutos, respecto a testigo y el choque de 58% de CO<sub>2</sub> solo incrementó significativamente la firmeza de la base y parte medio de la pulpa del fruto respecto a los frutos testigo (Figura 45), estos resultados se asemejan a los reportados por Alia y Martínez, (2004), quienes reportaron que 50% CO<sub>2</sub> mezcla nitrógeno incrementó la firmeza de frutos de zapote mamey en la maduración comestible de los frutos. Kader, (1995), reporta que altas concentraciones de CO<sub>2</sub> retardan la firmeza por la inhibición de la degradación de las sustancias pépticas. En este trabajo es muy

posible que los choques de CO<sub>2</sub> inhiban la degradación de las sustancias pépticas y que además la prolongación de la exposición pudiera provocar un desajuste fisiológico como se mostro los altibajos en la producción de CO<sub>2</sub> y etileno.



**Figura 45.** Comportamiento de la firmeza en frutos de zapote mamey tratado con choques de CO<sub>2</sub> y almacenados a 7 y 11d a 10°C y madurados a 23°C, en la maduración comestible. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar.

**Sólidos Solubles Totales:** Los choques de CO<sub>2</sub> no mostraron diferencias significativas en los SST en la salida del almacenamiento, ni tampoco durante la maduración, a excepción de los frutos que recibieron 49% de CO<sub>2</sub> disminuyeron significativamente la firmeza de los frutos respecto al testigo en la maduración comestible (Cuadro 7), esto último coincide con lo reportado por Sopee *et al.*, (2006), quienes reportaron que 10-15% CO<sub>2</sub> a 13°C con 90-95%, en rambután ‘Rong-rein’ redujo el incremento de SST en la maduración.

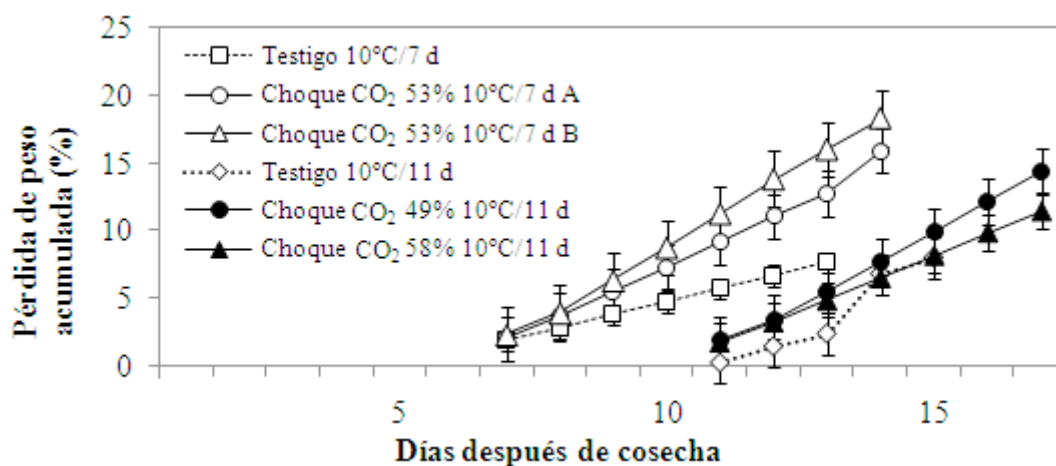
**Cuadro 7.** Comportamiento de la luminosidad, croma, ángulo hue y SST en frutos de zapote mamey tratado con choques de CO<sub>2</sub> y almacenados a 7 y 11d a 10°C y madurados a 23°C en la salida del almacenamiento (SA) y madurez comestible (MC).

Tratamiento	Luminosidad (L)		Índice de Saturación Croma (C)		Ángulo de Matiz (°Hue)		SST (°Brix)	
	SA	MC	SA	MC	SA	MC	SA	MC
Testigo 7d 10°C	57.247a	39.090a	30.077abc	27.427a	48.850bc	42.063a	12.153 ba	30.123 a
ACO <sub>2</sub> 53% 7d	58.847a	47.167a	32.310ab	28.843a	49.630bc	46.630a	11.346 b	25.500 ba
BCO <sub>2</sub> 53% 7d	68.110a	49.677a	25.300c	27.517a	68.800a	48.480a	12.163 ba	26.033 ba
Testigo 11d 10°C	55.927a	45.893a	33.707a	30.670a	45.700c	36.590a	12.436 ba	30.690 a
CO <sub>2</sub> 49% 11d	58.700a	43.443a	32.430ab	26.700a	49.030bc	45.790a	12.856 a	21.367 b
CO <sub>2</sub> 58% 11d	63.933a	44.987a	26.810bc	31.330a	62.783ab	42.310a	12.206 ba	27.567 ba
<b>DMS</b>	<b>17.342</b>	<b>19.532</b>	<b>6.35</b>	<b>6.01</b>	<b>16.09</b>	<b>16.347</b>	<b>1.49</b>	<b>6.778</b>

Medias con letras iguales no son significantes estadísticamente.

**Color:** Los choques de CO<sub>2</sub> no afectaron la luminosidad de los frutos ni en la salida del almacenamiento como en la maduración comestible. El croma solo los disminuyó significativamente el tratamiento de 58% de CO<sub>2</sub> en la salida del almacenamiento, el resto de choques de CO<sub>2</sub> no afecto el croma. El ángulo Hue solo lo incrementaron significativamente los choques de 53% de CO<sub>2</sub> B y el de 58% en la salida del almacenamiento, durante la maduración comestible el ángulo Hue tuvo un comportamiento similar al testigo con todos los choques de CO<sub>2</sub> (Cuadro 7), esto último coincide con lo reportado por Alia y Martínez, (2004), quienes mostraron que 50% CO<sub>2</sub> mezcla Nitrógeno por un día y medio, afectaron el color a valores más altos de L, C y H. Se podría sugerir que al choques de CO<sub>2</sub> retarda el color de frutos de mamey por inhibir la enzima que sintetiza al etileno y por consiguiente una disminución en la degradación de los carotenoides que le dan el color característico del mamey durante la maduración.

Los colores inicial mostrados en los frutos con choques de CO<sub>2</sub>, de acuerdo a la RHS y UCL fueron: naranja fuerte y naranja moderado. Después del almacenamiento 7d a 10°C los choques de 535 presentaron los siguientes colores; naranja moderado y Moderate Reddish Orange en la madurez fisiológica y en la madurez comestible los colores fueron; naranja moderado. Los frutos tratados con 49 % de CO<sub>2</sub> mostraron colores de; naranja moderado en la madurez fisiológica y en la madurez comestible; naranja moderado Orange y naranja fuerte. Y, los frutos que fueron tratados con 58 % de CO<sub>2</sub> presentaron colores de Moderate Yellowish Pink y naranja moderado en la madurez fisiológica y en la madurez comestible; Moderate Reddish Orange y naranja moderado.



**Figura 46.** Pérdida de peso en zapote mamey con choques de CO<sub>2</sub> durante el almacenamiento a 10°C por 7 y 11d, y madurados a 23°C, en la salida del almacenamiento (SA), madurez comestible (MC) y la pérdida total. Cada punto representa la media de tres observaciones ± error estándar. Las flechas indican la transferencia a temperatura de maduración.

**Pérdida de peso:** Los frutos con choques de 53% de CO<sub>2</sub> A y B incrementaron significativa la pérdida de peso total a 4.18% y 4.24% en relación al testigo (Figura 46). Los frutos con 49% y 58% de CO<sub>2</sub> no afectaron la pérdida de peso respecto al testigo, resultados semejantes fueron reportados por Piña *et al.*, (2001) en zarzamora con 20% de CO<sub>2</sub> + 15% de O<sub>2</sub>.

**Daños por frío:** los frutos con choques de CO<sub>2</sub> no presentaron ningún síntoma de daños por frío durante 7 y 11d de almacenamiento a 10°C. La reducción de los daños por frío con altas concentraciones de CO<sub>2</sub> fue observados por Levin *et al.*, (1995) y Zhou *et al.*, (2000).

### 5.6 Relación del color con el daño por frío

En la figura 47 se muestran las claves de color RHS y CIELAB, que se mostraron en la elaboración de la escala de daños por frío, donde se puede destacar que después de 12 días a 7°C los frutos de mamey mostraron el color menos intenso y los valores de luminosidad también son menores. Sin embargo a los cero días a 7°C mostraron una luminosidad mayor, la cual podría atribuirse a la variabilidad entre los frutos de mamey y probablemente a una diferencia entre el grado de madurez. Finalmente, si comparamos la escala de color elaborada previamente donde se les provocó los daños por frío, con los colores mostrados en aquellos frutos que presentaron DF durante la experimentación, no mostraron ninguna relación. Probablemente se debió a que al no ser de una misma selección el color de la pulpa es diferente.

Clave RHS	L	a	b	C	Hue
<b>Después de 0 días a 7°C</b>					
RHS 179C	61.20	19.30	22.15	20.13	27.24
RHS 170C	55.14	21.18	19.80	22.34	31.22
RHS 29B	70.10	9.15	20.50	26.23	25.46
RHS 170B	58.10	21.60	21.00	33.12	40.67
RHS 170A	50.30	26.20	18.50	34.15	42.18
RHS 170A	50.10	25.38	19.80	33.19	44.36
<b>Después de 4 días a 7°C</b>					
RHS 170C	53.17	20.19	21.10	32.16	32.56
RHS 170B	55.89	21.30	20.15	31.45	31.23
RHS 170B	54.90	19.95	21.17	32.56	34.56
RHS 170B	55.10	20.16	22.34	32.67	35.44
RHS 170A	59.13	24.38	22.57	33.56	42.56
RHS 170A	58.15	25.38	22.19	33.98	41.22
<b>Después de 8 días a 7°C</b>					
RHS 170C	53.20	19.90	20.55	32.67	28.67
RHS 170B	54.30	20.97	20.78	33.56	32.56
RHS 170B	53.10	21.14	21.17	34.67	27.56
RHS 170A	57.90	23.70	22.13	34.63	37.65
RHS 170A	58.10	22.10	24.09	33.24	40.89
RHS 170A	58.13	24.35	23.67	35.67	43.56
<b>Después de 12 días a 7°C</b>					
RHS 171D	50.17	15.12	24.35	27.50	32.56
RHS 170C	54.03	16.34	23.25	26.45	26.57
RHS 170B	51.30	20.96	22.19	30.89	32.56
RHS 170B	49.95	21.50	23.56	34.67	32.56
RHS 171D	48.28	14.69	19.57	34.16	34.67
RHS 170B	52.25	21.67	21.36	31.56	31.56

**Figura 47.** Claves de color RHS y CIELAB mostradas en mamey almacenado a 0, 4, 8 y 12 °C y 6 días a 23°C para encontrar su comportamiento durante el daño por frío.

## 6. CONCLUSIONES

La maduración del mamey ocurre a los 9 y 10 d después de la cosecha asociado con un ablandamiento en la pulpa, un incremento en el contenido de SST de 12,51% en MF a 30,16% en maduración, un incremento en la pérdida de peso de 1,067% de peso a 85% de HR, disminución de la firmeza de 38.76 N inicial a 0.84 N en los frutos maduros, un cambio de color de naranja moderado a naranja fuerte (presentando de MF a maduración L= 51,43 a 31,91; croma = 43,24 a 40, ángulo fue de 33,90 a 42,39). Presentan un patrón climatérico con un preclimatérico de CO<sub>2</sub> y etileno de 26,45 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y 15,84 μL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y máximos de 156,40 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y 222.69 μL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> en el mismo orden, este ultimo presentado a los 6 d de transferirlos a 23°C.

El 1-MCP retrasó en dosis de 600 y 900 nL L<sup>-1</sup> durante 7 y 14 d almacenamiento a 10 °C retrasó en 3 y 5 d proceso de maduración sin afectar las características de calidad del mamey. Después de 21 d de almacenamiento a 10 °C las dosis de 1-MCP favorecen el desarrollo de los daños por frío. Una mayor susceptibilidad a los daños por frío resultó con la dosis de 600 nL L<sup>-1</sup> de 1-MCP. El daño por frío en zapote mamey tratado con 1-MCP, provoca un incremento y retrasó en los máximos de CO<sub>2</sub> y etileno, incrementa la firmeza y la pérdida de peso, estas variables tienen una correlación significativa con el índice de daños por frío especialmente en la dosis de 600 nL L<sup>-1</sup>.

Por tanto el 1-MCP en dosis 600 y 900 nL L<sup>-1</sup> previo al almacenamiento en mamey puede ser una tecnología viable para la conservación de frutos durante la comercialización en el mercado nacional, por un periodo no mayor a 14 días a 10 °C más el periodo de maduración, para reducir riesgos de pérdidas postcosecha y daños por frío.

Cuando el testigo presentó daños por frío en MJ incrementó la producción de CO<sub>2</sub> y adelantó la producción de etileno madurando después de 21 d a 10°C, periodo después del cual incrementó la firmeza en la parte media en la salida del almacenamiento y en la punta de la pulpa del fruto en la madurez comestible, estos efectos se mostraron cuando MJ aminoró el desarrollo de síntomas de daños por frío.

La aplicación de 1000 μL L<sup>-1</sup> por 10 min de ethrel previos al almacenamiento a 10 °C por 21 d evitó el desarrollo de síntomas de daños por frío bajo condiciones de almacenamiento,

efecto acompañado con el adelanto en los picos máximos de etileno y CO<sub>2</sub>, inmediatamente de ser colocados los frutos a temperatura de maduración, que implicó un adelanto en la madurez comestible, lo que sugiere que etileno actúa en conjunto con bajas temperaturas induciendo efectos metabólicos a nivel celular para aminorar el desarrollo de daños por frío.

Los choques de CO<sub>2</sub> evitaron el desarrollo de daños por frío, relacionados con altibajos en la producción de CO<sub>2</sub> y etileno, retención de la firmeza en la madurez comestible especialmente el choque de 58% de CO<sub>2</sub>, pero sin afectar la vida de anaquel.

Esta investigación indica que el 1-MCP es un potente inhibidor de la acción de etileno y su aplicación retarda la maduración de zapote mamey, sin afectar los parámetros de calidad por un periodo de almacenamiento no mayor a 14 d a 10°C, ya que un tiempo mayor puede potencializar el desarrollo de daños por frío.

Aplicaciones de metil jasmonato, ethrel y choques de CO<sub>2</sub> puede ser tecnologías para aminorar el desarrollo de síntomas de daños por frío, sin embargo estimulan la maduración y acortan la vida de anaquel en frutos de zapote mamey.

Es posible que aplicando 1-MCP en combinación con alguna de estas técnicas (MJ, Ethrel y choques de CO<sub>2</sub>), disminuya de los daños por frío y la vida de anaquel de frutos de zapote mamey sean beneficiadas.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Adams D.O, S F Yang (1977)** Methionine metabolism in apple tissue. Implication of S-adenosylmethionine as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. *Plant Physiology*, 60: 892–896.
- Ahumada M H, E J Mitcham, D G Moore (1996)** Postharvest quality of ‘Thompson Seedless’ grapes after insecticidal controlled atmosphere treatments. *HortScience*, 31 (5): 833-836.
- Alia T I, M T Colinas L, M T Martínez D, H R Soto M (2002)** Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H.E. Moore & Stearn) durante poscosecha. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 8: 263-281.
- Alia T I, M T Colinas L, M T Martínez D, H R Soto M (2005)** Daños por frío en zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore and Stearn). I. Cambios en volátiles, firmeza y azúcares totales. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28 (1): 17 – 24.
- Alia T I, M A Martínez (2004)** Storage in controlled atmosphere and high temperature of *Pouteria sapota*. *Revista Chapingo Serie Ingeniería Agropecuaria*, 7 (1/2): 81-84.
- Alia T I, V C Saucedo, M T Martínez D, M T Colinas L (2000)** Temperaturas de almacenamiento y maduración en frutos de mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 6(1): 73.
- Alix C (1999)** Frutales y condimentarias del trópico húmedo. UNAH-CURLA/ SAG-DICTA/ AFE-COHDEFOR/ACDI-PDBL. La Ceiba, Honduras. 345 pp.
- Almeyda N, F W Martin (1976)** Cultivation of neglected tropical fruits with promise. Part. 2. The mamey zaote. United States Department of Agriculture.
- AOAC (1990)** *Methods of Analysis* (15th ed.). Association of Official Analytical Chemist, Washington, D.C.
- Angelini R M, R F Fand (1990)** Spatial and functional correlation between diamine-oxidase and peroxidase activities and their dependence upon de etiolation and wounding in chick-pea stems. *Planta*, 182: 89-96.
- Arce V R, E S Lozano, A M Ocampo L, D J Pérez C, S Bautista (2000)** Cambios bioquímicos y físicos durante el desarrollo y poscosecha del mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 6 (1): 63.
- Arellano G, V C Saucedo, G L Arévalo (2005)** Cambios bioquímicos y fisiológicos durante la maduración de Frutos de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.), *Agrociencia*, 39: 173-181.
- Argenta L C, X Fan, J P Mattheis (2001)** Efeitos do tratamento 1-MCP e atmosfera controlada sobre a conservação da qualidade de maçãs ‘Gala’, ‘Fuji’ e ‘Braeburn’. In: Encontro nacional de fruticultura de clima temperado enfrute, 4., 2001, Fraiburgo. Anais. Caçador: EPAGRI, p. 165-169.
- Arshad M, J W Frankenberger T (2002)** Ethylene in plant physiology. In M Arshad, JWT Frankenberger, eds, Ethylene. Agricultural Sources and Applications. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp 11–50.
- Arenas O M L, L.S Evangelista, R E Arena, A A Jiménez, O G Dávila (2003)** Softening and biochemical changes of sapote mamey fruit (*Pouteria sapota*) at different development and ripening stages. *Journal Food Biochemistry*, 27: 91-107.
- Artés F (2001)** Conservación de productos hortofrutícolas en atmósferas controladas y modificadas. VII Curso Superior de Ingeniería y Aplicaciones del Frío en la Conservación de Vegetales. CTC, UPCT, CEBAS–CSIC. 28 pág.
- Asada K (1999)** The water–water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. *Annu. Review Plant Physiology, Plant Molecular Biology*, 50: 601-639.

- Atkinson R G, K M Bolitho, M A Wright, T Iturriagoitia-Bueno, S J Reid, G S Ross (1998)** AppleACC-oxidase and polygalacturonase: ripening-specific gene expression and promoter analysis in transgenic tomato. *Plant Molecular Biology*, 38: 449–460.
- Awad M, R E Young (1979)** Postharvest variation in cellulase, polygalacturonase, and pectinmethylesterase in avocado (*Persea americana* Mill, cv. Fuerte) fruits in relation to respiration and ethylene production. *Plant Physiology*, 64: 306-308.
- Bacab C J (2006)** El mamey, una buena opción. Diario de Yucatan. [www.yucatan.com.mx](http://www.yucatan.com.mx)
- Bagni N (1989)** Polyamines in plant growth and development. In: Bachrach U, Heimer YM, eds. The physiology of polyamines, Vol. II. Boca Raton, FL: CRC Press, 107–120.
- Bagni N, A Tassoni (2001)** Biosynthesis, oxidation and conjugation of aliphatic polyamines in higher plants. *Amino Acids*, 20: 301–317.
- Baldwin I T, Z P Zhang, N Diab, T E Ohnmeiss, E S McCloud, G Y Lynds, E A Schmelz (1997)** Quantification, correlations and manipulations of wound-induced changes in jasmonic acid and nicotine in *Nicotiana glauca*. *Planta*, 201: 397–404.
- Bender R J, J K Brecht, S A Sargent, D J Huber (2000)** Mango tolerance to reduced oxygen levels in controlled atmosphere storage. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125(6): 707–713.
- Bermúdez K, M L Arenas, M L Corona, J Sánchez, R Martínez, A Del Villar, E Lozano (2002)** El color de la epidermis: índice de maduración en mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore and Stearn). Congreso agronómico, SIMIENTE 72 (3-4), pp. 54.
- Bhowmik P K, T Matsui (2005)** Ethylene biosynthetic genes in 'Moso' bamboo shoot in response to wounding. *Postharvest Biology and Technology*, 38: 188-194.
- Biale J B (1960)** The post-harvest biochemistry of tropical and subtropical fruits, *Adv. Food Res.* 10: 293–354.
- Bleecker A B, H Kende (2000)** Ethylene: a gaseous signal molecule in plants. *Annual Review of Cell Development Biology*, 16: 1–18.
- Bol JF, H J Linthorst M, B J Cornelissen C (1990)** Plant pathogenesis-related proteins induced by virus infection. *Annu. Rev. Phytopatology*, 28: 113-118.
- Bolwell G P, L V Bindschedler, K A Blee, V S Butt, D R Davies, S L Gardner, C Gerrish, F Minibayeva (2002)** The apoplastic oxidative burst in response to biotic stress in plants: a threecomponent system. *Journal Experimental Botany*, 53: 1367–1376.
- Bonas U, T Lahaye (2002)** Plant disease resistance triggered by pathogen-derived molecules: refined models of specific recognition. *Curr Opin Microbiology*, 5: 44–50.
- Bramlage WJ, S Meir (1990)** Chilling injury of crops of temperate origin. In: C.Y. Wang (ed) Chilling Injury of Horticultural Crops, CRC Press, Boca Raton FL, pp. 37-49.
- Budde C O, G Polenta, A Pagani, J Gabilondo, M Fussi, R Murray (2005)** High temperature stress and exogenous applications of methyl jasmonate on peaches. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 682: 363-368.
- Burg S P, E A Burg (1967)** Molecular requirement for the biological activity of ethylene. *Plant Physiology*, 42: 144-152.
- Cabane´ M, P Calvet, P Vincens, A M Boudet (1993)** Characterization of chilling-acclimation-related proteins in soybean and identification of one as a member of the heat shock protein (HSP 70) family. *Planta*, 190: 346–353.
- Calvo G (2005)** Control de fisiopatías de postcosecha en manzanas Granny Smith mediante la aplicación de 1-metilciclopropeno (1-MCP). *Ria*, 34: 45-58.
- Campbell J R (1994)** Handling of Florida grown and imported tropical fruits and Vegetables. *HortScience*, 29(9): 975-978.
- Campbell C W, S P Lara (1982)** Mamey sapote cultivars in Florida. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 95: 114-115.



- Campbell R J, G Zill, H Mahdeem (1998)** New mamey sapote cultivars from tropical America. *Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture*, 41: 219-222.
- Candan D P, J Graell, C Crisosto, C Larrigaudière (2006)** Improvement of Storability and Shelf-life of 'Blackamber' Plums Treated with 1-methylcyclopropene. *Food Science and Technology International*, 12 (5): 437-443.
- Casas A N (1977)** Cambios Fisiológicos y Bioquímicos Durante la Maduración del Mamey (*Calocarpum mammosum*). BSc Thesis, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México, D.F.
- Cassol T, A K Mattoo (2002)** Do polyamines and ethylene interact to regulate plant growth, development and senescence? In: *Molecular and Cellular Biology: New Trends*. Nath P, Mattoo A, Ranade S and Weil J (Eds). Dehradun, India: SMPS Publishers.
- Chang C, A B Bleeker (2004)** Ethylene biology. More than a gas. *Plant Physiology*, 136: 2895-2899.
- Chanjirakul K, S Y Wang, C Y Wang, J Siriphanich (2006)** Effect of natural volatile compounds on antioxidant capacity and antioxidant enzymes in raspberries. *Postharvest Biology and Technology*, (Inpress).
- Chhatpar H S, A K Mattoo V V Modi (1971)** Biochemical studies on chilling injuries in mangoes. *Phytochemistry*, 10: 1007-1009.
- Chavez-Franco S H, A A Kader (1993)** Effects of CO<sub>2</sub> on ethylene biosynthesis in 'Bartlett' pears. *Postharvest Biology and Technology*, 3: 183-190.
- Ciardi J, H Klee (2001)** Regulation of ethylene-mediated responses at the level of the receptor. *Annals of Botany*, 88: 813-822.
- Cin V D, M Danesin, A Boschetti, A Dorigoni, A Ramina (2005)** Ethylene biosynthesis and perception in apple fruitlet abscission (*Malus domestica* (L.) Borkh). *Journal Experimental Botany*, 56: 2995-3005.
- Creelman R A, J E Mullet (1995)** Jasmonic acid distribution and action in plants: regulation during development and response to biotic and abiotic stress. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 92: 4114-4119.
- Creelman R A, J E Mullet (1997)** Biosynthesis and action of jasmonates in plants. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.*, 48: 355-381.
- Delledonne M, Y Xia, R A Dixon, C Lamb (1998)** Nitric oxide functions as a signal in plant disease resistance. *Nature*, 394: 585-588.
- Delledonne M, J Zeier, A Marocco, C Lamb (2001)** Signal interactions between nitric oxide and reactive oxygen intermediates in the plant hypersensitive disease resistance response. *Proc Natl Acad Sci USA*, 98: 13454-13459.
- Díaz P C J, S Bautista, R Villanueva (2000)** Quality changes in sapote mamey fruit during ripening and storage. *Postharvest Biology and Technology*, 18(1): 67-73.
- Díaz P C J, S Bautista, R Villanueva, G R López (2003)** Modeling the ripening of sapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore and Stearn] fruit at various temperatures. *Postharvest Biology and Technology*, 28(1): 199-202.
- Ding C K, C Y Wang, K C Gross, D L Smith (2001)** Reduction of chilling injury and transcript accumulation of heat shock proteins in tomato fruit by methyl jasmonate and methyl salicylate. *Plant Science*, 161: 1153-1159.
- Dong L, S Lurie, H W Zhou (2002)** 'Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of "Canino" apricots and "Royal Zee" plums'. *Postharvest Biology and Technology*, 24: 135-145.
- Durner J, D Wendehenne, D F Klessing (1998)** Defense gene induction in tobacco by nitric oxide, cyclic GMP and cyclic ADP ribose. *Proceeding of the National Academy of Science USA*, 95: 10328-10333.

- Ellis C, I Karafyllidis, J G Turner (2002)** The *Arabidopsis* mutant *cev1* links cell Wall signalling to jasmonate and ethylene responses. *The Plant Cell*, 14: 1557-1566.
- Elsy TES, J Días, K Gaecía, L Vargas, S González, A Centurión (2007)** Calidad y vida útil de dos cultivares de mamey (*Pouteria sapota*) cosechados en Yucatán, México. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones.
- Ergun M, A S Sargent, J A Fox, H J Crane, J Donald, J D Huber (2005)** Ripening and quality responses of mamey sapote fruit to postharvest wax and 1-methylcyclopropene treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 36(2): 127-134.
- Escalona H V, E B Verlinden, S Geysen, M B Nicolai (2006)** Changes in respiration of fresh-cut butterhead lettuce under controlled atmospheres using low and superatmospheric oxygen conditions with different carbon dioxide levels. *Postharvest Biology and Technology*, 39(1): 48-55.
- Fan X, L Argenta, J P Mattheis (2002)** Interactive effects of 1-MCP and temperature on 'Elberta' peach quality. *HortScience, Alexandria*, 37: 134-138.
- Fan X, J P Mattheis, J K Fellman (1998)** Responses of apples to postharvest jasmonate treatments. *Journal American Society for Horticultural Science*, 123(3): 421-425.
- Food and Agriculture Organization (FAO) (1989)** Prevention of postharvest food losses: fruits, vegetables and root crops. FAO Training Series No. 17/2. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome, Italy.
- Farber F R, L J Harris, M E Parish, L R Beuchat, T W Suslow, J R Gorney, E H Garrett, F F Busta (2003)** Microbiological safety of controlled and modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut produce. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safty*, 2: 142-160.
- Farmer E E, E Almeras, V Krishnamurthy (2003)** Jasmonates and related oxylipins in plant responses to pathogenesis and herbivory. *Curr. Opin. Plant Biology*, 6: 372-378.
- Farmer E E, C A Rayan (1990)** Interplant communication: air-borne methyl jasmonate induces synthesis of proteinase inhibitors in plant leaves. *Proceeding of the National Academy of Science, USA*, 87: 7713.
- Feng X, A Apelbam, E C Sisler, R Goren, (2000)** Control of ethylene responses in avocado fruit with 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, 20: 43-150.
- Forman H J, M Torres (2001)** Signaling by the respiratory burst in macrophages. *IUBMB Life*, 51: 365-371.
- Forney C F, W J Lipton (1990)** Influence of controlled atmospheres and packaging on chilling sensitivity. In: *C.Y. Wang (ed.). Chilling injury of horticultural crops*. CRC Press Inc., Boca Raton, Fla. 257-267.
- Foyer C (1993)** Ascorbic acid. In antioxidants in higher plants. R.G.Alscher and J. L. Hess (eds) CRC Press, Boca Raton 31-58.
- Foyer C H, B Halliwell (1976)** The presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: a proposed role in ascorbic acid metabolism. *Planta*, 133: 21-25.
- Galván D M, T R Núñez (1994)** Selección de materiales sobresalientes de zapote mamey en la sierra nororiental del estado de Puebla. Interamerican Society for Tropical Horticultura XL Reunión Anual. Programa y Memoria de Resúmenes, Campeche, México, 155 pp.
- García C, M Ruiz, P Chen (1988)** Impact parameters related to bruising in selected fruits. ASAE Paper No. 88-6027. St. Joseph, Mich.
- García S M L, A I Vargas, B A Gardea A, H M Tiznado, T A Martínez (2005)** Daños por frío en melón cantaloupe en dos estados de madurez. *Revista Fititecnia Mexicana*, 28 (1): 161-170.
- García V, E M Cautelán, O L Domínguez (2007)** Mamey (*Pouteria sapota*), evidencias anatómicas a cerca del tipo de fruto e implicaciones fisiológicas. XII Congreso Nacional

- de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. 14 al 17 de agosto de 2007. Zacatecas, Zac. México, p: 90-91.
- GCMPZ (Guia de Calidad y Manejo Postcosecha del Zapote) (2002)** Zapote (*Pouteria sapota* (Jacq) H.E. Moore & Stearn). [http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/sapote\\_ars.html](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/sapote_ars.html)
- Génard M, B Gouble (2005)** ETHY. A Theory of Fruit Climacteric Ethylene Emission. *Plant Physiology*, 139: 531–545.
- González A G A, J G Buta, C Y Wang (2001)** Methyl Jasmonae reduces chilling injury symptoms and enhances colour development of “Kent” mangoes. *Journal Science Food Agriculture*, 81: 1244-1249.
- González A G A, J G Buta, C Y Wang (2003)** Methyl jasmonate and modified atmosphere packaging (MAP) reduce decay and maintain postharvest quality of papaya “Sunrise”. *Postharvest Biology and Technology*, 28:361–370.
- González A G A, G R Zavaleta, H M Tiznado E (2007)** Efecto del metil jasmonato en las respuestas fisiologicas de gauyaba (*Psidium guajava*) almacenadas a bajas temperaturas, *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XIII (1): 63-69.
- González A G A, H M Tiznado E, G R Zavaleta, T M Martínez A (2004)** Methyl jasmonate treatments reduce chilling injury and activate the defense response of guava fruits. *Biochem. Biophys. Res Commun*, 313(3): 704-711.
- Gross G G (1980)** The biochemistry of lignification. *Advances in Botanical Research*, 8: 25-63.
- Guy C L, D Haskell, Q B Li (1998)** Association of proteins with the stress 70 molecular chaperones at low temperature: evidence for the existence of cold labile proteins in spinach. *Cryobiology*, 36: 301–314.
- Hancock J T, R Desikan, A Clarke, R D Hurst, S J Neill (2002)** Cell signalling following plant/pathogen interactions involves the generations of reactive oxygen and reactive nitrogen species. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40: 611-617.
- Heath M C (2000)** Hypersensitive response-related death. *Plan Molecular Biology*, 44: 321-334.
- Hernández M M, M A Martínez, H L Hernández U, T I Alia, O R Osorio, M T Colinas L, M V López, B S Bautista (2007)** Estrés por impacto en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota*) durante el manejo Poscosecha. XII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. 14 al 17 de agosto. Zacatecas, Zac. México, p: 15.
- Herrera A C A (2008)** Diario de Yucatán: “El mamey registra buenas ventas (Akil)”. [www.yucatan.com.mx](http://www.yucatan.com.mx)
- Herrera M R, H García, J De la Cruz (2002)** Efecto del metil jasmonato en La fisiología poscosecha del mango 'Manila' (*Mangifera indica* L.) y su relación con el daño por frío. *SIMIENTE* 72 (3-4), 53 Congrso Agrónomas.
- Hodges D M, G E Lester, K D Munro, P M Toivonen A (2004)** Oxidative stress: Importance for postharvest quality. *HortScience*, 39: 924-929.
- Hodges D M (2003)** Overview: oxidative stress and postharvest produce. In:D.M. Hodges (ed). *Postharvest oxidative stress in horticultural crops*. Food Products Press, New York. 1-12.
- Hofman P J, D M Jobin, G F Meiburg, A J Macnish,. D C Joyce (2001)** Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya fruit to 1-methylcyclopropene. *Aust. J. Exp. Agric.* 41(4): 565-572.
- Holcroft M D, A A Kader (1999)** Controlled atmosphere-induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit, *Postharvest Biology and Technology*, 17: 19–32.

- Holland N, J M Sala, H C Menezes, M T LaFuente (1999)** Carbohydrate content and metabolism as related to maturity and chilling sensitivity of cv. Fortune mandarin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 2513-2518.
- Hua J, E M Meyerowitz (1998)** Ethylene responses are negatively regulated by a receptor gene family in *Arabidopsis thaliana*. *Cell*, 94: 261-271.
- Hyodo H, C Hashimoto, S Morozumi, M Ukai, C Yamada (1993)** Introduction of ethylene production and lignin formation in wounded mesocarp tissue of *Cucurbita maxima* L. *Acta Horticulturae*, 343: 264-482.
- Jalloul A, J L Montillet, K Assigbetse, J P Agnel, E Delannoy, C Triantaphylides, J F Daniel, P Marmey, J P Geiger, M Nicole (2002)** Lipid peroxidation in cotton: Xanthomonas interactions and the role of lipoxygenases during the hypersensitive reaction. *Plant Journal*, 32: 1-12.
- Jansasithorn R, S Kanlavanarat (2006)** Effect of 1-mcp on physiological changes in banana 'Khai'. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 712: 723-728.
- Jeong J, Huber D J, S A Sargent (2002)** Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and cell-wall matrix polysaccharides of avocado (*Persea americana*) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 25(3): 241-256.
- Jiang W, M Zhang, J He, L Zhou (2004)** Regulation of 1-MCP-Treated Banana Fruit Quality by Exogenous Ethylene and Temperature. *Food Science and Technology International*, 10 (1): 15-20.
- Jiménez A, F Romojaro, J M Gomez, M R Llanos, F Sevilla (2003)** Antioxidant systems and their relationship with the response of pepper fruits to storage at 20 degrees C. *Journal of Agricultural of Food Chemistry*, 51: 6293-6299.
- Jin K Y (2006)** 1-MCP Inhibits Ethylene Action and Biosynthesis. Floriculture and Landscape Plants Lab.
- Jin P, Y H Zheng, C M Cheng, H Y Gao, W X Chen, H J Chen (2006)** Effect of methyl jasmonate treatment on fruit decay and quality in peaches during storage at ambient temperature. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 712: 711-716.
- Kader A A (1995)** Regulation of fruit physiology by controlled/modified atmospheres. *Acta Horticulturae*, 398: 59-70.
- Kader A A (2003)** A summary of CA requirements and recommendations for fruits other than apples and pears. *Acta Horticulturae*, 600: 737-740.
- Kader A A, S Ben-Yehoshua (2000)** Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 20: 1-13.
- Katz E, P Martinez Lagunes, J Riov, D Weiss, E E Goldschmidt (2004)** Molecular and physiological evidence suggests the existence of a system II-like pathway of ethylene production in non-climacteric *Citrus* fruit. *Planta*, 219: 243-252.
- Kawano T, S Muto (2000)** Mechanism of peroxidase actions for salicylic acid-induced generation of active oxygen species and an increase in cytosolic calcium in tobacco cell suspension culture. *Journal Experimental Botany*, 51: 685-693.
- Kim J H, S Y Lee, S Y Oh, S I Han, H G Park, M A Yoo, S K Ho (2004)** Methyl jasmonate induces apoptosis through induction of Bax/Bcl-Xs and activation of caspase-3 via ROS production in A549 cells. *Oncology Reports*, 12: 1233-1238.
- Kim H O, E W Hewett, N Lallu (2001)** Softening and ethylene production of kiwifruit reduced with 1-methylcyclopropene. *Acta Horticulturae*, 553: 167-170.
- Lafuente M T, J M Sala, L Zacarias (2004)** Active oxygen detoxifying enzymes and phenylalanine ammonia-lyase in the ethylene-induced chilling tolerance in citrus fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(11): 3606-3611.

- Lafuente M T, L Zacarias, M A Martínez-Téllez, M T Sanchez-Ballesta, E Dupille (2001)** Phenylalanine ammonia-lyase as related to ethylene in the development of chilling symptoms during cold storage of citrus fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 6020–6025.
- Lafuente M T, L Zacarias, M A Martínez-Téllez, M T Sánchez-Balesta, A Granella (2003)** Phenylalanine ammonia-lyase and ethylene in relation to chilling injury as affected by fruit age in citrus. *Postharvest Biology and Technology*, 29: 308-317.
- Lalel H J D, S Zora, S C Tan (2003)** The role of methyl jasmonate in mango ripening and biosynthesis of aroma volatile compounds. *Journal of horticultural science & biotechnology*, 78 (4): 470-484.
- Lee H J, T C Kim, S J Kim, S J Park (2004)** Bruising injury of persimmon (*Diospyros kaki* cv. *Fuyu*) fruits. *Scientia Horticulturae*. In process.
- Lelièvre J M, L Tichit, P Dao, L Fillion, Y W Nam, J C Ppetch, A Latche (1997)** Effects of chilling on the expression of ethylene biosynthetic genes in Passe-Crassane pear (*Pyrus communis* L.) fruits. *Plant Molecular Biology*, 33: 847-55.
- Levin A, S Lurie, Y Zutkhi, R Ben-Arie (1995)** Physiological effects of controlled atmosphere storage on ‘Fiesta Red’ nectarines. *Acta Horticulturae*, 379: 121–127.
- Li C, L A Schillmiller, G Liu, G Gyu In Lee, S Jayanty, C S Carolyn, J Vrebalov, J James, J J Giovannoni, K Yagi, Y Kobayashi, G A Howe (2005)** Role of b-Oxidation in Jasmonate Biosynthesis and Systemic Wound Signaling in Tomato. *The Plant Cell*, 17: 971–986.
- Lipton W J, Y Aharoni (1979)** Chilling injury and ripening of ‘Honey Dew’ muskmelons stored at 2.5 or 5°C after ethylene treatment at 20°C. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 104: 327-330.
- Lloyd R A, W T Pentzer (1982)** Handling, transportation and storage of fruits and vegetables. *Fruits and tree nuts*, 2. AVI. Connecticut.
- Lurie S (1992)** Modified atmosphere storage of peaches and nectarines to reduce storage disorders. *Journal International Food Science and Technology*, 27: 507–514.
- Lurie S, A Weksler (2004)** Effects of 1-Methylcyclopropene on Stone Fruits. Department of Postharvest Science, Volcani Center, ARO, Bet Dagan 50250, Israel. From the 5th International Postharvest Symposium, Verona, Italy, June 6-11.
- Mackerness S A H, S L Surplus, P Blake, C F John, V W Buchanan, B R Jordan, B Thomas (1999)** Ultraviolet-B-induced stress and changes in gene expression in *Arabidopsis thaliana*: role of signalling pathways controlled by jasmonic acid, ethylene and reactive oxygen species. *Plant Cell Environmental*, 22: 1413–1423.
- MacLeod R F, A A Kader, L L Morris (1976)** Stimulation of ethylene and CO<sub>2</sub> production of mature-green tomatoes by impact bruising. *HortScience*, 11: 604-606.
- Malcolm G L (2005)** Advancements in the implementation of CA technology for storage of perishable commodities. *Acta Horticulturae*, 682: 1593–1597.
- Manzano E J (2001)** Caracterización de algunos parámetros de calidad en frutos de zapote mamey (*Calocarpum sapota* (Jacq) Merr. en diferentes condiciones de almacenamiento. *Pross. Soc. Trop. Hort.*, 43: 53-56.
- Martínez M A (1998)** Fisiología de la maduración de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn). Tesis de Maestría, Colegio de Posgraduados, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Montecillo, Estado de México, México.
- Martínez M A, T I Alia, M T Colinas L (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(2): 51–57.

- Martínez T M A, G O Pérez T, T O Briceño, A I Vargas, J C Díaz P (1999)** Actividad de polifenoloxidasa y peroxidasa en frutos de mamey sapote (*Pouteria sapota*). *Revista Iber. Tecnología Postcosecha*, 1(2): 120-125.
- Mathooko F M, Y Tsunashima, Y Kubo, A Inaba (2004)** Expression of a 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) oxidase gene in peach (*Prunus persica* L.) fruit in response to treatment with carbon dioxide and 1-methylcyclopropene: possible role of ethylene. *African Journal of Biotechnology*, 3 (10): 497-502.
- Mauch F, A Kmecl, U Schaffrth, S Volrath, J Gorlach, E Ward, J Ryals, R Dudler (1997)** Mechanosensitive expression of a lipoxigenase gene in wheat. *Plant Physiology*, 114: 1561-1566.
- May M J, T Vernoux, C Leaver, M Van montagu, D Inze (1998)** Glutathion homeostasis in plants: implications for environmental sensing and plant development. *Journal of Experimental Botany*, 49: 649-667.
- McKeon T A, S F Yang (1987)** Biosynthesis and metabolism of ethylene. En *Plant Hormones, their role in plant growth development*. Davies PJ (Ed). *Nijhoff, Dordrecht, Netherlands*, pp. 94-112.
- McMurchie E J, W B McGlasson, I L Eaks (1972)** Treatment of fruit with propylene gas gives information about the biogenesis of ethylene. *Nature*, 237: 235 – 236.
- Meir S, P S Hadas, S Lurie, S Droby, M Akerman, G Zauberman, B Shapiro, E Cohen, Y Fuchs (1996)** Reduction of chilling injury in stored avocado, grapefruit, and bell pepper by methyl jasmonate. *Canadian Journal of Botany*, 74: 870–874.
- Mir N, E Curell, N Khan, M Whitaker, R M Beaudry (2001)** Harvest maturity, storage temperature, and 1-MCP application frequency alter firmness retention and chlorophyll fluorescence of Redchief Delicious' apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126: 618-624.
- Moosler M A, O N Nesheim (2002)** Florida Crop/Pest Management profile. Mamey sapote and sapotilla. University of Florida. Cooperative Extensión Service. *Institute of Food and Agricultural Sciences*, <http://edis.ifas.ufl.edu/P1054>.
- Morton J (1987)** Fruits of warm climates. Miami, Florida, USA. Oktay, M.; Kûfrevioglu, I.; Kocalliskan, I.; Sakiroglu, H. 1995. Polyphenoloxidase from 'Amasya' apple. *Journal Food Sciences*, 60: 494-496.
- Nair S, Z Singh (2003)** Pre-storage ethrel dip reduces chilling injury, enhances respiration rate, ethylene production and improves fruit quality of 'Kensington' mango. *Food Agriculture & Environment*, 1 (2): 93-97.
- Nair S, Z Singh, S C Tan (2003)** Chilling storage temperature affects ethylene biosynthesis in mango fruit during ripening. *Acta Horticulturae*.(in press).
- Narciso A, W M Franklin (1976)** Cultivation of neglected tropical fruits with promise Part 2. The Mamey sapote. *Agricultural Research Service*, US Department of Agriculture.
- Nava C Y, M Ricker (2004)** El Zapote Mamey [*Pouteria saspota* (Jacq.) H. Moore y Stearn], un fruto de la selva mexicana con alta valor comercial. Alexiades, N. M. y P. Shanley. 2004. Productos Forestales, Medios de Subsistencia y Conservación. Estudio de caso Sobre Sistemas de Manejo de Productos Forestales no Maderables. *America Latina*, 3 (132): 43-62.
- Neven L G, D W Haskell, C L Guy, N Denslow, PA Klein, L G Green, A Silverman (1992)** Association of 70-kilodalton heat-shock cognate proteins with acclimation to cold. *Plant Physiology*, 99: 1362-1369.
- Nibbe M, B Hilpert, C Wastermack, O Miersch, K Apel (2002)** Cell death and salicylate- and jasmonate- dependent stress responses in *Arabidopsis* are controlled by single *cet* genes. *Plant*, 216: 120-128.

- Noctor G, A M Arisi, L Jouanin, K J Kunert, H Rennenberg, C H Foyer (1998)** Glutathione: biosynthesis, metabolism and relationship to stress tolerance explored in transformed plants. *Journal Experimental Botany*, 49: 623-647.
- O'Donnell P J, C Calvert, R Atzorn, C Wasternack, M O Leyser H, D J Bowles (1996)** Ethylene as a signal mediating the wound response of tomato plants. *Science*, 274: 1914-1917.
- Orozco C M, C A Ryan (1999)** Hydrogen peroxide is generated systemically in plant leaves by wounding and systemin via the octadecanoid pathway. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96: 6553-6557.
- Osuna G JA, G.E Montalvo C, O M Mata M, G B Tovar (2007)** Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) y tratamiento hidrotérmico sobre la fisiología y calidad del mango 'KEITT', *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XIII (2): 157-163.
- Palou L, C H Crisosto, D Garner, L.M Basinal (2003)** Effect of continuous exposure to exogenous ethylene during cold storage on postharvest decay development and quality attributes of stone fruits and table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 27: 243-254.
- Pareek A, S L Singla, A Grover (1995)** Immunological evidence for accumulation of two high-molecular-weight (104 and 90 kDa) HSPs in response to different stresses in rice and in response to high temperature stress in diverse plant genera. *Plant Molecular Biology*, 29: 293-301.
- Pei Z M, Y Murata, G Benning, S Thomine, B Klusener, G J Allen, E Grill, J I Schroeder (2000)** Calcium channels activated by hydrogen peroxide mediate abscisic acid signalling in guard cells. *Nature*, 406: 731-734.
- Pellinen R, T Palva, J Kangasjärvi (1999)** Short communication: Subcellular localization of ozone-induced hydrogen peroxide production in birch (*Betula pendula*) leaf cells. *Plant Journal*, 20: 349-356.
- Penchaiya P, R Jansasithorn, S Kanlavanarat (2006)** Effect of 1-mcp on physiological changes in mango 'Nam Dokmai'. *Acta Horticulturae*, 712: 717-722.
- Pennington T D, J Sarukhán (1998)** Árboles tropicales de México: Manual para la Identificación de las Principales Especies. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. D. F. México. 518.
- Peña C H, T Albrecht, S Prat, E W Weiler, L Willmitzer (1993)** Aspirin prevents wound-induced gene expression in tomato leaves by blocking jasmonic acid biosynthesis. *Planta*, 191: 123-128.
- Pesis O E, R B Feygenberg, V Hershkovitz, M Ackerman, D Prusky (2003)** Aplicación poscosecha del 1-mcp para mejorar la Calidad de varios cultivares de aguacate. Department of Postharvest Science of Fresh Produce, A.R.O., the Volcani Center, P.O. Box 6, Bet Dagan 50250, Israel. Congreso Mundial del Aguacate V. Resúmenes. A-4. pg. 58-59.
- Peskan T, M Westermann, R Oelmuller (2000)** Identification of low-density Triton X-100-insoluble plasma membrane microdomains in higher plants. *Europea Journal Biochemistry*, 267: 6989-6995.
- Pineda C E (2002)** CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal) Caracterización de variedades de Zapote. *Boletín Técnico* No.6: 17 p.
- Piña D G, V C Saucedo, E V Ayala, L A Muratalla (2001)** Atmósferas controladas para combatir daños poscosecha en Zarcamora (*Rubus* sp.), *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 18: 87-105.
- Pirrung M C (1999)** Histidine kinases and two-component signal transduction systems. *Chemical Biology*, 6: R167-R175.

- Poneleit L S, D Dilley (1993)** Carbon dioxide activation of 1- amonocyclopropane-1-carboxylate (ACC) oxidase in ethylene synthesis. *Postharvest Biology and Technology*, 3: 191–199.
- Porat R, B Weiss, L Cohen, A Daus, R Goren, S Droby (1999)** Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on the postharvest qualities of ‘Shamouti’ oranges. *Postharvest Biology and Technology*, 15: 155-163.
- Porta H, M S Rocha (2002)** Plant lipoxygenases. Physiological and molecular features. *Plant Physiology*, 130: 15-21.
- Qiuping Z, X Wenshui, Y Jiang (2006)** Effects of 1-Methylcyclopropene Treatments on Ripening and Quality of Harvested Sapodilla Fruit, *Food Technology and Biotechnology*, 44 (4): 535–539.
- Rao M V, K R Davis (1999)** Ozone-induced cell death occurs via two distinct mechanisms in *Arabidopsis*: The role of salicylic acid. *Plant Journal*, 17: 603–614.
- Retamales J, T Cooper, J Streif, J C Kama (1992)** Preventing cold storage disorders in nectarines. *Journal Horticulturae Science*, 67: 619-626.
- Ricker M (2001)** Manejo y evaluación económica de una especie arbórea de la selva tropical: El mamey (*Pouteria sapota*). En: Rendón, A.B., Rebollar, S.D., Caballero, J.N. y Martínez-Alfaro, M.A.(eds.) Plantas, cultura y sociedad: estudio sobre la relación entre seres humanos y plantas en los albores del siglo XXI. Universidad Autónoma Metropolitana (Iztapalapa), México D.F., México. pp. 287-307.
- Robbins J, J Fellman (1993)** Postharvest physiology, storage and handling of red raspberry. *Postharvest New and Information*, 4: 53-59.
- Rodriguez F I, J J Esch, A E Hall, B M Binder, G E Schaller, A B Bleecker (1999)** A copper cofactor for the ethylene receptor ETR1 from *Arabidopsis*. *Science*, 283: 996–998.
- Rojo E, R Solano, J J Sanchez-Serrano (2003)** Interactions between signaling compounds involved in plant defense. *Journal of Plant Growth Regulation*, 22: 82-98.
- Ronald P (1998)** Resistance gene evolution. *Curr. Opin. Plant Biology*, 1: 294-298.
- Sabehat A D, W Weiss, S Lurie (1996)** The correlation between heat-shock protein accumulation and persistence and chilling tolerance in tomato fruit. *Plant Physiology*, 110: 531-537.
- Saltviet M A (2002)** The rate of ion leakage from chilling-sensitive tissue does not immediately increase upon exposure to chilling temperature. *Postharvest Biology Technology*, 26: 295-304.
- Saltveit M A (2003)** A summary of CA requirements and recommendations for vegetables. *Acta Horticulturae*, 600:723–727.
- Saltveit M E (1999)**. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technololy*, 15: 279-292.
- Saltveit M E, A R Sharaf (1992)** Ethanol inhibits ripening of tomato fruit harvested at various degrees of ripeness without affecting subsequent quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117 (5):793-798.
- Saltveit M E, L L Morris (1990)** Overview on chilling injury of horticultural crops. In: C.Y. Wang (ed) Chilling Injury of Horticultural Crops. CRC Press, Boca Raton FL, pp. 3-15.
- Salvador A, L Arnal, M J Carot, P C Carvalho, J M Jabaloyes (2006a)** Influence of Different Factors on Firmness and Color Evolution During the Storage of Persimmon cv. 'Rojo Brillante'. *Journal of Food Science*, 71 (2): S169–S175.
- Salvador A, C P Carvalho, A Monterde, J M Martínez-Jávega (2006b)** 1-MCP Effect on Chilling Injury Development in ‘Nova’ and ‘Ortanique’ Mandarins. *Food Science Technology Int*, 12(2):165–170.



- Sandoval M E, A E Nieto, T I Alia, M V López, M T Colinas L, M A Martínez, D C Acosta M, R M Andrade, T O Villegas, D S Guillén (2006)** Crecimiento del fruto de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) en Morelos, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29 (2): 59 – 62.
- Saucedo V C, M A Martínez, F S Chávez H, H R Soto M (2001)** Maduración de frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq) H. E. Moore & Stearn) tratados con etileno, *Revista Fitotecnia Mexicana*, 24 (2): 231-234.
- Schöffl F, R Prändl, A Reindl (1998)** Regulation of the heat-shock response. *Plant Physiology*, 117: 1135–1141.
- SIAP-SAGARPA, (2006)** Anuario estadístico de la producción de los Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural, D. F. México.
- Silva S M, E C Santos, A F Santos, I R Silveira, R M Mendonca R E Alves (2004)** Influence of 1-Methylcyclopropene on postharvest conservation of exotic mango cultivars. *Acta Horticulturae*, 645: 565-572.
- Singh Z, J Janes (2001)** Effects of postharvest application of ethepho non fruit ripening, quality and shelf life of mango under modified atmosphere packaging. *Acta Horticulturae*, 553: 599-601.
- Sisler E C, R Goren (1981)** Ethylene binding- basis for hormone action in plants. What's new in *Plant physiology*, 12: 37-40.
- Sisler E C, M Serek (1997)** Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. *Physiologia Plantarum* 100: 577 – 582.
- Sisler E C, M Serek (2003)** 'Compounds interacting with the ethylene receptor in plants'. *Plant Biology*, 5: 473–480.
- Sisler E C, S M Blankenship, M Guest (1990)** Competition of cyclooctenes and cyclooctadienes for ethylene binding and activity in plants. *Plant Growth Reg.*, 9: 157-164.
- Sitia R, S N Molteni (2004)** Stress, protein (mis) folding, and signaling: the redox connection. *Science*, pp: 27.
- Smith J M, R N Arteca (2000)** Molecular control of ethylene production by cyanide in *Arabidopsis thaliana*. *Physiology Plant*, 109: 180–187.
- Smith A, W Jeith, W Waldron, N Manes, Perquins-Veazie (2003)** Vegetable Textura: Measurement and Structural Implicacion. In: Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables. J A Bartz, J K Brech (eds). Marcel Dekker, Inc. U.S.A. pp: 297-330.
- Soliva-Fortuny R C, N Grigelmo-Miguel, I Hernando, M A Lluch, O Martín-Belloso (2002)** Effect of minimal processing on the textural and structural properties of fresh-cut pears. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82: 1682-1688.
- Sopee A, C Techavuthiporn, S Kanlavanarat (2006)** High carbon dioxide atmospheres improve quality and storage life of rambutan (*Nephellium lappaceum* L.) Fruit. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 712: 865-872.
- Srialong V, Y Tatsumi, M Ishimaru (2006)** Regulation of O<sub>2</sub> levels in controlled atmosphere storage on the respiratory and activity of tca cycle relates enzymes in cucumber fruit. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 712: 661-666.
- Stewart D (2003)** Effect of high O<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> atmospheres in strawberry quality. *Acta Horticulturae*, 600: 567–570.
- Strassner J, F Schaller, U B Frick, G A Howe, E W Weiler, N Amrhein, P Macheroux, A Schaller (2003)** Characterization and cDNA-microarray expression analysis of 12-oxophytodienoate reductases reveals differential roles for octadecanoid biosynthesis in the local versus the systemic wound response. *Plant Journal*, 32: 585–601.

- Streif J, J Retamales, T Cooper, J C Kania (1992).** Storage of nectarines in CA and high CO<sub>2</sub> concentrations to reduce physiological disorders. *Gartenbauwissenschaft*, 57: 166–172.
- Suharsono U, Y Fujisawa, T Kawasaki, Y Iwasaki, H Satoh, K Shimamoto (2002)** The heterotrimeric G protein alpha subunit acts upstream of the small GTPase Rac in disease resistance of rice. *Proc Natl Acad Sci USA*, 99: 13307–13312.
- Sun W, C Bernard, B van de Cotte, M van Montagu, N Verbruggen (2001)** At-HSP17.6A, encoding a small heat-shock protein in Arabidopsis, can enhance osmotolerance upon overexpression. *Plant Journal*, 27: 407–415.
- Sun W, M Van Montagu, N Verbruggen (2002)** Small heat shock proteins and stress tolerance in plants. *Biochimistry Biophysical Acta*, 1577: 1–9.
- Tatsuki M, A Endo (2006)** Analyses of expression patterns of ethylene receptor genes in apple (*Malus domestica* Borkh.) fruits treated with or without 1-methylcyclopropene (1-MCP). *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.*, in press.
- Torrice P F A (1991)** Caracterización de la flora aprovechable en la región de Ochoapa, municipio de Tecoaapa, estado de Guerrero. UAM-Xochimilco. 60 pp.
- Trainotti L, A Pavanello, G Casadoro (2005)** Different ethylene receptors show an increased expression during the ripening of strawberries: does such an increment imply a role for ethylene in the ripening of these non-climacteric fruits? *Journal of Experimental Botany*, 56: 2037–2046.
- Turner R J (1994)** ‘Immunology: a comparative approach.’ (John Wiley and Sons Ltd: London).
- Turner J G, C Ellis, A Devoto (2002)** The jasmonate signal pathway. *The Plant Cell*, 14 Supplement: S153-S164.
- Ulrich H (2002)** Irrungen, Wirungen? The Mehler reaction in relation to cyclic electron transport in C<sub>3</sub> Plants. *Photosynthesis Research*, 73: 233-231.
- Valdenegro M, F B Flores, F Romojaro, M Ramírez, M C Martínez-Madrid (2005)** Susceptibility of spanish melon fruits to chilling injury during cold storage. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 682:1219-1226.
- Vergano P J, R F Testin, W C Newall (1991)** Peach bruising: susceptibility to impact, vibration, and compression. *Trans. ASAE*, 34: 2110-2116.
- Vianello A, F Macri (1991)** Generation of superoxide anion and hydrogen peroxide at surface of plant cells. *Journal Bioenergy Biomembrane*, 23: 409-423.
- Vick B A, D C Zimmerman (1987)** Pathway metabolism in spinach leaf chloroplasts. *Plant Physiology*, 85: 1073-1078.
- Vorwerk S, S Somerville, C Somerville (2004)** The role of plant cell wall polysaccharide composition in disease resistance. *Trends in Plant Science*, 9: 203-209.
- Wakasa Y, H Kudo, R Ishikawa, S Akada, M Senda, M Niizeki, T Harada (2006)** Low expression of an endopolygalacturonase gene in apple fruit with long-term storage potential. *Postharvest Biology and Technology*, 39: 193–198.
- Walker M A, B O McKersie, K P Pauls (1990)** Effect of chilling on the biochemical and functional properties of thylakoid membranes. *Plant Physiology*, 97: 663-669.
- Wamer H, G Kollmans, B Bates, D Faubion (2003)** Appes and beyond: future goals of 1-MCP. *Acta Horticulturae*, 628: 221-226.
- Wang C Y (1990)** Alleviation of chilling injury of horticultural crops. In *Chilling injury of Horticultural Crops* Wang, C. Y. (Ed). CRC Press: Boca Raton, FL, 1990. 281-302.
- Wang C Y (1993)** Approaches to reduce chilling injury of fruits and vegetables. *Horticulturae Reviv.* 15: 63-95.
- Wang C Y (1994)** Reduction of chilling injury by methyl jasmonate. *Acta Horticulturae*, 368: 901-907.

- Wang C Y, J G Buta (1994)** Methyl Jasmonate reduces chilling injury in *Curcubita pepo* through its regulation of abscisic acid and polyamine levels. *Environmental and Experimental Botany*, 34: 427–432.
- Wang K L C, H Li, J R Ecker (2002)** Ethylene biosynthesis and signalling networks. *The Plant Cell*, S131–S151.
- Watkins C B (2002)** ‘Ethylene synthesis, mode of action, consequences and control’, in M. Knee (Ed.) *Fruit Quality and its Biological Basis*, Sheffield Academic Press, pp.180–224.
- Watkins C, J F Nock (2004)** SmartFresh™ (1-MCP) The Good and Bad as We Head Into the 2004 Season. *New York Fruit Quarterly*, 12 (3): 3-8.
- Watkins C B, J F Nock, B D Whitaker (2000)** Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) under air and controlled atmosphere storage conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 19: 17-23.
- Wild P J H, A P Balk, C A Fernandes E, H W Peppelenbos (2003)** Carbon dioxide action on ethylene biosynthesis of preclimacteric and climacteric pear fruit, *Journal of Experimental Botany*, 54: 1537-544.
- Wills R B H (1998)** Enhancement of senescence in nonclimacteric fruit and vegetables by low ethylene levels. *Acta Horticulturae*, 464: 159-162.
- Wills R H H, T H Lee, D Graham, W B McGlasson, E G Hall (1981)** *Postharvest - An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables*. AVI Pub., Westport CT, 163 pp.
- Wills R B H, V V Ku V, M A Warton (2002)** Use of 1-methylcyclopropene to extend the postharvest life of lettuce. *Journal for the Science of Food and Agriculture*, 82(11): 1253-1255.
- Wismer W V (2003)** Low temperature as a causative agent of oxidative stress in postharvest crops. In: D.M. Hodges (ed.). *Postharvest oxidative stress in horticultural crops*. Food Products Press, New York.55-68.
- Wolucka B A, A Goossens, D Inzé (2005)** Methyl jasmonate stimulates the *de novo* biosynthesis of vitamin C in plant cell suspensions. *Journal of experimental Botany*, 56 (419): 2527–2538.
- Woolf B A, C Requejo-Tapia, A K Cox, C R Jackman, A Gunson, L M Arpaia, A White (2005)** 1-MCP reduces physiological storage disorders of ‘Hass’ avocados. *Postharvest Biology and Technology*, 35: 43-60.
- Xuetong F, J P Matheis (1998)** Development of apple superficial scald, soft scale, core flush and greasiness require ethylene action. Tektran. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service.
- Yahia EM (2006)** Effects of insect quarantine treatments on the quality of horticultural crops. *Stewart Postharvest Review*: 1(6): 1–18.
- Yan J Q, J Wang, D Tissue, A S Holiday, R Allen, H Zhang (2003)** Photosynthesis and seed production under water-deficit condition in transgenic tobacco plants that over-express an Arabidopsis ascorbate peroxidase gene. *Crop Science*, 43: 1477-1483.
- Yang S F, N E Hoffman (1984)** Ethylene biosynthesis and regulation in higher plants. *Ann. Review. Plant Physiology*, 35: 155-189.
- Yang T, B W Poovaiah (2002)** Hydrogen peroxide homeostasis: activation of plant catalase by calcium/calmodulin. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 99: 4097-4102.
- Yang Y, J Shah, D F Klessing (1997)** Signalperception and transductionfactor. *Trends in plant Science*, 7: 555-560.
- Yerlikaya A (2004)** Polyamines and S-Adenosylmethionine Decarboxylase. *Türk Biyokimya Dergisi. Turkish Journal of Biochemistry - Turk J Biochem*, 29 (2): 208-214.

- Yoda H, Y Yamaguchi, S Hiroshi (2003)** Induction of Hypersensitive Cell Death by Hydrogen Peroxide Produced through Polyamine Degradation in Tobacco Plants. *Plant Physiology*, 132: 1973–1981.
- Yu C W, T M Murphy, W W Sung, C H Lin (2002)** H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> treatment induces glutathione accumulation and chilling tolerance in mung bean. *Function Plant Biology*, 29: 1081–1087.
- Yuehui H, H Fukushige, F D Hildebrand, G S Susheng (2002)** Evidence Supporting a Role of Jasmonic Acid in Arabidopsis Leaf Senescence. *Plant Physiology*, 128: 876–884.
- Zacaría L (1993)** Etileno. 343-356. In: Azcón-Bieto, J. y M. Talón. (Ed.) Fisiología y Bioquímica Vegetal. Interamericana McGraw-Hill, Madrid, España. 581 pp.
- Zhang M J, Y M Jiang, W B Jiang, X J Xue-Jun L (2006)** Regulation of Ethylene Synthesis of Harvested Banana Fruit by 1-Methylcyclopropene. *Food Technology Biotechnology*, 44 (1): 111–115.
- Zheng Y, C Y Wang, S Y Wang, W Zheng (2003)** Effect of high-oxygen atmospheres on blueberry phenolics, anthocyanins, and antioxidant capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 7162–7169.
- Zhou H W, S Lurie, A Lers, A Khatchitski, L Sonogo, R Ben-Arie (2000)** Delayed storage and controlled atmosphere storage of nectarines: two strategies to prevent woolliness. *Postharvest Biology and Technology*, 18: 133–141.
- Zoffoli J P, J Rodríguez, J Retamales, B Defilippi (2002)** Effectiveness of 1-MCP on postharvest deterioration of nectarines and peaches stored at different temperatures. *Acta Horticulturae*, 2(592): 567-572.
- Zolman B K, B Bartel (2004)** An Arabidopsis indole-3-butyric acid-response mutant defective in PEROXIN6, an apparent ATPase implicated in peroxisomal function. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 101: 1786–1791.