



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA**

**NUTRICIÓN MINERAL E INOCULACIÓN CON HONGOS MICORRIZICOS
EN LA CALIDAD POSTCOSECHA DE FRUTOS DE PAPAYA MARADOL**

MARCOS VENTURA VÁZQUEZ HERNÁNDEZ

**T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MEXICO

2011

La presente tesis titulada: “NUTRICIÓN MINERAL E INOCULACIÓN CON HONGOS MICORRIZICOS EN LA CALIDAD POSTCOSECHA DE FRUTOS DE PAPAYA MARADOL” realizada por el alumno Marcos Ventura Vázquez Hernández, con la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

FRUTICULTURA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA:



DRA. MA. DE LOURDES C. ARÉVALO GALARZA

ASESOR:



DR. ELIAS HERNÁNDEZ CASTRO

ASESOR:



DR. JOSÉ ANTONIO MORA AGUILERA

ASESOR:



DR. JUAN CIBRIAN TOVAR

ASESOR:



DR. DANIEL TÉLIZ ORTÍZ

ASESOR:



DR. JOSÉ LUIS ESCAMILLA GARCÍA

Montecillo Texcoco, Estado de México, Diciembre de 2011

NUTRICIÓN MINERAL E INOCULACIÓN CON HONGOS MICORRIZICOS EN LA CALIDAD POSTCOSECHA DE FRUTOS DE PAPAYA MARADOL

Marcos Ventura Vázquez Hernández, Dr.
Colegio de Posgraduados, 2011

Las aplicaciones constantes de fertilizantes minerales son requeridas por las plantas de papaya para su crecimiento y producción continua, incrementando los costos de producción. Es por ello indispensable estudiar otras fuentes de fertilización que incrementen el rendimiento, aminoren los costos de producción y sean menos dañinos al medioambiente, como es el caso de las micorrizas y fertilizantes orgánicos. Dada la importancia del cultivo es importante estudiar los efectos de estas fuentes de fertilización en la calidad de frutos, así como la interacción con tratamientos postcosecha para conservar las características de calidad. En este sentido, la presente investigación consta de tres capítulos cuyos objetivos son: capítulo 1: evaluar el efecto de las micorrizas *Glomus mosseae* y *Entrophospora colombiana* en el desarrollo de las plantas, producción y calidad de frutos de papaya 'Maradol'; capítulo 2: evaluar la respuesta de frutos de papaya 'Maradol' provenientes de plantas inoculadas con *Glomus mosseae* a los tratamientos postcosecha con aplicación de 1-metilciclopropeno y almacenamiento a baja temperatura y el capítulo 3: a) evaluar el efecto de la fertilización orgánica y uso de un inoculante comercial (PHC Hortic Plus®) en la calidad de frutos de papaya y b) evaluar el efecto de técnicas de conservación (1-metilciclopropeno, uso de cera y refrigeración (10 ± 1 °C, 10 días)) sobre la calidad de frutos de papaya. Los resultados mostraron que la inoculación de plantas de papaya con micorrizas incrementó el rendimiento y peso de los frutos, sin afectar las variables de calidad (color, azúcares totales), además de reducir la pérdida de peso y retrasar la pérdida de firmeza durante la maduración de frutos; La inoculación con *G. mosseae* no afectó la respuesta de los frutos de papaya a los tratamientos postcosecha; El uso de micorrizas y materia orgánica en la producción resultó en frutos de mayor tamaño, firmeza y tono de pulpa, a la vez que desarrollaron mejor color y perdieron menos peso durante la maduración.

Palabras clave: *Carica papaya*, *Glomus mosseae*, *Entrophospora colombiana*, calidad postcosecha, tratamientos postcosecha.

MINERAL NUTRITION AND INOCULATION WITH MYCORRHIZAL FUNGI ON POSTHARVEST FRUITS QUALITY OF PAPAYA MARADOL

Marcos Ventura Vázquez Hernández, Dr.
Colegio de Posgraduados, 2011

Multiple applications of mineral fertilizers are required by papaya plants for its growth and continual production, increasing cost of production. Therefore is essential to explore other fertilization sources to increase yield, reduce costs and are less harmful to the environment, such as the case of mycorrhizae and organic fertilizers. Given the importance of this fruit is important to study the effects of these sources of fertilization on fruit quality and postharvest treatments interaction to maintain the quality attributes. In this context the present research consists on three chapters with the following objectives: chapter 1: assess the effect of *G. mosseae* and *Entrophospora colombiana* on plant development, production and quality of 'Maradol' papaya fruits; chapter 2 assess the effect of storage period (10 and 20 days at 10 °C) and the use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on the quality and fruit ripening of papaya fruits produced by plants inoculated with *Glomus mosseae*; chapter 3 a) assess the effect of organic fertilization and use of a commercial inoculant (PHC Hortic Plus®) on quality of papaya fruit, and b) evaluate the effect of conservation techniques (1-methylcyclopropene, using wax and cooling (10 + 1 ° C, 10 days)) on quality of papaya fruits. The results showed that: papaya plants inoculated with mycorrhizae increased the yield and fruits weight, without affecting the quality variables (color, total sugars), besides reducing weight loss and delaying the loss of firmness during fruit ripening; Inoculations of papaya plants with *G. mosseae* did not affect the response of papaya fruits of postharvest treatments. The use of mycorrhizae and organic matter on papaya production resulted in larger fruit, and major pulp firmness and tone, while they developed better color and lost less weight during ripening.

Key words: *Carica papaya*, *Glomus mosseae*, *Entrophospora colombiana*, postharvest quality, postharvest treatments.

Dedicatoria

A Dios:

*Por darme la fortaleza para seguir
adelante en cada etapa de mi vida*

Con infinito amor a mi muy querida madre:

María del Socorro Hernández Félix

Con mucho cariño a mis hermanos:

*Aurelia, Benito, Reyna, Pablo,
Fatima, Leo, Pablo y Carolina*

Con mucho cariño y amor a:

Adelaida

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo otorgado para la realización de los estudios de Doctorado en Ciencias en el Colegio de Postgraduados.

A la Fundación Produce de Guerrero por el financiamiento otorgado al proyecto de investigación durante mis estudios de Doctorado en Ciencias en el Colegio de Postgraduados.

Al Colegio de Postgraduados en general y en especial al Programa de Fruticultura por la oportunidad y formación brindada.

A la Dra. Ma De Lourdes Arévalo Galarza por compartir su amplia experiencia en la dirección del presente trabajo de investigación, así como por sus valiosos y sabios consejos y por la amistad brindada que durará toda una vida.

Al M.C. David Jaén Contreras por el apoyo incondicional durante la realización de este proyecto, así como por la amistad que perdurará por siempre.

Al Consejo particular y en especial a: Dr. José Antonio Mora Aguilera y Dr. José Luis Escamilla García por el apoyo, confianza y sabios consejos brindados durante la realización de este proyecto.

A mis compañeros y amigos: Goyo, Leo, Guille, Arturo, Moy, Piedad, Caro, Violeta, Adriana, Ariday, Nain, Lupita y chely por compartir buenos momentos y experiencias durante los estudios y haber dejado una huella imborrable en mi vida.

Al Sr. Arturo López Veloz y Gabriel Vazquez, por su apoyo en el trabajo de laboratorio.

A todo el personal de Fruticultura por el apoyo brindado durante mis estudios.

A todos aquellos que en este momento escapan de mi memoria pero que de alguna manera contribuyeron en mi formación personal y profesional.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Objetivos específicos	5
Literatura Citada	5
CAPÍTULO I	
EFFECTO DE <i>Glomuss mosseae</i> Y <i>Entrophospora colombiana</i> EN EL CRECIMIENTO, PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE PAPAYA ‘MARADOL’ (<i>Carica papaya</i> L.)	
RESUMEN	9
1.1. Introducción	9
1.2. Materiales y métodos	11
1.2.1. Análisis y tratamiento del suelo.....	11
1.2.2. Producción de inóculo.....	12
1.2.3. Tratamiento y plantación.....	12
1.2.4. Colonización micorrízica y densidad de esporas	13
1.2.5. Contenido mineral en frutos	14
1.2.6. Evaluación postcosecha	14
1.2.7 Análisis estadístico	14
1.3. Resultados	15
1.3.1. Crecimiento de la planta	15
1.3.2. Rendimiento.....	15
1.3.3. Análisis del suelo y colonización micorrízica.....	16
1.3.4 Contenido nutrimental en frutos	17
1.3.5. Evaluación postcosecha.	17
1.4. Discusión	18
1.5. Conclusiones	20
Literatura citada	21

CAPÍTULO II

TRATAMIENTOS POSTCOSECHA PARA MANTENER LA CALIDAD DE FRUTOS DE PAPAYA DE PLANTAS BIOFERTILIZADAS

RESUMEN	27
2.1. Introducción	27
2.2. Materiales y métodos	28
2.2.1 Tratamientos de campo	28
2.2.2. Evaluación de la maduración	29
2.2.3. Aplicación de 1-MCP y almacenamiento refrigerado	29
2.2.4. Variables de estudio	30
2.2.5. Análisis estadístico	30
2.3. Resultados	30
2.3.1. Firmeza y actividad de pectinmetilesterasa (PME)	30
2.3.2. Pérdida de peso	32
2.3.3. Azúcares totales	33
2.3.4 Color de epidermis y pulpa (⁰ Hue)	33
2.4. Discusión	34
2.5. Conclusiones	36
Literatura citada	37

CAPÍTULO III

EFFECTO DEL USO DE MICORRIZAS Y FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN LA CALIDAD POSTCOSECHA DE PAPAYA ‘MARADOL

RESUMEN	41
3.1. Introducción	41
3.2. Materiales y Métodos	43
3.2.1. Antecedentes del cultivo	43
3.2.2. Experimento 1: Evaluación de la maduración	44
3.2.3. Experimento 2: Aplicación de 1-MCP, cera y almacenamiento refrigerado	44
3.2.4. Variables de estudio	45
3.2.4.1. Respiración y producción de etileno	45
3.2.4.2. Firmeza y actividad de pectinmetilesterasa (PME)	45
3.2.4.3. Pérdida de peso y contenido de azúcares totales	45
3.2.4.4. Color	46

3.2.4.5. Análisis estadístico	46
3.3. Resultados y Discusión	46
3.3.1. Experimento 1: evaluación de la maduración	46
3.3.1.1. Firmeza y actividad de pectinmetilesterasa (PME)	46
3.3.1.2. Pérdida de peso y contenido de azúcares totales	49
3.3.1.3. Color	49
3.3.2. Experimento 2: Aplicación de 1-MCP, cera y almacenamiento refrigerado	50
3.3.2.1. Respiración y producción de etileno	50
3.3.2.2. Firmeza y actividad de pectinmetilesterasa (PME)	52
3.3.2.3. Pérdida de peso y contenido de azúcares totales	54
3.3.2.4. Color	55
3.4. Conclusiones	56
Literatura citada	56
CONCLUSIONES GENERALES	62
APÉNDICE.....	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Comportamiento promedio de precios de fertilizantes importados a México (\$ USD Ton).....	1
Cuadro 1. 1.	Características del suelo del huerto experimental en que se desarrollaron plantas de papaya inoculadas con <i>Glomus mosseae</i> y <i>Entrophospora colombiana</i>	12
Cuadro 1. 2.	Altura de planta, diámetro de tallo y altura al primer fruto de plantas de papaya inoculadas con <i>Glomus mosseae</i> y <i>Entrophospora colombiana</i> a los 30, 120 y 210 días después del transplante.	15
Cuadro 1. 3.	Rendimiento, peso de frutos y frutos por planta de papaya inoculadas con <i>Glomus mosseae</i> y <i>Entrophospora colombiana</i>	16
Cuadro 1. 4.	Contenido de N, P, y K, colonización micorrízica y densidad de esporas del suelo al finalizar el experimento de inoculación de plantas de papaya con <i>Glomus mosseae</i> y <i>Entrophospora colombiana</i>	16
Cuadro 1. 5.	Contenido nutrimental de frutos de plantas de papaya inoculadas con <i>Glomus mosseae</i> y <i>Entrophospora colombiana</i>	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1.	Contenido de azúcares totales (A), firmeza (B), color (⁰ Hue en apidermis y pulpa) (C) y pérdida de peso (D) en frutos de papaya de plantas inoculadas con <i>Glomus mosseae</i> o <i>Entrophospora colombiana</i> almacenados a 20 °C. HSD: diferencia honesta significativa de Tukey ($P < 0.05$).....	18
Figura 2. 1.	Firmeza y actividad de pectinmetilesterasa (PME) de frutos de papaya almacenados a 20 (A, B) y 10 °C por 10 (C, D) y 20 días (E, F) seguido por almacenamiento a 20 °C. HSD=diferencia honesta significativa de Tukey ($P < 0.05$).	31
Figura 2. 2.	Pérdida de peso de frutos de papaya almacenados a 20 (A) y 10 °C por 10 (B) y 20 días (C) seguido por almacenamiento a 20 °C. HSD=diferencia honesta significativa de Tukey ($P < 0.05$).	33
Figura 3. 1.	Firmeza (A), actividad de pectinmetilesterasa (B), pérdida de peso (C) y contenido de azúcares totales (D) en frutos de papaya 'Maradol' de plantas inoculadas con micorrizas y/o fertilizadas con materia orgánica. HSD: Diferencia Honesta Significativa de Tukey ($P < 0.05$).	48
Figura 3. 2.	Tonalidad (⁰ Hue) de la epidermis y pulpa (A), luminosidad (valor L) de la epidermis (B) y pulpa (C) en frutos de papaya 'Maradol' de plantas inoculadas con micorrizas y/o fertilizadas con materia orgánica. HSD: Diferencia Honesta Significativa de Tukey ($P < 0.05$).....	50
Figura 3. 3.	Tasa respiratoria (arriba) y producción de etileno (abajo) en frutos de papaya 'Maradol' de plantas inoculadas con micorrizas y/o fertilizadas con materia orgánica, tratados con 1-MCP y/o cera almacenados a 10 °C por 10 días, seguido por almacenamiento a 20 °C. HSD: Diferencia Honesta Significativa de Tukey ($P < 0.05$).....	51
Figura 3. 4.	Firmeza (A), actividad de pectinmetilesterasa (B), pérdida de peso (C) y contenido de azúcares totales (D) en frutos de papaya 'Maradol' de plantas inoculadas con micorrizas y/o fertilizadas con materia orgánica, tratados con 1-MCP y/o cera almacenados a 10 °C por 10 días, seguido por almacenamiento a 20 °C. HSD: Diferencia Honesta Significativa de Tukey ($P < 0.05$).....	53
Figura 3. 5.	Tonalidad (⁰ Hue) de la epidermis y pulpa (A), luminosidad (valor L) de la epidermis (B) y pulpa (C) en frutos de papaya 'Maradol' de plantas inoculadas con micorrizas y/o fertilizadas con materia orgánica, tratados con 1-MCP y/o cera almacenados a 10 °C por 10 días, seguido por almacenamiento a 20 °C. HSD: Diferencia Honesta Significativa de Tukey ($P < 0.05$).....	55

INTRODUCCIÓN GENERAL

En la última década, México ha sido uno de los principales productores de papaya (*Carica papaya* L.) en el mundo junto con Indonesia, India y Brasil, conservando el primer lugar como exportador por más de 10 años (FAO, 2011). En el 2009 la FAO (2011) reportó una producción de 707347 ton, con un valor de producción de \$ USD 188 millones. En el 2008, el volumen de exportación fue de 90316 ton, las cuales cubrieron el 37 % de las exportaciones mundiales, con un valor de exportación superior a \$ USD 53 millones, teniendo a Estados Unidos como principal mercado (99.8 %) (FAO, 2011).

El cultivo de papaya requiere grandes cantidades de fertilizantes y agua para el crecimiento y producción continua de la planta (Nakasone y Paull, 1998). Sin embargo, el incremento en el precio de los fertilizantes importados (Cuadro 1) se ve reflejado en los altos costos de producción del cultivo.

Cuadro 1. Comportamiento promedio de precios de fertilizantes importados a México (\$ USD Ton).

Producto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Fertilizantes nitrogenados	235.1	311.1	408.9	522.4	506.1	657.1	1151.9
Fertilizantes fosfatados	4.4	1.1	2.0	4.1	1.9	1.4	3.9
Fertilizantes potásicos	207.7	230.1	299.8	360.8	376.7	428.8	1173.5

Fuente: FAO, 2011.

Por otra parte, el comercio internacional exige un sistema de producción con menor impacto ambiental, ya que el uso indiscriminado de fertilizantes minerales en la producción intensiva, como es el caso del cultivo de papaya, en suelos deficientes de nutrimentos y bajo contenido de materia orgánica, sin compensación de materia orgánica y acortar los periodos de preparación del terreno podría dar lugar a un desequilibrio de nutrientes y acidificación del suelo con muy escasos rendimientos (Isola, 1998). Por otra parte la FAO (1997) señala que la aplicación en exceso de fertilizantes minerales resulta en la eutrofización de aguas superficiales (por ejemplo: ríos y lagos) y contaminación de aguas

subterráneas de nitratos a tal grado de llegar a ser no aptas para el consumo humano. Con base en lo anterior, es necesario realizar cambios en los sistemas de producción, reemplazando, aún que sea de manera parcial, los fertilizantes minerales con otras fuentes de fertilización como son las micorrizas y fertilizantes orgánicos, que favorecen la diversidad de microorganismos del suelo (benéficos y antagonicos a patógenos) (Téliz y Mora 2007) y mejora la calidad de la estructura del suelo (Azcón-Aguilar y Berea, 1997); además de los grandes beneficios que aportan al cultivo, que finalmente repercuten en un mayor crecimiento y desarrollo de la planta e incremento en el rendimiento y algunos parámetros de calidad de frutos (Vázquez-Hernández *et al.*, 2011).

En este sentido las micorrizas son asociaciones que se establecen entre las raíces de la mayoría de las plantas vasculares terrestres (cerca del 90 %) y algunas especies de hongos micorrízicos (Smith y Read, 1997). La más común es la micorriza arbúscular, que ocurre en un 80 % de las especies vegetales (Brundrett, 2002). El termino arbúscular se refiere a los arbúsculos que forman dentro de las células de la raíz de las plantas. Por consiguiente, una micorriza arbuscular se define como una simbiosis mutualista con capacidad para producir arbusculos dentro de las células de plantas compatibles (Smith y Read, 1997). Las micorrizas arbusculares, también conocidas como vesículoarbusculares (HVA) son endomicorrizas, en donde las hifas se introducen inicialmente entre las células de la raíz, pero luego penetran en el interior de éstas, formando vesículas alimenticias y *arbúsculos*. Por ello se las conoce también como MVA. Una HVA tiene 3 componentes principales: raíz, las estructuras dentro de las células de la raíz y el micelio extraradical en el suelo (Smith y Read, 1997).

La planta recibe del hongo principalmente nutrientes minerales y agua (Selosse *et al.*, 2006) y el hongo obtiene de la planta carbohidratos y vitaminas que él por sí mismo es incapaz de sintetizar mientras que la planta las obtiene gracias a la fotosíntesis y otras reacciones internas (Harrison, 2005).

Las micorrizas mejoran la nutrición de cultivos como resultado del transporte de iones minerales poco o nada móviles vía hifa. Las hifas crecen más allá de la rizosfera del suelo incrementando la superficie absorbente de las raíces. La

actividad del micelio de HVA resulta en un incremento en la eficiencia en la absorción de nutrientes al explorar un mayor volumen de suelo que las raíces solas. Este proceso es particularmente importante para la difusión lenta de iones minerales tales como el fósforo (P) (Smith y Gianinazzi-Pearson, 1988; Subramanian y Charest, 1999) o bien cuando la planta ha agotado los nutrimentos de la zona radical del suelo adyacente (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999). El mecanismo de transferencia de nutrimentos varía en función del tipo de micorriza y de la especie de hongo involucrados, se ha demostrado que las MVA tienen un mayor efecto en la solubilización y abastecimiento de fosforo, así como S, Zn, Cu, Ca y Na (Smith *et al.*, 1994). Otros estudios también han demostrado un aumento en la disponibilidad de N₂ debido a la mineralización de la materia orgánica, así como la fijación y transporte del N₂ (Bethlenfalvay y Schüepp, 1994; Goussous y Mohammad, 2009). Tinker (1975), sugiere que el incremento en la absorción del P, así como de otros elementos minerales, por las plantas micorrizadas se debe principalmente a los siguiente factores: 1) cambios morfológicos en la planta, 2) incremento de la superficie de absorción por la hifa extra-radical con la subsecuente transferencia a la planta y 3) la habilidad de la raíz micorrizada o hifa para utilizar el P no disponible para las plantas sin micorrizas. Estas características resultan en un mejor crecimiento, desarrollo e incremento de la productividad. Se sabe que la colonización de plantas de papaya por hongos micorrízicos arbusculares (HMA) es un fenómeno normal que incrementa el crecimiento de plántulas tanto en condiciones de vivero como en el campo (Reddy *et al.*, 1996; Sharda y Rodrigues, 2008). En plantas de papaya 'Solo' de 1.5 años de edad inoculadas con HMA se reportan una reducción del 50% en la necesidad del fósforo recomendado (Mamatha *et al.*, 2002).

La materia orgánica en la producción

El uso de materia orgánica en la producción, si bien algunas investigaciones han reportado una reducción del rendimiento de papaya (Escamilla *et al.*, 2003), jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) (Moral *et al.*, 1996), fresa (Mahadeen, 2009) y manzana (Weibel y Alföldi, 2007), este no han sido significativo. Además

de la materia orgánica mejora la calidad y estructura del suelo, favorece la diversidad de microorganismos benéficos del suelo, tanto aquellos que mejoran la nutrición de la planta como aquellos que son antagonistas de patógenos (Téliz y Mora, 2007).

Por otro lado los métodos de producción orgánica son reconocidos por ser amigables con el ambiente. Sin embargo, predominan las preguntas sobre sus posibles efectos sobre la calidad de la fruta (Brandt y Mølgaard, 2001; Magkos et al., 2003; Williams, 2002), ya que la mayoría de los estudios se enfocan principalmente a aspectos de crecimiento, desarrollo y producción de la planta. El uso de diversas especies de micorrizas en la producción ha mostrado incrementos significativos en el tamaño y mayor firmeza en frutos como chile ancho (*Capsicum annum* L. cv San Luis) (Mena-Violante et al. 2006), jitomate (Mena-Violante y Olalde-Portugal, 2007; Mueller et al. 2009) y papaya (Vázquez-Hernández et al., 2011). En lo que respecta al efecto de la materia orgánica en la calidad de frutos, diversas investigaciones han demostrado que su uso en la producción de cultivos ha resultado significativamente en menor contenido de nitratos, nitritos y residuos de plaguicidas, así como con mayor contenido de vitamina C y potasio (Bourn y Prescott, 2002; Mahadeen, 2009; Rembalkowska, 2000).

Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de las micorrizas, fertilización orgánica y mineral sobre las características de calidad de los frutos de papaya, así como evaluar el efecto de técnicas de conservación sobre los frutos producidos con diferentes fuentes de fertilizantes; por lo que la presente consta de tres capítulos.

Objetivos específicos

- 1) Evaluar el efecto de *Glomus mosseae* y *Entrophospora colombiana* en el desarrollo de las plantas, producción y calidad de frutos de papaya 'Maradol'.
- 2) Evaluar la respuesta de frutos de papaya 'Maradol' provenientes de plantas inoculadas con *Glomus mosseae* a los tratamientos postcosecha de aplicación de 1-metilciclopropeno y dos periodos de almacenamiento a baja temperatura.
- 3) Evaluar el efecto de la fertilización orgánica e inoculación con el consorcio de microorganismos (PHC Hortic Plus®) en la calidad de frutos de papaya.
- 4) Evaluar el efecto de técnicas de conservación (1-metilciclopropeno, uso de cera y refrigeración (10 ± 1 °C, 10 días)) sobre la calidad de frutos de papaya.

LITERATURA CITADA

- Alarcón A, Ferrera-Cerrato R. 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra Latinoamericana* 17,179-191.
- Azcón-Aguilar, C., Barea, J.M., 1997. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. *Scientia Horticulturae* 68,1-24
- Bethlenfalvai, G.J., Schüepp, H., 1994. Arbuscularmycorrhizas and agrosystem stability. In: Gianinazzi, S., Schüepp, H. (Eds.), *Impact of arbuscularmycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems*. BirkhäuserVerlag, Basel, pp. 117–131.
- Bourn, D., Prescott, J., 2002. A comparison of nutritional value, sensory qualities, and food safety of organically and conventionally produced foods, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 42, 1–34.
- Brandt, K., Mølgaard, J.P., 2001. Organic agriculture: does it enhance or reduce the nutritional value of plant foods, *J. Sci. Food Agric.* 81, 924–931.

- Brundrett, M.C., 2002. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytol.* 154, 275–304.
- Escamilla, G.J.L., Saucedo, V.C., Martínez, D.M., Martínez, G.A., Sánchez G.P., Soto, H.R.M., 2003. Fertilización orgánica, mineral y foliar sobre el desarrollo y la producción de papaya cv. Maradol. *Terra* 21, 157-166.
- FAO, Food and Agriculture Organization, 2011. Statistical Database Internet. <http://faostat.fao.org/desktopModules/Faostat/WATFDetailed2/watf.aspx?PageID=535> (date 10.15.11)
- <http://faostat.fao.org/site/535/DesktopDefault.aspx?PageID=535#ancor> (date 10.15.11).
- FAO., 1997. Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje – 55. ISBN 92-5-303875-6 . Versión electrónica (<http://www.fao.org/docrep/W2598S/W2598S00.htm>). Fecha de acceso: 18.10.2011.
- Goussous, S.J., Mohammad, M.J., 2009. Comparative effect of two arbuscularmycorrhizae and N and P fertilizers on growth and nutrient uptake of onions. *Int. J. Agric. Biol.* 11, 463–467
- Harrison, M.J., 2005. Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Annu Rev Microbiol.* 59, 19–42
- Isola, O.T., 1998. Effect of cassava planting pattern, pruning regimes and fertilizer on growth and yield of cassava, maize melon and cowpea. Ph.D. Thesis, University of Ibadan, Ibadan Nigeria.
- Magkos, F., Arvaniti, F., Zampelas, A., 2003. Organic food: nutritious food or food fro thought? A review of the evidence, *Int. J. Food Sci. Nutr.* 54, 357–371.
- Mahadeen, A.Y., 2009. Influence of organic and chemical fertilization on fruit yield and quality of plastic-house grown strawberry. *Jordan J. Agric. Sci.* 5, 167-177.
- Mahadeen, A.Y., 2009. Influence of organic and chemical fertilization on fruit yield and quality of plastic-house grown strawberry. *Jordan J. Agric. Sci.* 5, 167-177.

- Mamatha, G., Bagyaraj, D.J., Jaganath, S., 2002. Inoculation of field established mulberry and papaya with arbuscular mycorrhizal fungi and a mycorrhiza helper bacterium. *Mycorrhiza*. 12,313-316.
- Mena-Violante, G. H., Ocampo-Jiménez, O., Dendooven, L., Martínez-Soto, G. González-Castañeda, J., Davies, F. Jr. Olalde-Portugal, V., 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance fruit growth and quality of chile ancho (*Capsicum annuum* L. cv San Luis) plants exposed to drought. *Mycorrhiza* 16, 261–267.
- Mena-Violante, H.G., Olalde-Portugal, V., 2007. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. *Scientia Horticulturae* 113, 103–106.
- Moral, R., Navarro, P.J., Gómez, I., Palacios, G., Mataix, J., 1996. Tomato fruit yield and quality are affected by organic and inorganic fertilization and cadmium pollution. *J. Plant Nutr.* 19,1493-1498.
- Mueller, A., Franken, P., Schwarz, D., 2009. Nutrient uptake and fruit quality of tomato colonized with mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* (BEG 12) under supply of nitrogen and phosphorus. *Acta Hortic.* 807, 383-388.
- Nakasone, H.Y., Paull, R.E., 1998. *Tropical Fruits*. First ed. CAB International, Wallingford. U.K
- Reddy B., Bagyaraj D.J., Mallesha B.C., 1996. Selection of efficient VA mycorrhizal fungi for papaya. *Biological Agricultural and Horticulture* 13,1-6.
- Rembalkowska, E., 2000. Wholesomeness and sensory quality of the potatoes and selected vegetables from the organic farms, Habilitation Thesis, Warsaw Agricultural University.
- Selosse, M.A., Richard, F., He, X., Simard, S.W., 2006. Mycorrhizal networks: desliaisons dangereuses?. *Trends Ecol Evol.* 21, 621–628.
- Sharda, W.K., Rodrigues, B.F., 2008. Ecology of arbuscular micorrhizal fungi associated with *Carica papaya* L. in agro-based ecosystem of Goa, India. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 8, 265 - 278
- Smith, S.E., Gianinazzi-Pearson, V., 1988. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 39,221-44.

- Smith, S.E., Gianinazzi-Pearson, V., Koide, R., Cairney, J.W.G., 1994. Nutrient transport in mycorrhizas: structure, physiology and consequences for efficiency of the symbiosis. *Plant and Soil*. 159,103-113.
- Smith, S.E., Read, D.J., 1997. *Mycorrhizal symbiosis*, second ed. London, Academic Press. 605 p.
- Subramanian, K.S., Charest, C., 1999. Acquisition of N by external hyphae of an arbuscular mycorrhizal fungus and its impact on physiological responses in maize under drought-stressed and web-watered conditions. *Mycorrhiza*. 9,69-75.
- Téliz, O.D., Mora, A.A., 2007. El manejo integrado del aguacate. En: Téliz OD y Mora AA (Eds.) *El Aguacate y su Manejo Integrado*. Segunda Edición, Ediciones Mundiprensa, México, pp 287-306.
- Tinker, P.B., 1975. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizas on higher plants. *Symposium of the Society of Experimental Biology*. 29,325-349.
- Vázquez-Hernández, M.V., Arévalo-Galarza, L., Jaen-Contreras, D., Escamilla-García, J.L., Mora-Aguilera, A., Hernández-Castro, E., Cibrián-Tovar, J., Téliz-Ortiz, D., 2011. Effect of *Glomus mosseae* and *Entrophospora colombiana* on plant growth, production, and fruit quality of 'Maradol' papaya (*Carica papaya* L.). *Sci. Hortic*. 138, 255-260.
- Weibel, F.P., Alföldi, T., 2007. Improving the quality and shelf life of fruit from organic production systems. In: Cooper, G., Niggle, U., Leifert, C. (Eds.), *Handbook of Organic Food Safety and Quality*. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. Cambridge, England, pp. 330-352.
- Williams, C.M., 2002. Nutritional quality of organic food: shades or grey or shades of green? *Proc. Nutr. Soc.* 61, 19–24.

CAPITULO I

EFFECTO DE *Glomus mosseae* AND *Entrophospora colombiana* EN EL CRECIMIENTO, PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE PAPAYA 'MARADOL' (*Carica papaya* L.)¹

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la inoculación de los hongos micorrízicos arbusculares *Glomus mosseae* (GM) y *Entrophospora colombiana* (EC) en plantas de papaya "Maradol". Los resultados mostraron que ambas especies de micorrizas incrementaron el número de frutos y rendimiento en plantas de papaya "Maradol" en 41.9 y 105.2 % para GM y 22.1 y 44.1 % para EC, respectivamente, comparado con las plantas sin micorrizas. GM aumentó significativamente la altura de planta. El contenido de azúcares, firmeza, color (⁰Hue) y proceso de maduración de los frutos de las plantas micorrizadas fue similar al testigo. Las pérdidas de peso de frutos de plantas micorrizadas fueron significativamente menor al testigo. Se recomienda la inoculación de papaya con HMA, principalmente con GM ya que incrementa el rendimiento y tamaño de frutos (45.1 %), además de reducir la pérdida de peso de los frutos durante la maduración.

Palabras clave: *Carica papaya*, micorriza, producción, calidad postcosecha.

1.1. Introducción

México es el segundo productor y primer exportador de papaya (*Carica papaya* L.) en el mundo, con una producción estimada de 919,425 ton y un valor de exportación de \$ USD 55 millones en el 2007 (FAO, 2010). En los últimos años, los costos de producción se han incrementado por el uso indiscriminado de fertilizantes minerales requeridos por la planta para su crecimiento y producción continua (Nakasone y Paull, 1998), esto ha promovido la búsqueda de alternativas para disminuir costos. El uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) como

¹ Este capítulo fue publicado en la revista Scientia Horticulturae 128 (2011): 255–260, mismo que se encuentra anexo en el apéndice.

biofertilizantes incrementa el rendimiento en cultivos como granada (*Punica granatum* L.) (Aseri *et al.*, 2008), jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) (Makus, 2004), sandía (*Citrullus lanatus* Thunb.) (Kaya *et al.*, 2003) y fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) (Jaen *et al.*, 1997). Por lo anterior el uso de las micorrizas en la producción de papaya es una alternativa para aminorar los costos de producción y aumentar la productividad. Los HMA son un componente clave de la rizosfera, ya que forman una asociación mutualista con las raíces del 90 % de las plantas terrestres (Smith y Read, 1997). Mejoran el enraizamiento y establecimiento del cultivo (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999), incrementan la absorción de nutrientes minerales (especialmente de iones de baja movilidad como P, Cu y Zn) (Bethlenfalvay *et al.*, 1988; Marschner y Dell, 1994), favorecen la renovación de nutrientes (Leake *et al.*, 2004), promueven tolerancia a estrés biótico y abiótico (Barea y Jeffries, 1995) principalmente contra el ataque de algunos patógenos de hábito radicales (bacterias, nematodos, hongos, etc.) (Pozo y Azcón-Aguilar, 2007; Borowicz, 2001), mejoran la estructura del suelo (Azcón-Aguilar y Barea, 1997), propician mayor diversidad vegetal (Leake *et al.*, 2004) y son fuentes de hormonas como ácido abscísico, giberelinas, auxinas y citocininas (Strack *et al.*, 2003; Hirsch *et al.* 1997; Jaen *et al.*, 1997). Con base en lo anterior, los HMA favorecen el crecimiento de la planta e incrementan la producción (Aseri *et al.*, 2008), sin embargo los efectos de los HMA son variables dependiendo de la planta huésped y de los factores edáficos-ambientales (Mueller *et al.*, 2009). La inoculación con *Glomus fasciculatum* resultó en frutos de chile (*Capsicum annum* L. cv San Luis) 25 % más grandes pero con menor desarrollo de color (croma) (Mena-Violante *et al.*, 2006). La inoculación con *G. mosseae* aumentó el tamaño de frutos (12 %) de jitomate (*Lycopersicon esculentum* 'Counter') respecto al testigo (Mueller *et al.*, 2009). Ensayos realizados en años anteriores con micorrizas han confirmado sus efectos benéficos en la producción de papaya. Sin embargo, el efecto de las micorrizas en la calidad de papaya aún se desconoce, por lo que el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de *Glomus mosseae* y *Entrophospora colombiana* en el desarrollo de las plantas, producción y calidad de frutos de papaya 'Maradol'.

1.2. Materiales y métodos

1.2.1. Análisis y tratamiento del suelo

La plantación experimental estuvo ubicada en Huamuxtlán, Gro., México (17°41´-17°54´ N y 98°26´- 98°40´ O), a una altitud de 890 m. El clima es cálido seco con temperatura media de 25.9 °C y 803.3 mm de precipitación media anual (SMN-CONAGUA, 2009). Antes de la siembra, se colectaron tres muestras compuestas de suelo, cada una formada de 10 puntos al azar de los primeros 40 cm del suelo para el análisis de nutrimentos. El suelo se secó al aire y tamizó a través de una malla de 5 mm. Las muestras de suelo se analizaron para determinar pH (1:2 H₂O), conductividad eléctrica (CE) (1:5 H₂O) (Jackson 1964), contenido de materia orgánica (MO) (Jackson, 1964) y minerales. El contenido de N se determinó por el método Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982). El contenido de P se estimó por la extracción con NaHCO₃ por el método Olsen (Olsen y Dean 1965). El K, Ca y Mg se extrajeron con acetato de amonio (CH₃COONH₄) (1 N pH 7) (Chapman, 1965) y determinaron por espectrofotometría de absorción atómica. El contenido de micronutrientes se cuantificó en el extracto con ácido dietilén-triamino-pentaacético (DTPA) por espectrofotometría de absorción atómica. El contenido de materia orgánica se determinó por oxidación rápida (Jackson, 1964). Finalmente el análisis de textura se realizó por el método hidrométrico (Bouyoucos, 1936). El suelo de la parcela experimental es ligeramente ácido con contenido medio de P, K, Ca, y materia orgánica; medianamente rico en N y bajo en Mg (Benton *et al.*, 1991). El contenido de Fe, Mn y Cu fueron adecuados, mientras que el contenido de Zn fue marginal (Reuter y Robinson, 1986) y de textura franco-arcilloso (Cuadro 1.1). Al finalizar la cosecha se determinó el contenido de N, P y K de muestras compuestas de suelo tomadas al azar de diferentes puntos con un total de 6 repeticiones por tratamiento.

Treinta días antes de establecer el experimento se fumigó el suelo con Methamsodio (BUNEMA ® 55 GE; 560 L ha⁻¹). La aplicación del compuesto se realizó a través del sistema de riego, por inundación de acuerdo a las especificaciones del producto. Después del tratamiento, el suelo se dejó ventilar y posteriormente se preparó para el transplante.

Cuadro 1. 1. Características del suelo del huerto experimental en que se desarrollaron plantas de papaya inoculadas con *Glomus mosseae* y *Entophospora colombiana*.

Característica del suelo	Unidades	Valor
pH		6.3
CE	dS m ⁻¹	1.2
MO	%	2.23
N	%	0.141
P	mg kg ⁻¹	10
K	cmol(+) kg ⁻¹	2.1
Ca	cmol(+) kg ⁻¹	10.2
Mg	cmol(+) kg ⁻¹	1
Mn	mg kg ⁻¹	1.21
Cu	mg kg ⁻¹	0.3
Zn	mg kg ⁻¹	0.93
Fe	mg kg ⁻¹	0.41
B	mg kg ⁻¹	0.53
Arena	%	17.2
Limo	%	50.25
Arcilla	%	37.52

1.2.2. Producción de inóculo

Se emplearon cepas de *G. mosseae* o *E. colombiana*; su identificación se realizó con base en la descripción de los grupos de paredes de las esporas (Schenck y Pérez, 1990). La producción del inoculante se realizó mediante el método de plantas hospederas (Sieverding, 1983). Se utilizaron semillas pregerminadas de cebolla (*Allium cepa* L.) en sustrato estéril. Después de 6 meses, se cosechó y se verificó la colonización micorrízica (Phillips y Hayman, 1970) y la densidad de esporas en 100 g de suelo seco (Gerdemann y Nicolson, 1963).

1.2.3. Tratamiento y plantación

Semillas de papaya 'Maradol' se imbibieron en agua limpia por 24 h con tres cambios de agua cada 8 h. Las semillas se trataron por inmersión en solución de benomilo (1 g L⁻¹, 8 h) y dos enjuagues con agua estéril. Las semillas tratadas se pusieron en toallas estériles para su germinación y se regaron con una atomizador manual cada 2 h. Emergida la radícula se sembraron en charolas de germinación (60 cm x 40 cm) con arena esterilizada en autoclave (120 °C, 3 h⁻¹). Se pre-transplantaron plántulas de 6 cm de altura en bolsas con 1 kg de sustrato de

crecimiento (suelo: arena de río, 2:1, esterilizado en autoclave: 120 °C, 3 h⁻¹) conteniendo 100 g de inóculo de *G. mosseae* o *E. colombiana* (7300 esporas kg⁻¹). El transplante se realizó cuando las plantas alcanzaron 20 cm de altura y/o 7 hojas verdaderas totalmente expandidas y 1 cm de diámetro del tallo. Los tratamientos fueron: Testigo, *G. mosseae* (GM) y *E. colombiana* (EC) con una densidad de plantación de 2857 plantas ha⁻¹ con distancias de 2.5 m entre hileras y 1.4 m entre plantas. La fertilización empleada en todos los tratamientos fue de 235-42-222 kg ha⁻¹ N-P-K, distribuidos en transplante (117-21-0), floración (59-21-157) y fructificación (59-0-65). Se realizaron lecturas a los 30, 120 y 210 días después del transplante de altura de planta con un flexómetro (de la base del tallo a la yema apical) y diámetro del tallo con un vernier digital (Caldi-6MP, Truper, USA) a 10 cm de la base del tallo. La altura al primer fruto se midió con un flexómetro desde la base del tallo. Se determinó el número de frutos por planta y con el peso promedio de frutos se estimó el rendimiento. Se utilizaron 240 plantas por tratamiento y 40 plantas como unidad experimental con 6 repeticiones.

1.2.4. Colonización micorrízica y densidad de esporas

Se colectaron muestras de raíz y suelo de 6 plantas de papaya al finalizar el experimento. Las raíces se lavaron con agua corriente, se clarificaron con KOH al 10%, se tiñeron con azul tripano al 0.05 % y se cortaron 10 segmentos de 1 cm (Rufykiri *et al.*, 2000) que se consideraron como unidad experimental. Los segmentos de raíz se colocaron (al azar) en paralelo sobre un portaobjetos para determinar la infección micorrízica (hifas, vesículas y arbusculos) a 45X. Se examinaron tres campos de visión en cada segmento de raíz para observar la colonización por GM, EC y micorrizas nativas. Se calculó el porcentaje de colonización como la relación de las secciones de raíz infectadas entre las secciones observadas por 100. La extracción y densidad de esporas se realizó por el método descrito por Gerdemann y Nicolson (1963). Se realizó un análisis de correlación de Pearson para cada tratamiento ($N= 6$) y para todas las muestras ($N= 18$) para determinar la relación entre la colonización micorrízica y densidad de esporas.

1.2.5. Contenido mineral en frutos

Al momento de la cosecha, se utilizaron 10 frutos por tratamiento para evaluar el contenido nutrimental. El N total se determinó por el método Microkjeldahl (Chapman y Pratt, 1973), el P se evaluó por colorimetría en un espectrofotómetro (20D, Milton Roy Co., USA). Los elementos K, Ca, Mg, Mn, Cu, Zn, y Fe se analizaron por espectrofotometría de absorción atómica (IL 551, Instrumentation Laboratories, España) (Chapman y Pratt, 1973). Se utilizaron 6 repeticiones para determinar la correlación de Pearson para cada tratamiento ($N=18$) entre el contenido de N y peso de frutos, y el contenido de N con la firmeza de frutos.

1.2.6. Evaluación postcosecha

Los frutos se cosecharon en madurez fisiológica (40 % de desarrollo de color). Se lavaron y trataron con una solución de hipoclorito de sodio ($200 \mu\text{L L}^{-1}$), sumergidas en Prochloraz ($500 \mu\text{L L}^{-1}$, 2 min). Las variables evaluadas fueron: contenido de azúcares totales (%), firmeza, (Newtons, N), color de pulpa y epidermis ($^{\circ}\text{Hue}$) y pérdida de peso (%) durante la maduración de los frutos a $20 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Las evaluaciones se realizaron a los 1, 3, 5, 7, 9 y 11 días después de cosecha. El contenido de azúcares totales se determinó por el método de antrona (Witham *et al.*, 1971). La firmeza se midió con un Texturómetro (FDV-30, Wagner Instrument, USA) con un puntal de corte de 10 mm en cuatro puntos del fruto, previa eliminación de la epidermis en las zonas de evaluación. Para el color de la epidermis y pulpa de los frutos se utilizó un colorímetro (D-25a, Hunter Lab, USA) obteniendo los valores L, a y b, para el cálculo de la tonalidad ($^{\circ}\text{H} = \tan^{-1} \frac{b}{a}$). La pérdida de peso respecto al peso inicial se evaluó con una balanza digital (EY-2200-A, Asep, Japón). Se consideró a cada fruto como unidad experimental con 6 repeticiones.

1.2.7 Análisis estadístico

Los resultados se analizaron en un diseño experimental completamente al azar. Se verificó la normalidad de los resultados obtenidos con la prueba de

Kolmogorov-Smirnov. Se realizó un análisis de varianza y separación de medias de acuerdo con la diferencia honesta significativa (HSD) de Tukey con un nivel de probabilidad del 0.05 mediante el programa estadístico SAS[®], versión 9.1.3 (2005).

1.3. Resultados

1.3.1. Crecimiento de la planta

La inoculación con *G. mosseae* incrementó significativamente la altura de planta, respecto al testigo, en 11.3, 3.4 y 3.1 % a los 30, 120 y 210 días después del trasplante; así mismo, el diámetro del tallo incrementó en 18.2 y 6.2 % a los 30 y 120 días, respectivamente (Cuadro 1.2). La inoculación con *E. colombiana* sólo incrementó significativamente la altura de planta (7.2 %) y el diámetro del tallo (18.2 %) comparado con el testigo a los 30 días después del trasplante. *G. mosseae* mostró mayor efecto que *E. colombiana* en la altura de planta a los 210 días después del trasplante y diámetro del tallo a los 120 días; ninguno de los tratamientos afectó la altura al primer fruto.

Cuadro 1. 2. Altura de planta, diámetro de tallo y altura al primer fruto de plantas de papaya inoculadas con *Glomus mosseae* y *Entrophospora colombiana* a los 30, 120 y 210 días después del trasplante.

Tratamiento	Altura de planta (cm)			Diámetro de tallo (cm)			Altura al 1er. fruto (cm)
	Días después del trasplante			Días después del trasplante			
	30	120	210	30	120	210	
Testigo	29.19 b	85.98 b	174.88 b	1.14 b	6.5 b	10.63 a	37.50 a
<i>G. mosseae</i>	32.53 a	88.9 a	180.34 a	1.32 a	6.93 a	10.76 a	36.93 a
<i>E.colombiana</i>	31.28 a	87.28 ab	174.92 b	1.27 a	6.65 b	10.64 a	37.18 a

Letras diferentes por columna son significativamente diferentes. Tukey ($P < 0.05$).

1.3.2. Rendimiento

La inoculación con *G. mosseae* incrementó 41.9 % el número de frutos por planta, 45.1 % el peso promedio de frutos y 105.2 % el rendimiento, respecto al testigo (Cuadro 1.3). La inoculación con *E. colombiana* aumentó 22.1 % el número de frutos por planta, 18.4 % el peso promedio de frutos y 44.1 % el rendimiento.

Cuadro 1. 3. Rendimiento, peso de frutos y frutos por planta de papaya inoculadas con *Glomus mosseae* y *Entrophospora colombiana*.

Tratamiento	Rendimiento (ton ha ⁻¹)	Peso de fruto (g)	Frutos por planta
Testigo	70.6 c	1432.6 c	17.2 c
<i>G. mosseae</i>	144.9 a	2078.0 a	24.4 a
<i>E. colombiana</i>	101.7 b	1695.5 b	21.0 b

Letras diferentes por columna son significativamente diferentes. Tukey ($P < 0.05$).

1.3.3. Análisis del suelo y colonización micorrízica

El análisis de suelo antes y después de la cosecha indicó que el contenido de N disminuyó en 42.8, 28.6 y 42.8 % en el suelo del testigo, *G. mosseae*, y *E. colombiana*, respectivamente. Asimismo el nivel de P disminuyó en el suelo del testigo y *E. colombiana* en 8.0 y 1.0 % respecto al valor inicial; mientras que en el suelo de plantas inoculadas con *G. mosseae* el P incrementó en 9.0 %. El K se redujo 23.8, 15.2, y 19.5 % en el suelo con el testigo, *G. mosseae*, y *E. colombiana*. Se encontró una baja colonización en las plantas testigos (Cuadro 4). La colonización micorrízica y densidad de esporas fue mayor en las plantas inoculadas con *G. mosseae* que con *E. colombiana* (Cuadro 1.4). Existe alta correlación entre la colonización de las plantas inoculadas y la densidad de esporas en el suelo ($R^2=0.98$, $P < 0.0001$). La más baja correlación por tratamiento fue para *E. colombiana* ($R^2=0.44$, $P < 0.37$) comparado con *G. mosseae* ($R^2=0.82$, $P < 0.043$) y el testigo ($R^2=0.76$, $P < 0.0756$).

Cuadro 1. 4. Contenido de N, P, y K, cololización micorrízica y densidad de esporas del suelo al finalizar el experimento de inoculación de plantas de papaya con *Glomus mosseae* y *Entrophospora colombiana*.

Tratamiento	Contenido de macronutrientes			Colonización micorrízica (%)	Densidad de esporas 100 g ⁻¹ suelo
	N (g 100 g ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	K (cmol(+) kg ⁻¹)		
Testigo	0.08 b	9.19 c	1.60 c	16.46 c	470.0 c
<i>G. mosseae</i>	0.10 a	10.95 a	1.78 a	91.52 a	2536.5 a
<i>E. colombiana</i>	0.08 b	9.89 b	1.69 b	58.24 b	2030.0 b

Letras diferentes por columna son significativamente diferentes. Tukey ($P < 0.05$).

1.3.4 Contenido nutrimental en frutos

La inoculación con *G. mosseae* incrementó significativamente el contenido de N y Fe en los frutos en 150 y 21.1 % respecto al testigo. *E. colombiana* incrementó el contenido de Ca y Fe en 75.0 y 20.5 %, respectivamente; por el contrario el nivel de Zn se redujo en 36.2 %, respecto al testigo. El contenido de P, K, Mg, Mn, y Cu no se vio afectado por ninguno de los tratamientos. El contenido de N y Zn fue mayor en frutos de plantas inoculadas con *G. mosseae* que con *E. colombiana* (Cuadro 1.5).

Cuadro 1. 5. Contenido nutrimental de frutos de plantas de papaya inoculadas con *Glomus mosseae* y *Entrophospora colombiana*.

Tratamiento	g 100g ⁻¹					mg kg ⁻¹			
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Cu	Zn	Fe
Testigo	0.41 b	0.34 a	2.91 a	0.40 b	0.14 a	5.5 a	2.8 a	5.8 a	74.5 b
<i>G. mosseae</i>	0.97 a	0.39 a	3.23 a	0.53 ab	0.22 a	6.7 a	3.4 a	6.5 a	90.2 a
<i>E. colombiana</i>	0.62 b	0.38 a	2.90 a	0.69 a	0.18 a	5.0 a	3.2 a	3.7 b	89.8 a

Letras diferentes por columna son significativamente diferentes. Tukey ($P < 0.05$).

1.3.5. Evaluación postcosecha.

Después de 11 días, las pérdidas de peso acumuladas fueron menores en frutos de papaya de plantas inoculadas con *G. mosseae* (22.9 %) y *E. colombiana* (24.1 %), comparados con el testigo (Figura 1.1D). El contenido de azúcares totales y color (⁰Hue) en epidermis y pulpa no fueron afectados por ninguno de los tratamientos (Figura 1.1A y C). La firmeza de los frutos de plantas con *G. mosseae* permaneció inferior al testigo y *E. colombiana* durante los primeros 7 días después de cosecha, pero al final de la evaluación no se encontraron diferencias entre tratamientos (Figura 1.1B). Se encontró una correlación positiva entre el contenido de N y peso de frutos ($R^2=0.73$, $P=0.0007$) y una correlación inversa entre el contenido de N y firmeza de frutos ($R^2=-0.84$, $P<=0.0006$).

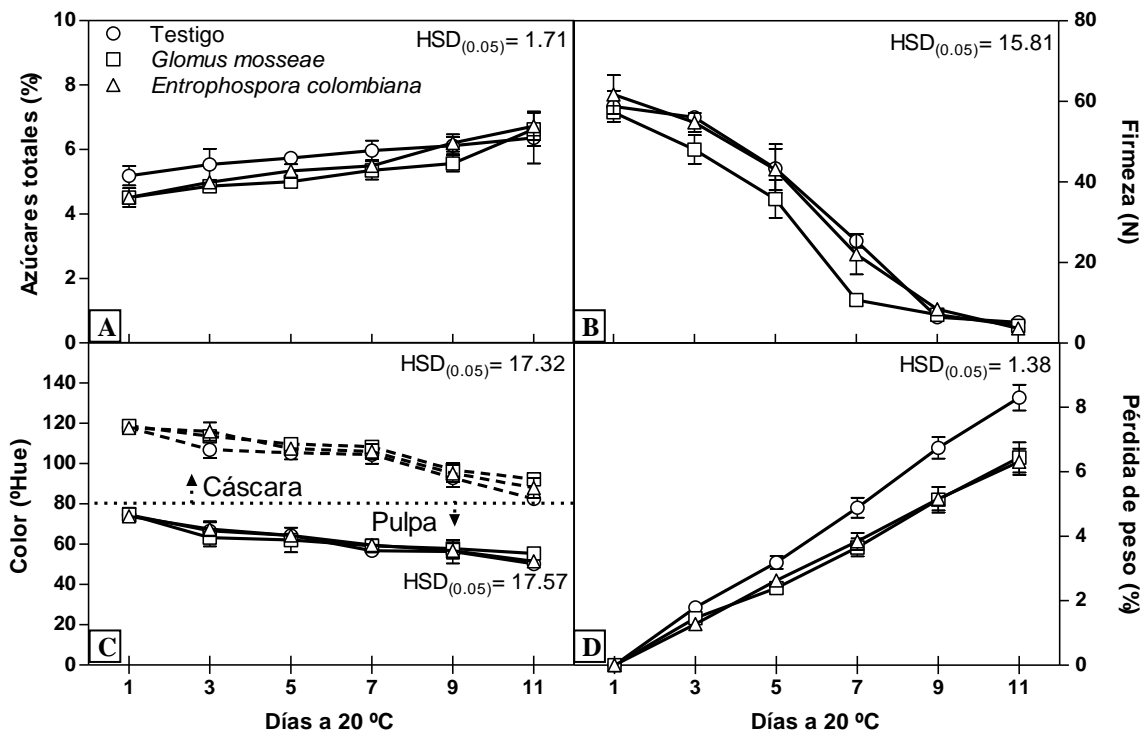


Figura 1. 1. Contenido de azúcares totales (A), firmeza (B), color ($^{\circ}$ Hue en apidermis y pulpa) (C) y pérdida de peso (D) en frutos de papaya de plantas inoculadas con *Glomus mosseae* o *Entrophospora colombiana* almacenados a 20 °C. HSD: diferencia honesta significativa de Tukey ($P < 0.05$).

1.4. Discusión

El desarrollo de plantas de papaya fue favorecido por la inoculación con *G. mosseae* y en menor grado por *E. colombiana*. El efecto positivo de estos hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento de las plantas, peso de frutos y rendimiento está relacionado con el alto porcentaje de colonización y densidad de esporas micorrízicas en el suelo, que incrementó el abastecimiento de agua y nutrientes (Goussous y Mohammad, 2009; Kothamasi *et al.*, 2001). La alta correlación entre la colonización y densidad de esporas podría indicar una posible re inoculación y mejor adaptabilidad *G. mosseae* a las condiciones de clima y suelo en la zona de estudio que *E. colombiana*, la cual ha mostrado mejor eficiencia en suelos ácidos (Sieverding, 1991). Existe una alta correlación entre la capacidad infectiva de las micorrizas nativas con el mayor crecimiento de las plantas (Klironomos, 2003), así mismo se ha observado una correlación directa

entre el contenido de N en bulbos de cebollas y una alta colonización de plantas la misma especie (Goussous y Mohammad, 2009). En este estudio, la alta concentración de N, Ca y Fe en frutos corresponden a una alta colonización en plantas de papaya, atribuido a un mayor abastecimiento de nutrientes debido a una mayor exploración del suelo. Existe evidencia de que los HMA favorecen la fijación simbiótica de N, el abastecimiento y transporte de N del suelo vía hifa micorrízica (Bethlenfalvay y Schüepp, 1994) e incrementan la disponibilidad de N a través de la mineralización de sustancias orgánicas (Atul-Nayyar *et al.*, 2009; Goussous y Mohammad, 2009). El contenido de P incrementó en el suelo de plantas inoculadas con *G. mosseae*, indicando la capacidad de la micorriza para solubilizar P, normalmente no disponible (Goussous y Mohammad, 2009).

Las plantas inoculadas con *G. mosseae* y *E.colombiana*, tuvieron alto porcentaje de colonización y esporulación comparado con las plantas sin inocular. Es posible que dada la presencia de micorrizas nativas hubiera competencia entre estas con *G. mosseae* y *E. colombiana*. Sin embargo *G. mosseae* demostró ser más competitivo que *E. colombiana*, mostrando mayor efecto en la altura de planta, diámetro del tallo y contenido de N de los frutos. La competencia entre especies de hongos micorrizicos se establece en principio por la cantidad del inoculo y posteriormente por la capacidad de crecimiento de la hifa infectiva establecida (dentro y fuera de las raíces) y la formación de nuevas unidades de infección (Wilson, 1984; Sanders y Sheikh, 1983). Las diferencias significativas en los mismo parámetros en las plantas inoculadas con *G. mosseae* respecto al testigo, parece indicar una mejor adaptabilidad de esta micorriza que *E. colombiana* a las condiciones edáficas y climáticas. También es posible que los mejores resultados obtenidos con *G. mosseae* sea debido a la alta asociación que presenta esta especie con las plantas de papaya (Khade y Rodriguez, 2009b; Trindade *et al.*, 2006).

En este experimento, el contenido de azúcares de los frutos de papaya 'Maradol' fue más bajo a los reportados por Pérez-Carrillo y Yahia (2004) y Gayosso-García *et al.*, (2010), atribuido a una posible dilución por exceso de agua de lluvia días antes de la cosecha (González *et al.*, 2006). Sin embargo, Allan

(2002) señala que el contenido de azúcares puede variar dependiendo de la estación del año. El contenido de azúcares totales de los frutos de plantas micorrizadas fue ligeramente menor al testigo, debido probablemente a que la asociación micorrízica provoca la traslocación de azúcares hacia la raíz al ser requeridos por el hongo (Goussous y Mohammad, 2009). El incremento en el tamaño del fruto y consecuentemente menor pérdida de agua, fue otro de los efectos favorables de las micorrizas, ya que los frutos más grandes tienen menor relación área superficial/volumen que los frutos más pequeños, producidos por las plantas sin micorrizas (Ahmad et al., 2006; Wills et al., 1998). Hubo una correlación positiva significativa entre el contenido de N en frutos con el peso de frutos, pero una relación inversa entre el contenido de N con la firmeza de frutos. Diversos estudios muestran una alta correlación entre el contenido de N con el tamaño de frutos y rendimiento; por ejemplo, altas dosis de fertilización nitrogenada causaron un mayor crecimiento de frutos de frambuesa y aumentaron el rendimiento (Quezada *et al.*, 2007). En otros estudios se reporta una correlación inversa entre el contenido de N con la firmeza de frutos de manzana (Nava *et al.*, 2008), tomate (Villareal *et al.*, 2002), durazno (Hernández-Fuentes *et al.*, 2004), y fresa (Mukkun *et al.*, 2001).

1.5. Conclusiones

La inoculación con *G. mosseae* y *E. colombiana* incrementó el rendimiento de papaya al mejorar el amarre y peso de frutos. El abastecimiento de N y Fe hacia los frutos fue favorecido por *G. mosseae*, y el de Ca y Fe por *E. colombiana*. La inoculación con ambas especies de micorrizas afectó en menor grado el contenido nutrimental en el suelo al finalizar el experimento, respecto al testigo. *G. mosseae* incrementó significativamente la altura de plantas de papaya. La inoculación de plantas de papayo con *G. mosseae* y *E. colombiana* no afectó la calidad de los frutos. *G. mosseae* y *E. colombiana* redujeron significativamente la pérdida de peso, aspecto importante en papaya, dada la alta transpiración y perecibilidad de los frutos. *G. mosseae* influyó mejor en varios aspectos, debido posiblemente a una mayor asociación con las plantas de papaya y a una mejor adaptabilidad a las condiciones edáficas y medioambientales en la región de estudio.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la LPI-7 (Línea Prioritaria de Investigación en Inocuidad, Calidad de Alimentos y Bioseguridad), Colegio de Postgraduados, y a la Fundación Produce de Guerrero por el financiamiento de este proyecto.

Literatura citada

- Ahmad, S., Thompson, A.K., Perviez, M.A., Anwar, N., Ahmad F. 2006. Effect of fruit size and temperature on the shelf life and quality of ripe banana fruit. *J. Agric. Res.* 44, 313-324.
- Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra Latinoam.* 17, 1979-1991.
- Allan, P., 2002. *Carica papaya* responses under cool subtropical growth conditions. *Acta Hort.* 575, 757-763.
- Aseri, G.K., Jain, N., Panwar, J., Rao, A.V., Meghwal, P.R., 2008. Biofertilizers improve plant growth, fruit yield, nutrition, metabolism and rhizosphere enzyme activities of Pomegranate (*Punica granatum* L.) in Indian Thar Desert. *Sci. Hortic.* 117, 130-135.
- Atul-Nayyar, A., Hamel, C., Hanson, K., Germida, J., 2009. The arbuscular mycorrhizal symbiosis links N mineralization to plant demands. *Mycorrhiza* 19, 239-249.
- Azcón-Aguilar, C., Barea J.M., 1997. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. *Sci. Hortic.* 68, 1-24
- Barea, J.M., Jeffries, P., 1995. Arbuscular mycorrhizas in sustainable soil plant systems, in: Varma, A., Hock, B. (Eds.), *Mycorrhiza Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology*. Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 521-560.
- Benton, J.J., Wolf, J.B., Mills, H.A., 1991. *Plant Analysis Handbook, a Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide*. Micro-Macro Publishing, Inc., USA.

- Bethlenfalvay, G.J., Brown, M.S., Ames, R.N., Thomas, R.S., 1988. Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybeans in relation to water use and phosphate uptake. *Physiol. Plant.* 72, 565–571.
- Bethlenfalvay G.J. H. Schüepp. 1994. Arbuscular mycorrhizas and agrosystem stability. in: Gianinazzi, S. and Schüepp, H. (Eds.), *Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems*. Birkhäuser Verlag, Basel, 117-131.
- Borowicz, V.A., 2001. Do arbuscular mycorrhizal fungi alter plant-pathogen relations? *Ecology* 82, 3057-3068.
- Bouyoucos, G.S., 1936. Directions for making mechanical analysis of soil by hydrometer method. *Soil Sci.* 4: 225-228.
- Bremner, J.M., Mulvaney, C.S., 1982. Nitrogen-total, in: Page, A.L., Miller, H., Keeny, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2. Agronomy Monograph 9*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, pp. 56-59.
- Chapman, H.D., Pratt, P.F., 1973. *Métodos de Análisis para Suelo, Plantas y Agua*. Trillas, México.
- Chapman, H.D., 1965. Cation exchange capacity, in: Black, C.A. (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy Monograph 9*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, pp. 891-901.
- FAO. Food and Agriculture Organization. 2010. Statistical database Internet <http://faostat.fao.org/site/535/DesktopDefault.aspx?PageID=535#ancor> (Date: January 15, 2010).
- Gerdemann, J.W., Nicolson, T.H., 1963. Spores of mycorrhizal endogene species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46, 235-244.
- González, M.G., Moreno, G., Giardina, E.B., Miro, M.D., 2006. Exceso de agua en el suelo: efecto sobre la calidad del fruto del duraznero *Prunus persica* (L.) Batsch. *Cienc. Suelo (Argentina)* 24, 1-5.
- Goussous, S.J., Mohammad, M.J., 2009. Comparative effect of two arbuscular mycorrhizae and N and P fertilizers on growth and nutrient uptake of onions. *Int. J. Agric. Biol.* 11, 463-467.

- Gayosso-García, S.L.E., Yahia E.M., Martínez-Télez, M.A., González-Aguilar, G.A., 2010. Effect of maturity stage of papaya maradol on physiological and biochemical parameters. *Am. J. Agri. Biol. Sci.* 5, 194-203.
- Hernández-Fuentes, A.D., Colinas, L.M.T., Pinedo-Espinoza, J.M., 2004. Effect of fertilization on the concentration of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn and phenylalanine ammonio-lyase activity in fruit of 'zacatecas'-type peach (*Prunus persica* (L.) Batsch). *Acta Hortic.* 636, 521-525.
- Hirsch, A.M., Fang, Y., Asad, S., Kapulnik, Y., 1997. The role of phytohormones in plant-microbe symbioses. *Plant Soil* 194, 171–184.
- Jackson, M.L., 1964. Chemical composition of soils, in: Bear, F.E. (Ed.) *Chemistry of the Soil*, second ed. Reinhold Publ. Corp., New York, pp. 71-141.
- Jaen, C.D., Becerril, R. A.E., Colinas, L. M.T., Santizo, R.J.A., 1997. Crecimiento y producción de fresa inoculada con *Glomus mosseae*, asperjada con AG₃ y fertilizada con NPK. *Agrociencia* 31, 165-169.
- Kaya, C., Higgs, D., Kirnak, H., Tas, I., 2003. Mycorrhizal colonization improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (*Citrullus lanatus* Thunb.) grown under well-watered and water-stressed conditions. *Plant Soil* 254, 287-292.
- Khade, S.W., Rodrigues, B.F., 2009. Spatio-temporal variations of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi associated with *Carica papaya* L. in agro-based ecosystem of Goa, India. *Arch. Agron. Soil Sci.* 56, 237-263.
- Klironomos, J.N., 2003. Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi. *Ecol.* 84, 2292-2301
- Kothamasi, D., Kuhad, R.C., Babu, C.R., 2001. Arbuscular mycorrhizae in plant survival strategies. *Trop. Ecol.* 42, 1-13.
- Leake, J., Johnson, D., Donnelly, D., Muckle, G., Boddy, L., Read, D., 2004. Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning. *Can. J. Bot.* 82, 1016-1030.
- Makus, D.J., 2004. Mycorrhizal inoculation of tomato and onion transplants improves earliness. *Acta Hortic.* 631, 275-281.

- Marschner, H., Dell, B., 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant Soil* 159, 89–102.
- Mena-Violante, G. H., Ocampo-Jiménez, O., Dendooven, L., Martínez-Soto, G. González-Castañeda, J., Davies, F. Jr. Olalde-Portugal, V., 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance fruit growth and quality of chile ancho (*Capsicum annuum* L. cv San Luis) plants exposed to drought. *Mycorrhiza* 16, 261–267.
- Mueller, A., Franken, P., Schwarz, D., 2009. Nutrient uptake and fruit quality of tomato colonized with mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* (BEG 12) under supply of nitrogen and phosphorus. *Acta Hortic.* 807, 383-388.
- Mukkun, L., Singh, Z., Phillips, D., 2001. Nitrogen nutrition affects fruit firmness, quality and shelf life of strawberry. *Acta Hortic.* 553, 69-71.
- Nakasone, H.Y., Paull, R.E., 1998. *Tropical Fruits*. First ed. CAB International, Wallingford. U.K.
- Nava, G., Dechen, A.R., Nachtigall, G.R., 2008. Nitrogen and potassium fertilization affect apple fruit quality in southern brazil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 39, 96-107.
- Olsen, S.R., Dean, L. A., 1965. Phosphorus, in: Black C.A. (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy Monograph 9.* American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, pp. 1035-1049.
- Pérez-Carrillo, E., Yahia, E.M., 2004. Effect of postharvest hot air and fungicide treatments on the quality of 'Maradol' papaya (*Carica papaya* L.). *J. Food Qual.* 27, 127-139.
- Phillips, J.M., Hayman, D.S., 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55,158-160.
- Pozo, M.J., Azcón-Aguilar, C., 2007. Unraveling mycorrhiza-induced resistance. *Curr. Opin. Plant Biol.* 10, 393–398.
- Quezada, C., Vidal, I., Lemus, L., Sánchez, H., 2007. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre rendimiento y calidad de fruta en frambueso (*Rubus idaeus* L.) bajo dos programas de fertirrigación. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 7, 1-15.

- Reuter, D.J., Robinson, J.B., 1986. *Plant Analysis and Interpretation Manual*. Inkata Press. Melbourne, Sidney.
- Rufykiriri, G., Declerck, S., Dufey, J.E., Delvaux, B., 2000. Arbuscular mycorrhizal fungi might alleviate aluminium toxicity in banana plants. *New Phytol.* 148, 343-352.
- Sanders, F.E., Sheikh, N.A., 1983. The development of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in plant root systems. *Plant Soil* 71, 223-246.
- SAS, Institute. INC. 2005. SAS (Statistical Analysis System) the Institute INC, Cary, NC. USA. Versión 9.1.3.
- Schenck, N.C., Pérez, Y., 1990. *Manual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi*, third. ed. Synergistic Publications, Gainesville, Florida. USA.
- Sieverding, E., 1991. *Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems*. GTZ. Eschborn, Alemania.
- Sieverding, E., 1983. *Manual de Métodos para la Investigación de la Micorriza Versículo Arbuscular en el Laboratorio*. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Colombia.
- Smith, S.E., Read, D.J., 1997. *Mycorrhizal symbiosis*, second ed. Academic Press, London.
- SMN-CONAGUA. 2009. Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. <http://smn.cna.gob.mx/> (Date: January 10, 2010).
- Strack, D., Fester, T., Hause, B., Schliemann, W., Walter, M.H., 2003. Arbuscular mycorrhiza: biological, chemical, and molecular aspects. *J. Chem. Ecol.* 29, 1955-1979.
- Trindade, A.V., Siqueira, J.O., Stürmer, S.L., 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi in papaya plantations of Espírito Santo and Bahia, Brazil. *Braz. J. Microbiol.* 37, 283-289.
- Villarreal, R.M., García, E.R.S., Osuna, E.T., Armenta, B.A.D., 2002. Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad postcosecha de tomate en fertirriego. *Terra Latinoam.* 20, 311-320.

- Wills, R.B.H., McGlasson, B., Graham, D., Joyce, D., 1998 Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. 4th Ed. CAB International. Washington, DC. USA.
- Wilson, J.M., 1984. Comparative development of infection by three vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 97, 413-426.
- Witham, F.H., Blaydes, D.F., Devlin, R.M., 1971. Experiments in Plant Physiology. Van Nostrand Reinhold Company, New York.

CAPÍTULO II TRATAMIENTOS POSTCOSECHA PARA MANTENER LA CALIDAD DE FRUTOS DE PAPAYA DE PLANTAS BIOFERTILIZADAS

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del periodo de almacenamiento (10 y 20 días a 10 °C) y el uso de 1-metilciclopropeno (1-MCP) en la maduración y calidad de frutos de papaya de plantas inoculadas con *Glomus mosseae*, producidos en una huerta en Huamuxtlán, Gro., México. Los resultados mostraron que los frutos almacenados a 20 °C de plantas inoculadas perdieron menor peso (6.4 %) que los frutos de plantas testigo (8.3 %); las pérdidas de peso a 10 °C fueron del 9.1 y 14.1 % ($P < 0.05$, 10 días) y del 12.8 y 16.6 % ($P > 0.05$, 20 días) para frutos de plantas testigo y para los inoculados con *G. mosseae*, respectivamente. El tratamiento con 1-MCP mantuvo la firmeza en los frutos almacenados por 10 días. La actividad de pectinmetilesterasa (PME) no se vio afectada por la inoculación micorrízica. El almacenamiento refrigerado incrementó la actividad de PME en ambos periodos de almacenamiento. Se concluye que la inoculación con *G. mosseae* no afectó significativamente la respuesta de los frutos de papaya a los tratamientos de refrigeración y aplicación 1-MCP.

Palabras clave: *Carica papaya*, *Glomus mosseae*, 1-MCP, almacenamiento refrigerado, calidad

2.1. Introducción

El uso de micorrizas como biofertilizantes en la producción hortofrutícola es una alternativa para reducir el uso de fertilizantes químicos y mejorar el rendimiento en cultivos como granada (*Punica granatum* L.) (Aseri *et al.*, 2008), jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) (Makus, 2004) y papaya (*Carica papaya* L.) (Vázquez-Hernández *et al.*, 2011). Además se ha encontrado que la inoculación en plantas de chile ancho (*Capsicum annum* L. cv San Luis) con *Glomus fasciculatum* (Mena-Violante *et al.*, 2006) y jitomate con *Glomus mosseae* incrementa el tamaño de los frutos (Mueller *et al.*, 2009). En plantas de papaya

inoculadas con *G. mosseae* y *Entrophospora colombiana* el tamaño de frutos incrementó en 45.1 y 18.4 %, respectivamente y redujo las pérdidas de peso durante la vida de anaquel, sin afectar el contenido de azúcares totales, firmeza, ni el color de los frutos (Vázquez-Hernández *et al.*, 2011).

Los frutos de papaya producidos de manera tradicional (con fertilizantes químicos) tienen una vida de anaquel de 4-6 días a 25-28 °C pero con el uso de la refrigeración se puede extender hasta por 3 semanas a 10-12 °C (Paull *et al.*, 1997). Esta corta vida postcosecha y la susceptibilidad a bajas temperaturas limitan su almacenamiento y comercialización (Manenoi *et al.*, 2007; Proulx *et al.*, 2005). El 1-metilciclopropeno (1-MCP) se ha utilizado con éxito en frutos de diversas especies para extender su vida postcosecha, ya que bloquea los sitios receptores del etileno (Blankenship y Dole, 2003), previniendo la acción y efectos relacionados con la maduración (ablandamiento de tejidos, degradación de pigmentos y desdoblamiento de almidón) (Sisler y Serek, 1997). La aplicación de 1-MCP (100 nL L⁻¹ 12 h) en frutos de papaya "Rainbow" retrasó 5 días el desarrollo de color y por 10-15 días el ablandamiento de pulpa, comparado con los no tratados (Manenoi y Paull, 2007; Manenoi *et al.*, 2007). En papaya 'Sinta' concentraciones de 0.1 y 0.5 µL L⁻¹ de 1-MCP retardaron el desarrollo de color por 6 días en comparación con los frutos testigo a 25-28 °C (Esguerra *et al.*, 2010).

Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta de frutos de papaya 'Maradol' provenientes de plantas inoculadas con *Glomus mosseae* a los tratamientos postcosecha de aplicación de 1-metilciclopropeno y almacenamiento a baja temperatura.

2.2. Materiales y métodos

2.2.1 Tratamientos de campo

La plantación experimental de papaya se ubicó en Huamuxtitlán, Gro., México (17°41' -17°54' N y 98°26' - 98°40' O), a una altitud de 890 m. El clima es cálido seco con temperatura media de 25.9 °C y 803.3 mm de precipitación media anual (SMN-CONAGUA, 2009). Se emplearon plántulas de papaya 'Maradol' de 6 cm de altura que fueron pre-trasplantadas en bolsas con 1 kg de sustrato de crecimiento

(suelo: arena de río, 2:1, esterilizado en autoclave: 120 °C, 3 h⁻¹) aplicándose los siguientes tratamientos en campo: 1) Testigo (-GM) y 2). *G. mosseae* (+GM). La cepa fue identificada con base en los grupos de paredes de las esporas (Schenck y Pérez, 1990). La dosis empleada fue de 730 esporas contenidas en 100 g de inoculante. El trasplante se realizó cuando las plantas alcanzaron 20 cm de altura y/o 7 hojas verdaderas totalmente expandidas. La densidad de plantación fue de 2857 plantas ha⁻¹ con distancias de 2.5 m entre hileras y 1.4 m entre plantas. La fertilización empleada en todos los tratamientos fue de 235-42-222 kg ha⁻¹ N-P-K, distribuidos en trasplante (117-21-0), floración (59-21-157) y fructificación (59-0-65). Al momento de cosechar la fruta, fueron tomadas 6 muestras de raíz por tratamiento para verificar la colonización micorrízica por el método descrito por Ruffykiri *et al.*, (2000).

2.2.2. Evaluación de la maduración

Los frutos fueron cosechados con un 40 % de desarrollo de color y se realizó una selección de frutos sanos y sin daño mecánico que fueron lavados y tratados con una solución de hipoclorito de sodio (200 µL L⁻¹) y posteriormente sumergidos en Procloraz (500 µL L⁻¹, 2 min) y secados al ambiente. Se evaluó la maduración de los frutos a temperatura ambiente (20 ± 1 °C) y en almacenamiento refrigerado (10 ± 1°C) por 10 y 20 días. Los periodos de muestreo de los frutos a temperatura ambiente fueron a los 1, 3, 5, 7, 9 y 11 días después de la cosecha, considerando a cada fruto como unidad experimental con 6 repeticiones.

2.2.3. Aplicación de 1-MCP y almacenamiento refrigerado

Los frutos fueron tratados (+MCP) o no (-MCP) con 1-metilciclopropeno (1-MCP; 300 nL L⁻¹; SmartFresh® 0.14 % Rohm and Hass Co.) por 16 h en contenedores herméticamente cerrados de acuerdo al protocolo de la compañía y almacenados a 10 °C por 10 y 20 días. Los tratamientos fueron: 1) Testigo, 2) -GM+MCP, 3) +GM-MCP y 4) +GM+MCP, con periodos de muestreo de 0, 2, 4, 6 y 8 días después de su almacenamiento; se consideró a cada fruto como unidad experimental con 3 repeticiones.

2.2.4. Variables de estudio

Se evaluaron las variables firmeza (Newtons, N), actividad de pectinmetilesterasa (PME), pérdida de peso (%), contenido de azúcares totales (%) y color ($^{\circ}$ Hue de epidermis y pulpa). La firmeza de la pulpa se midió con un Texturómetro Wagner FDV-30 con un puntal de corte de 10 mm en cuatro puntos del fruto. La actividad de PME se determinó por titulometría con el método modificado de Ranganna (1979), homogeneizando 25 g de pulpa congelada en 50 mL de una solución NaCl (0.27 N) a 4 °C, la mezcla se dejó reposar por 48 h y se centrifugó a 3500 rpm. Se hizo reaccionar 2 mL del sobrenadante con 10 mL de pectina cítrica (1%) como sustrato, con ajuste inmediato del pH a 7.5 con NaOH (0.2 N). Las muestras fueron colocados en baño María a 37 °C y por lapsos de 10 min se ajustó el pH a 7.5 con NaOH (0.01 N) con un tiempo total de reacción de 30 min. La actividad de PME se expresó como mg de metoxilo mL⁻¹. La pérdida de peso, respecto al peso inicial, se evaluó con una balanza digital EY-2200-A. El contenido de azúcares totales se determinó por el método de antrona (Witham *et al.*, 1971). Para el color de la epidermis y pulpa de los frutos se utilizó un colorímetro Hunter Lab D-25a, obteniendo los valores L, a y b, para el cálculo de la tonalidad ($^{\circ}H = \tan^{-1} b/a$).

2.2.5. Análisis estadístico

Los resultados se analizaron bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial. Se verificó la normalidad de los datos obtenidos con la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Se realizó un análisis de varianza y separación de medias de acuerdo con la diferencia honesta significativa (HSD) de Tukey (P <0.05; SAS[®], versión 9.1.3, 2005).

2.3. Resultados

2.3.1. Firmeza y actividad de pectinmetilesterasa (PME)

No se encontraron diferencias en la pérdida de firmeza de frutos madurados a 20 °C provenientes de plantas inoculadas con *G. mosseae* y testigo, los cuales presentaron una reducción significativa de la firmeza a partir del 5^o día después de

la cosecha, alcanzando una firmeza ≤ 20 N (firmeza de consumo) al 7^o para los frutos de plantas con *G. mosseae* y al 9^o día después de cosecha para los de plantas testigo (Figura 2.1A). El ablandamiento significativo de los frutos se presentó 2 días después de los picos de mayor actividad de PME (Figura 2.1B).

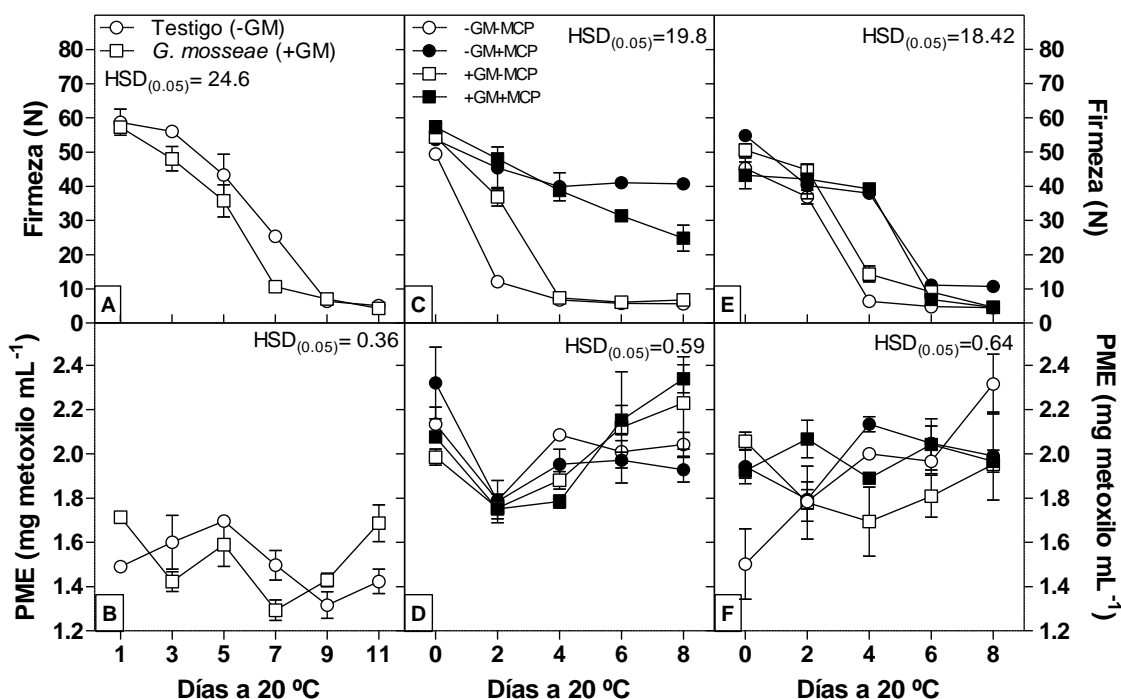


Figura 2. 1. Firmeza y actividad de pectinmetilesterasa (PME) de frutos de papaya almacenados a 20 (A, B) y 10 °C por 10 (C, D) y 20 días (E, F) seguido por almacenamiento a 20 °C. HSD=diferencia honesta significativa de Tukey ($P \leq 0.05$).

Con respecto a los frutos almacenados por 10 días (Figura 2.1C y D), la firmeza de los frutos sin 1-MCP disminuyó en 75.6 % al segundo día y 86.4 % al cuarto día después del almacenamiento para los frutos de plantas testigo (-GM-MCP) y con *G. mosseae* (+GM-MCP), respectivamente, permaneciendo significativamente iguales a partir del cuarto día. Por el contrario, el tratamiento con 1-MCP mantuvo la firmeza en frutos de ambos tratamientos con 41 N para los frutos de plantas testigo (-GM+MCP) y 25.9 N para los de plantas con *G. mosseae* (+GM+MCP), al final del periodo de maduración. Solo se encontró diferencia entre el tratamiento -GM+MCP con -GM-MCP y +GM-MCP a partir del 4^o día después del almacenamiento. Aunque no se encontraron diferencias en la

actividad de PME entre tratamientos, se observó un incremento consistente a partir del 2º día de maduración a 20 °C, después del almacenamiento refrigerado.

En los frutos almacenados por 20 días (Figura 2.1E y F) se observó que los tratados con 1-MCP tuvieron una pérdida significativa de la firmeza a partir del cuarto día, mientras que en los frutos sin 1-MCP se presentó a partir del segundo día después del almacenamiento, sin diferencias significativas entre tratamientos al final del periodo de la maduración. En la actividad de PME no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos durante la maduración (Figura 2.1F).

Los resultados muestran que al prolongar el periodo de almacenamiento el efecto del 1-MCP se reduce. En los frutos almacenados por 10 días se retuvo la firmeza entre 24.9 y 40.7 N al finalizar la maduración a 20 °C; mientras que el almacenamiento por 20 días, el 1-MCP solo mantuvo la firmeza en frutos de ambos tratamientos por dos días más respecto a los frutos sin 1-MCP.

2.3.2. Pérdida de peso

Los frutos de plantas con *G. mosseae* mantenidos a 20 °C presentaron menores pérdidas de peso que los frutos de plantas testigo (Figura 2.2A). Esto es posible debido a que los frutos de plantas inoculadas tuvieron mayor tamaño (datos no mostrados), lo cual implica una menor relación área superficial/volumen (Ahmad *et al.*, 2006; Wills *et al.*, 1998). Resultados similares se han reportado en bulbos de cebollas almacenados a 13 °C por 120 días (Makus, 2004).

En los frutos almacenados por 10 días solo se encontró diferencia significativa en las pérdidas de peso al finalizar el periodo de maduración entre los frutos de los tratamientos +GM-MCP (14.1 %) y -GM-MCP (9.2 %) (Figura 2.2B).

Las pérdidas de peso en los frutos almacenados por 20 días fluctuaron entre 12.8 y 16.6 % al final del proceso de maduración, sin diferencias significativas entre tratamientos (Figura 2.2C). En ambos periodos de almacenamiento, el tratamiento con 1-MCP no tuvo efecto significativo sobre esta variable.

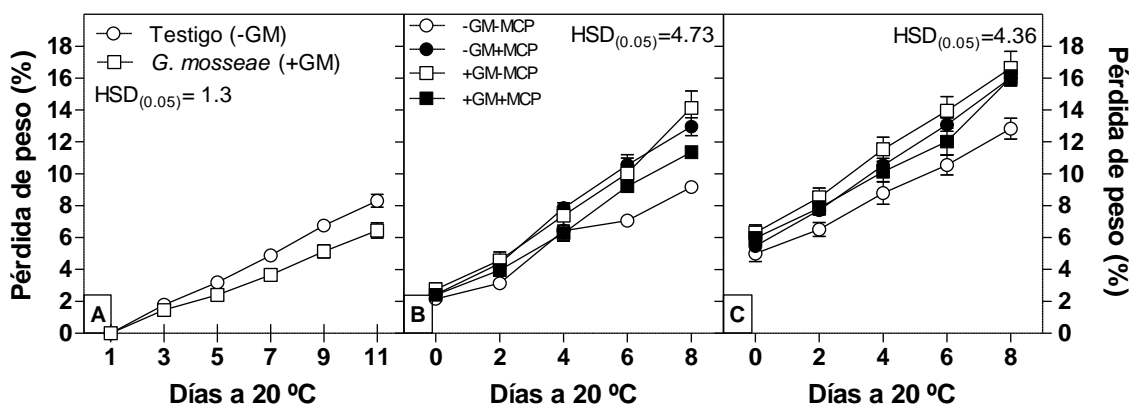


Figura 2. 2. Pérdida de peso de frutos de papaya almacenados a 20 (A) y 10 °C por 10 (B) y 20 días (C) seguido por almacenamiento a 20 °C. HSD=diferencia honesta significativa de Tukey ($P \leq 0.05$).

2.3.3. Azúcares totales

El contenido de azúcares totales de los frutos madurados a 20 °C fue en promedio de 5.8 % para los de plantas testigo y 5.3 % para los de *G. mosseae*, sin diferencias entre tratamientos.

Después del almacenamiento a 10 °C hubo incrementos en el contenido de azúcares en los frutos almacenados por 10 días (de 4.5 a 7.3 %) y 20 días (de 5.7 a 7.4 %) sin diferencias entre tratamientos en ambos periodos de almacenamiento.

2.3.4 Color de epidermis y pulpa (°Hue)

El análisis factorial reveló que el ángulo de tono de la epidermis de los frutos a 20 °C de plantas con *G. mosseae* fue significativamente mayor (106.5 °) al de plantas testigo (101.6 °), no encontrándose diferencias en la tonalidad de la pulpa.

En los frutos almacenados a 10 °C no se encontraron diferencias significativas en el °Hue de la epidermis y pulpa durante la maduración. Los frutos almacenados por 20 días desarrollaron menor color de epidermis (mayor °Hue, 92.1 °) que los almacenados por 10 días (86.2 °).

El ángulo de tono de la epidermis es afectado por la interacción del periodo de almacenamiento con los tratamientos de campo, siendo los frutos de plantas con *G. mosseae* los más afectados al desarrollar menor color (mayor °Hue) (Figura

2.3A). La pulpa de los frutos del tratamiento +GM+MCP desarrolló mejor color (menor $^{\circ}$ Hue) que en los frutos del resto de los tratamientos (Figura 2.3D). El tratamiento con 1-MCP en los frutos almacenados por 20 días causó una reducción del ángulo de tono de la pulpa (mayor desarrollo de color, Figura 2.3F).

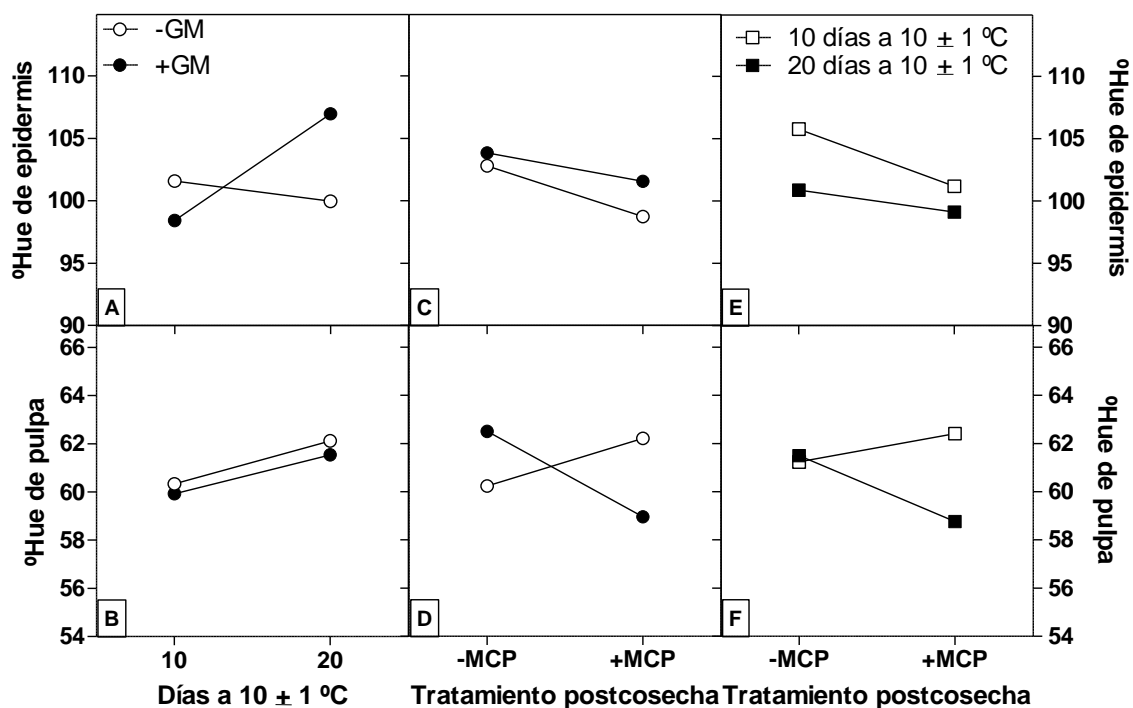


Figura 2. 3. Interacciones de los factores tratamiento de campo x días de almacenamiento (A, B), tratamiento de campo x tratamiento postcosecha (C, D) y días de almacenamiento x tratamiento postcosecha (E, F) sobre el ángulo de tono de la epidermis y pulpa de frutos de papaya.

2.4. Discusión

Los resultados de firmeza no mostraron diferencias significativas entre tratamientos en los frutos mantenidos a 20 °C durante su maduración (Figura 2.1. A), de acuerdo con Santamaría *et al.*, (2009a) esto es posible debido a que la firmeza es considerada un estándar en la calidad de frutos de papaya 'Maradol' y es una de las principales determinantes de su vida postcosecha. El ablandamiento significativo en estos frutos se presentó después de los picos de mayor actividad de PME (Figura 2.1.B) como resultado de cambios estructurales y composicionales de las sustancias pépticas de la pared celular (Razali *et al.*,

2007). Independientemente de la temperatura de almacenamiento, la reducción significativa de la firmeza se presentó cuando los frutos alcanzaron el 50-60 % de desarrollo de color, tal como fue observado en papaya 'Maradol' (Santamaría *et al.*, 2009a) y 'Sekaki' (Razali *et al.*, 2007). La pérdida del efecto del 1-MCP se explica porque este ocupa los sitios de acción del etileno durante su acción, pero en periodos prolongados de almacenamiento nuevos sitios se siguen generando en el tejido vegetal que pueden ser ocupados por el etileno producido durante dicho periodo (Blankenship y Dole, 2003) y continuar con el proceso de maduración. La pérdida del efecto del 1-MCP ha sido documentada por incrementos significativos en la pérdida de firmeza y retrasó del climaterio conforme se prolonga el periodo de almacenamiento refrigerado (Arévalo-Galarza *et al.*, 2007). Estos resultados también han sido reportados en frutos de papaya almacenados a 22 °C (Manenoi *et al.*, 2007) y 11 °C (Bron y Jacomino, 2009), confirmando que el ablandamiento de frutos de papaya es uno de los procesos más sensibles a la acción del etileno (Lelièvre *et al.* 1997).

En el presente estudio, el contenido de azúcares totales fue menor a los reportados para papaya 'Maradol' (Gayosso-García *et al.*, 2010; Santamaría *et al.*, 2009a, 2009b), posiblemente por efecto de la dilución por exceso de agua, por lluvia días antes de la cosecha (González *et al.*, 2006). Por otra parte Allan (2002) señala que el contenido de azúcares en frutos de papaya puede variar dependiendo de la época del año, mientras que De los Santos *et al.*, (1997) señalan que los frutos de papaya producidos a altitudes mayores a 400 m tienen menor contenido de azúcares que las producidas a alturas menores. Con respecto a los frutos provenientes de plantas inoculadas con *G. mosseae*, la baja concentración de azúcares en el fruto puede deberse a que los hongos micorrízicos demandan carbohidratos del resto de la planta, lo que explica el menor contenido de azúcares respecto a los frutos de plantas testigo (Goussous y Mohammad, 2009). Los incrementos en el contenido de azúcares durante el almacenamiento refrigerado es posible si consideramos que este almacenamiento causó pérdidas de peso mayores que en los frutos mantenidos a 20 °C contribuyendo a una concentración de azúcares por efecto de la deshidratación

(Mosca y Durigan, 1995), ya que los frutos de papaya no tienen una cantidad significativa de almidón (aproximadamente 0.5 %) para su hidrólisis durante la maduración (Selvaraj et al., 1982).

La maduración de los frutos está relacionada con la concentración de pigmentos. De acuerdo con Aked (2000) y Ferrer *et al.*, (2005), en la mayoría de los frutos, el proceso de maduración involucra la pérdida de clorofila y el desenmascaramiento de otros que se han formado durante el desarrollo del fruto, como los carotenoides. Aun cuando no se conoce el efecto de las micorrizas sobre el desarrollo de color, algunos estudios muestran que estas pueden favorecer la degradación de clorofila y promover la acumulación de carotenoides, como se reportan en frutos de chile ancho (Mena-Violante *et al.*, 2006) y jitomate (Ulrichs *et al.*, 2008), por lo que es posible un mejor desarrollo de color en frutos de plantas de papaya inoculadas con *G. mosseae*. El desarrollo anormal de color en los frutos almacenados a 10 °C por 10 días es evidencia de fallas en la maduración por el almacenamiento a bajas temperaturas (Almeida *et al.*, 2005; Proulx *et al.*, 2005); sin embargo en este estudio se observó que los frutos almacenados por 20 días presentaron mejor desarrollo de color posiblemente porque el tiempo de almacenamiento permitió mayor generación de nuevos sitios de acción del etileno (Blankenship y Dole, 2003).

2.5. Conclusiones

La inoculación de plantas de papaya con *G. mosseae* no afectó significativamente la calidad de frutos, ni la respuesta a los tratamientos de refrigeración y aplicación de 1-MCP, que son los tratamientos comúnmente empleados para mantener la calidad y prolongar su vida postcosecha. La vida de anaquel de frutos de papaya inoculadas con *G. mosseae* fue similar a la de los frutos de plantas sin inocular (producción tradicional). El almacenamiento por 10 días de frutos de papaya tratados con 1-MCP no es recomendable ya que se presentan fallas en la maduración como mal desarrollo de color y fallas en el ablandamiento normal de la pulpa, por lo que es necesario realizar estudios con menores concentraciones de 1-MCP para este periodo de almacenamiento, sin

embargo los frutos de papaya (independientemente de sistema de producción empleado) tratados con 1-MCP y almacenados a 10 °C por 20 días tuvieron mejores características de calidad al presentar mejor desarrollo de color y ablandamiento normal de la pulpa.

Literatura citada

- Ahmad S, Thompson AK, Perviez MA, Anwar N, Ahmad F (2006) Effect of fruit size and temperature on the shelf life and quality of ripe banana fruit. *J. Agric. Res.* 44:313-324.
- Aked J (2000) Fruits and vegetables. En: Kilcast D, Subramaniam P (eds). *The Stability and Shelf-life of Food*. CRC Press. Woudhead Publising Limited. p. 249-278.
- Allan P (2002) *Carica papaya* responses under cool subtropical growth conditions. *Acta Hortic.* 575:757-763.
- Almeida RF, Resende ED, Vitorazi L, Carlos LA, Pinto LKA, Silva HRF, Martins MLL (2005) Injúria pelo frio em frutos de mamoeiro (*Carica papaya* L.) cv 'Golden'. *Rev. Bras. Frutic.* 27:17-20.
- Arévalo-Galarza L, Bautista-Reyes B, Saucedo-Veloz C, Martínez-Damían T (2007) Almacenamiento refrigerado y aplicaciones de 1-metilciclopropeno (1-MCP) en frutos de chicozapote (*Manilkara sapota* (L.) P. Royen). *Agrociencia* 41:469-477.
- Aseri GK, Jain N, Panwar J, Rao AV, Meghwal PR (2008) Biofertilizers improve plant growth, fruit yield, nutrition, metabolism and rhizosphere enzyme activities of Pomegranate (*Punica granatum* L.) in Indian Thar Desert. *Sci. Hortic.* 117:130-135.
- Blankenship SM, Dole JM (2003) 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biol. Technol.* 28:1-25.
- Bron IU, Jacomino AP (2009) Ethylene action blockade and cold storage affect ripening of 'Golden' papaya fruit. *Acta Physiol. Plant.* 31:1165-1173.
- Esguerra EB, Marcaida MP III, Rosales RA (2010) Effects of 1-methylcyclopropene on ripening of two papaya (*Carica papaya* L.) cultivars. *Acta Hortic.* 875:81-88.

- Ferrer A, Remón S, Negueruela A, Oria R (2005) Changes during ripening of the very late season Spanish peach cultivar Calanda: Feasibility of using CIELAB coordinates as maturity indices. *Sci. Hortic.* 105:435-446.
- Gayosso-García SLE, Yahia EM, Martínez-Téllez MA, González-Aguilar GA (2010) Effect of maturity stage of papaya maradol on physiological and biochemical parameters. *Am. J. Agri. Biol. Sci.* 5:194-203.
- González MG, Moreno G, Giardina EB, Miro MD (2006) Exceso de agua en el suelo: Efecto sobre la calidad del fruto del duraznero *Prunus pérsica* (L.) Batsch. *Cienc. Suelo (Argentina)* 24:1-5.
- Goussous SJ, Mohammad MJ (2009) Comparative effect of two arbuscular mycorrhizae and N and P fertilizers on growth and nutrient uptake of onions. *Int. J. Agric. Biol.* 11:463-467.
- Lelièvre JM, Latché A, Jones B, Bouzayen M, Pech JC (1997) Ethylene and fruit ripening. *Physiol. Plant.* 101:727-739.
- Makus DJ (2004) Mycorrhizal inoculation of tomato and onion transplants improves earliness. *Acta Hortic.* 631:275-281.
- Manenoi A, Bayogan ERV, Thumdee S, Paull RE (2007) Utility of 1-methylcyclopropene as a papaya postharvest treatment. *Postharvest Biol. Technol.* 44:55–62
- Manenoi A, Paull R (2007) Effect of 1-Methylcyclopropene (MCP) on papaya fruit ripening. *Acta Hortic.* 740:323-326.
- Mena-Violante GH, Ocampo-Jiménez O, Dendooven L, Martínez-Soto G, González-Castañeda J, Davies FJr, Olalde-Portugal V (2006) Arbuscular mycorrhizal fungi enhance fruit growth and quality of chile ancho (*Capsicum annuum* L. cv San Luis) plants exposed to drought. *Mycorrhiza* 16:261-267.
- Mosca JL, Durigan JF (1995) Post-harvesting conservation of papaya fruits *Carica papaya* L. 'improved sunrise solo line 72/12', with utilization of protector films and wax, associated with refrigeration. *Acta Hortic.* 370: 217-221.
- Mueller A, Franken P, Schwarz D (2009) Nutrient uptake and fruit quality of tomato colonized with mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* (BEG 12) under supply of nitrogen and phosphorus. *Acta Hortic.* 807:383-388.

- Paull RE, Nishijima W, Marcelino R, Cavaletto C (1997) Postharvest handling and losses during marketing of papaya (*Carica papaya* L.). *Postharvest Biol. Technol.* 11:165-179.
- Proulx E, Cecilia M, Nunes N, Emond JP, Brecht J (2005) Quality attributes limiting papaya postharvest life at chilling and non-chilling temperatures. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 118:389-395.
- Ranganna S (1979) *Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Products*. McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi. 20 p
- Razali M, Ali ZM, Lazan H, Othman R, Rahman RA (2007) Quality related changes and softening enzymes activities during ripening of 'Sekaki' papaya. *Acta Hortic.* 740:333-335.
- Rufykiriri G, Declerck S, Dufey JE, Delvaux B (2000) Arbuscular mycorrhizal fungi might alleviate aluminium toxicity in banana plants. *New Phytologist* 148:343-352.
- Santamaría BF, Díaz PR, Sauri DE, Espadas GF, Santamaría FJM, Larqué SA (2009b) Características de calidad de frutos de papaya Maradol en la madurez de consumo. *Agr. Tec. Mex.* 35:347-353.
- Santamaría BF, Sauri DE, Espadas GF, Díaz PR, Larqué SA, Santamaría JM (2009a) Postharvest ripening and maturity indices for Maradol papaya. *Interciencia* 34:583-588.
- SAS, Institute. INC. 2005. SAS (Statistical Analysis System) the Institute INC, Cary, NC. USA. Versión 9.1.3.
- Schenck NC, Pérez Y (1990) *Manual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi*. 3rd. ed. Synergistic Publications. Gainesville, Florida. USA. 285 p.
- Selvaraj Y, Subramanyan MD, Iyer CPA (1982) Changes in the chemical composition of four cultivars of papaya (*Carica papaya* L.) during growth and development. *J. Hortic. Sci.* 57:135-143.
- Sisler EC, Serek M (1997) Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: Recent developments. *Physiol. Plant.* 100:577-582.

- SMN-CONAGUA (2009) Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. <http://smn.cna.gob.mx/> (Fecha de consulta: 10 de julio del 2009).
- Ulrichs C, Fischer F, Büttner C, Mewis I (2008) Comparación del contenido de licopeno, β -caroteno y fenoles en tomate aplicando un manejo hortícola convencional y ecológico y hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA). *Agronomía Colombiana* 26:40-46.
- Vázquez-Hernández MV, Arévalo-Galarza L, Jaen-Contreras D, Escamilla-García JL, Mora-Aguilera A, Hernández-Castro E, Cibrián-Tovar J, Téliz-Ortiz D (2011) Effect of *Glomus mosseae* and *Entrophospora colombiana* on plant growth, production, and fruit quality of 'Maradol' papaya (*Carica papaya* L.). *Sci. Hortic.* 138: 255-260.
- Wills RBH, McGlasson B, Graham D, Joyce D (1998) *Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit, Vegetables and Ornamentals*. 4th Ed. CAB International. Washington, DC. USA. 280 p.
- Witham FH, Blaydes DF, Devlin RM (1971) *Experiments in Plant Physiology*. Van Nostrand Reinhold Company, New York. 245 p.

CAPÍTULO III

EFECTO DEL USO DE MICORRIZAS Y FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN LA CALIDAD POSTCOSECHA DE PAPAYA 'MARADOL

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de micorrizas (PHC Hortic Plus) y/o fertilización orgánica (estiércol de res) sobre la calidad de frutos de papaya durante su maduración, así como el efecto de técnicas de conservación (aplicación de 1-metilciclopropeno, uso de cera y refrigeración (10 ± 1 °C, 10 días)) sobre la calidad de estos frutos. El tratamiento con fertilización orgánica y fertilización orgánica + micorrizas resultó en frutos con mayor firmeza comparado con el de micorrizas. Las pérdidas de peso fueron menores en los frutos de plantas con micorrizas y fertilización orgánica comparados con los frutos de plantas con ambos tratamientos. En los frutos almacenados a 10 °C los tratamientos con 1-MCP y 1-MCP+cera redujeron significativamente la tasa de producción de CO₂ y etileno. Solo los frutos testigo presentaron maduración normal, dado por una mayor pérdida de firmeza y menor °Hue, comparado con los del tratamiento con 1-MCP, cera y 1-MCP+cera. Los tratamientos con cera redujeron significativamente la pérdida de peso. Se concluyó que las fuentes de fertilización empleadas durante el desarrollo del cultivo no afectaron el patrón de maduración en los frutos, pero si a los parámetros de calidad como: tamaño, firmeza, pérdida de peso y color. Los tratamientos con 1-MCP y cera causaron fallas en la maduración de frutos.

3.1. Introducción

Las aplicaciones continuas de fertilizantes minerales es una práctica común en el cultivo de papaya, al ser estos requeridos para su crecimiento y producción continua (Nakasone y Paull, 1998). En la última década, el uso indiscriminado y alto costo de los fertilizantes minerales en la producción intensiva de papaya, ha incrementado los costos de producción, afectando el margen de ganancia de los productores (FAO, 2011). Se han realizados estudios evaluando los beneficios de la fertilización orgánica en papaya (Escamilla *et al.*, 2003), jitomate (Moral *et al.*,

1996), fresa (Mahadeen, 2009) y manzana (Weibel y Alföldi, 2007); así como el uso de micorrizas en papaya (Vázquez-Hernández *et al.*, 2011), jitomate (Makus, 2004) y fresa (Jaen *et al.*, 1997) para reducir costos de producción e incrementar el rendimiento, con resultados variables. En papaya Vázquez-Hernández *et al.*, (2011) reportan que las ventajas del uso de hongos micorrizicos en la producción de papaya con *Glomus mosseae* y *Entrophospora colombiana* obteniendo frutos con un contenido de azúcares totales, desarrollo de color y firmeza similares a los frutos de las plantas sin inocular. Sin embargo, no se ha evaluado la respuesta de los frutos de plantas inoculadas a diversas técnicas postcosecha utilizadas en papaya para mantener la calidad y prolongar su vida de anaquel. Entre estas técnicas destaca el uso de bajas temperaturas, cera y 1-metilciclopropeno (1-MCP), que pueden ser aplicadas de manera individual o combinadas. El almacenamiento a bajas temperaturas en papaya extiende la vida postcosecha hasta por 2-3 semanas a 7 °C dependiendo de su estado de madurez (Paull *et al.*, 1997). El uso de ceras mejora la apariencia de los productos hortofrutícolas (Petit-Jimenez *et al.*, 2004), restituyendo las ceras naturales eliminadas durante el lavado (Park *et al.*, 1994), reduciendo las pérdidas de peso durante el almacenamiento y comercialización (Paull y Chen, 1989; Pesis y Marinansky, 1992); al mismo tiempo que proveen al fruto una barrera física de permeabilidad selectiva al O₂, CO₂ y agua, por lo que la transpiración y tasa respiratoria son reducidas (Wills *et al.*, 1998). El uso del 1-MCP es una de las técnicas más modernas, que se ha utilizado con éxito en diversos productos hortofrutícolas para extender la vida postcosecha, ya que bloquea los sitios de acción del etileno, previniendo la acción y efectos relacionados con la maduración (Sisler y Serek, 1997; Blankenship y Dole, 2003). Los efectos principales del 1-MCP encontrados en papaya son: el retraso en el ablandamiento y desarrollo de color de los frutos (Manenoi y Paull, 2007; Esguerra *et al.*, 2010).

Con base en lo anterior, los objetivos del presente trabajo fueron: 1) evaluar el efecto de la fertilización orgánica y uso de un inoculante comercial (PHC Hortic Plus®) en la calidad de frutos de papaya y 2) evaluar el efecto de técnicas de

conservación (1-metilciclopropeno, uso de cera y refrigeración (10 ± 1 °C, 10 días)) sobre la calidad de frutos de papaya.

3.2. Materiales y Métodos

3.2.1. Antecedentes del cultivo

El cultivo se estableció en Apatzingán, Michoacán, México ($19^{\circ} 04' 55''$ N y $102^{\circ} 22' 15''$ O) y altura de 324 m, con clima cálido seco, temperatura y precipitación media anual de 27.1 °C y 861 mm (SMN-CONAGUA, 2011). Se emplearon semillas de papaya 'Maradol' que se inbibieron en agua limpia con tres cambios de agua cada 8 h. Las semillas fueron tratadas por inmersión en solución de benomilo (1 g.L^{-1} , 8 h), con dos enjuagues en agua estéril. Las semillas tratadas fueron colocadas en toallas de tela estéril y fueron regadas manualmente con una atomizador cada 2 h. Emergida la radícula se pretransplantaron en bolsas de plástico negro (15 x 25 cm) con suelo franco esterilizado (2 % formaldehído, 72 h) y fertilizado (16-16-16, N-P-K) como sustrato de crecimiento. Las plantas fueron colocadas en un área protegida con malla media sombra y antiáfidos. Dos días después del pretransplante se realizó una fertilización con 1 g (3-4-3, N-P-K) por plántula. Los tratamientos fueron: micorriza (T1), abono orgánico (T2) y micorriza + abono orgánico (T3). El tratamiento con micorriza consistió en la inoculación con 1 g del producto comercial PHC Hortic Plus® (formulado con las cepas de hongos micorrízicos *Entrophospora colombiana*, *Glomus intraradices*, *G. etunicatum* y *G. clarum* y seis tipos de bacterias benéficas (*Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus polymyza*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, *Paenibacillus azotofixans*)). El tratamiento de fertilización orgánica consistió en la incorporación de 6 ton ha^{-1} de abono orgánico (estiércol de res) al suelo (60 días antes del transplante). 15 días antes del transplante se estableció una barrera vegetal de maíz para obstaculizar el vuelo horizontal de los áfidos (Téliz, 2006). La plantación del cultivo se estableció con una densidad de $1667 \text{ plantas ha}^{-1}$, con distancias de 3.0 m entre hileras y 2.0 m entre plantas. Se eliminaron plantas con síntomas iniciales de virosis hasta inicio de cosecha y se raleó durante la producción, dejando un fruto por axila. Para todos los tratamientos se realizaron

ferti-irrigaciones (214-26-94, N-P-K) cada semana (cintilla Ro-Drip^R de 16 mm, 20 cm de separación entre goteros (8''), con volumen de 500 LPH/100 m y 0.55 Bar de presión de operación), así como aplicaciones foliares de guanofol, CaB[®] y Frutal K[®] de acuerdo a las especificaciones de los fabricantes. Para el control de plagas y enfermedades se realizaron un total de 15 aplicaciones, una cada dos semanas, con uno o dos de los siguientes productos orgánicos: Cinna-mix[®], Mycotrol[®], Biocrack[®], Biogarlic[®] y Bactiva[®].

3.2.2. Experimento 1: Evaluación de la maduración

Los frutos fueron cosechados (21 frutos por tratamiento) en madurez fisiológica (40 % de desarrollo de color), seleccionando frutos sanos y sin daño mecánico. Los frutos fueron trasladados al laboratorio donde fueron lavados y tratados con una solución de hipoclorito de sodio (200 $\mu\text{L L}^{-1}$) y sumergidos en Prochloraz (500 $\mu\text{L L}^{-1}$, 2 min) y secados al ambiente. Se evaluó la maduración de los frutos a temperatura ambiente (20 ± 1 °C) (de los tres tratamientos de campo) con periodos de muestreo a los 0, 2, 4, 6, 8 y 10 días después de la cosecha, con excepción de la tasa respiratoria y producción de etileno.

3.2.3. Experimento 2: Aplicación de 1-metilciclopropeno (1-MCP), cera y almacenamiento refrigerado

Para los tratamientos postcosecha se utilizaron los frutos del tratamiento T3 (micorriza + fertilización orgánica) considerado como el de mejores características considerando el tamaño y rendimiento de frutos (datos no publicados). Se tomaron 21 frutos para cada tratamiento: 1) testigo, 2) 1-MCP (300 nL L^{-1} ; SmartFresh[®] 14 %), 3) cera y 4) 1-MCP + cera. El tratamiento de 1-MCP se realizó por 16 h en contenedores herméticamente cerrados de acuerdo al protocolo de la compañía. La aplicación de la cera de carnauba (6 %) se realizó manualmente por aspersión a 22 °C después del tratamiento con 1-MCP. Los frutos fueron almacenados por 10 días a 10 ± 1 °C, con muestreo a los 0, 2, 4, 6, 8 y 10 días después del almacenamiento (dda), con excepción de la tasa respiratoria y producción de etileno que se realizó a los 1,3,5,7 y 9 dda.

3.2.4. Variables de estudio

3.2.4.1. *Respiración y producción de etileno.* Se determinaron por el método estático de Salveit y Sharaf, (1992), en donde cada fruto fue encerrado por 1 h en contenedores herméticos individuales de 5 L y se tomó 1 mL de aire del espacio de cabeza (espacio superior) del contenedor fue inyectado en un cromatógrafo de gases (5890 Series II, Hewlett Packard Co, USA) equipado con una columna Paraplot Q (25 m/0.32 mm), un detector de conductividad térmica (TCD) y un detector de ionización de flama (FID). Las condiciones de trabajo fueron: temperatura del horno: 80 °C, temperaturas del inyector y detector: 150 °C. Se utilizó helio como gas de arrastre con un flujo de 32.3 mL min⁻¹. Se utilizaron estándares de CO₂ (492 µL L⁻¹) y etileno (20 µL L⁻¹).

3.2.4.2. *Firmeza y actividad de pectinmetilesterasa (PME).* La firmeza de la pulpa se midió con un texturómetro (FDV-30, Wagner Instruments, USA) con un puntal de corte de 10 mm en cuatro puntos del fruto. La actividad de PME se determinó por titulometría con el método modificado de Ranganna (1979), homogeneizando 25 g de pulpa congelada en 50 mL de una solución NaCl (0.27 N, 4 °C), la mezcla se dejó reposar por 48 h y se centrifugó (4000 g, 4 °C, 25 min). Se hizo reaccionar 2 mL del sobrenadante con 10 mL de pectina cítrica (1%) como sustrato, con ajuste inmediato del pH a 7.5 con NaOH (0.2 N). Las muestras fueron colocados en baño María a 37 °C y por lapsos de 10 min se ajustó el pH a 7.5 con NaOH (0.01 N) con un tiempo total de reacción de 30 min. La actividad de PME se reporta como mg metoxilo mL⁻¹ del extracto enzimático.

3.2.4.3. *Pérdida de peso y contenido de azúcares totales.* La pérdida de peso se determinó por diferencia de peso, respecto al inicial de cada fruto, con una balanza digital (EY-2200-A, Asep, Japón). Los azúcares totales fueron determinados por el método de antrona (Witham *et al.*, 1971). Se homogeneizó 1 g de pulpa con 40 ml de etanol (80 %), 1 ml del extracto se evaporó en baño María y se diluyó en 100 ml de agua destilada, en un tubo de ensayo se tomó 1 mL de muestra y se le adicionó 3 mL de agua destilada y 6 mL de la solución de ácido

sulfúrico + antrona (100 mL: 0.4 g) en agua fría. La mezcla se puso en ebullición por 3 min a baño María y después de enfriarse se midió la absorbancia a 600 nm en un espectrofotómetro (Spectronic 20, Bausch & Lomb, USA). La cuantificación se realizó mediante una curva patrón de glucosa.

3.2.4.4. Color. El color fue determinado con un colorímetro (D-25a PC2, Hunter Lab, USA) calibrado con un plato blanco estándar reflectivo ($X=80.12$, $Y=82.14$ y $Z=91.41$). Los valores del color fueron registrados usando el espacio de color Hunter Lab de los cual se calculó la tonalidad ($^{\circ}H = \tan^{-1} b/a$) (Francis, 1980). Para el color de la epidermis se tomaron dos lecturas en ambos lados de cada fruto. Para el color de la pulpa se tomaron dos lecturas en ambos lados de la zona ecuatorial.

3.2.4.5. Análisis estadístico. Para el análisis de resultados se consideró a cada fruto como unidad experimental con 3 repeticiones. Se verificó la normalidad de los datos con la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Los resultados se analizaron bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial. Se realizó un análisis de varianza y separación de medias de acuerdo con la diferencia honesta significativa (HSD) de Tukey ($P < 0.05$; SAS[®], versión 9.2, 2005). Se realizó un análisis de correlación de Pearson para cada experimento para determinar la relación entre firmeza con la actividad de PME, concentración de CO₂ y etileno.

3.3. Resultados y Discusión

3.3.1. Experimento 1: evaluación de la maduración

3.3.1.1. Firmeza y actividad de pectinmetilesterasa (PME). La fuente de fertilización influyó en la firmeza inicial de los frutos de papaya ya que los frutos de las plantas con el tratamiento T3 presentaron mayor firmeza inicial (72.4 N) ($P < 0.05$) que la de los frutos del tratamiento T1 (52.1 N) (Figura 3.1A). Este resultado es atribuido a una mayor nutrición de las plantas dada por el sinergismo de la materia orgánica e inoculación micorrízica. En este sentido la materia orgánica mejora las propiedades físicas del suelo e incrementa la retención de agua y

nutrimentos (Ozores-Hampton *et al.*, 1994; Escamilla *et al.*, 2003), mientras que las micorrizas favorecen la mineralización de sustancias orgánicas, brindan una mayor exploración del suelo, mejorando el transporte y abastecimiento de nutrimentos del suelo a la planta vía hifa micorrízica (Bethlenfalvay y Schüepp, 1994; Atul-Nayyar *et al.*, 2009; Goussous y Mohammad, 2009). Al respecto, Vázquez-Hernández *et al.* (2011) reportaron mayor contenido de Ca en frutos de papaya de plantas con micorrizas, elemento relacionado con la firmeza en frutos dado que los iones de Ca incrementan la estabilidad de las paredes celulares (Raese, 1998; Angeletti *et al.*, 2010).

La pérdida de firmeza más drástica se presentó en los primeros 4 días de la maduración, con valores menores a 20 N, con pérdidas mayores al 80 % en los tratamientos de micorriza (T1) y abono orgánico (T2). Los frutos del tratamiento micorriza + abono orgánico (T3) alcanzaron la firmeza de consumo hasta el día 6, implicando un retraso en la pérdida de firmeza.

Las pérdidas de firmeza se presentaron dos días después de los picos de mayor actividad de PME (2.2 mg metoxilo mL⁻¹) en los frutos del tratamiento T1 y al momento de mayor actividad para los de los tratamientos T2 (1.8 mg metoxilo mL⁻¹) y T3 (1.9 mg metoxilo mL⁻¹) (Figura 3.1B), atribuido a los cambios en la estructura y composición de las sustancias pépticas de la pared celular (Razali *et al.*, 2007). La actividad de PME incrementó durante los primeros días de maduración (2-6 días) similares a los reportados en otras variedades de papaya (Bron y Jacomino, 2009; Lazan *et al.* 1995; Paull y Chen, 1983). Estudios recientes han demostrado que la actividad de PME no solo provee sustrato para la acción de poligalacturonasas, sino que también modifica el pH de las paredes celulares, promoviendo la acción de otras enzimas principalmente xilanasas, glucanasas y β-galactosidasas, enzimas responsables del ablandamiento de frutos de papaya al presentar altas correlaciones negativas con la firmeza de frutos (Chisari *et al.*, 2009; Thumdee *et al.*, 2007).

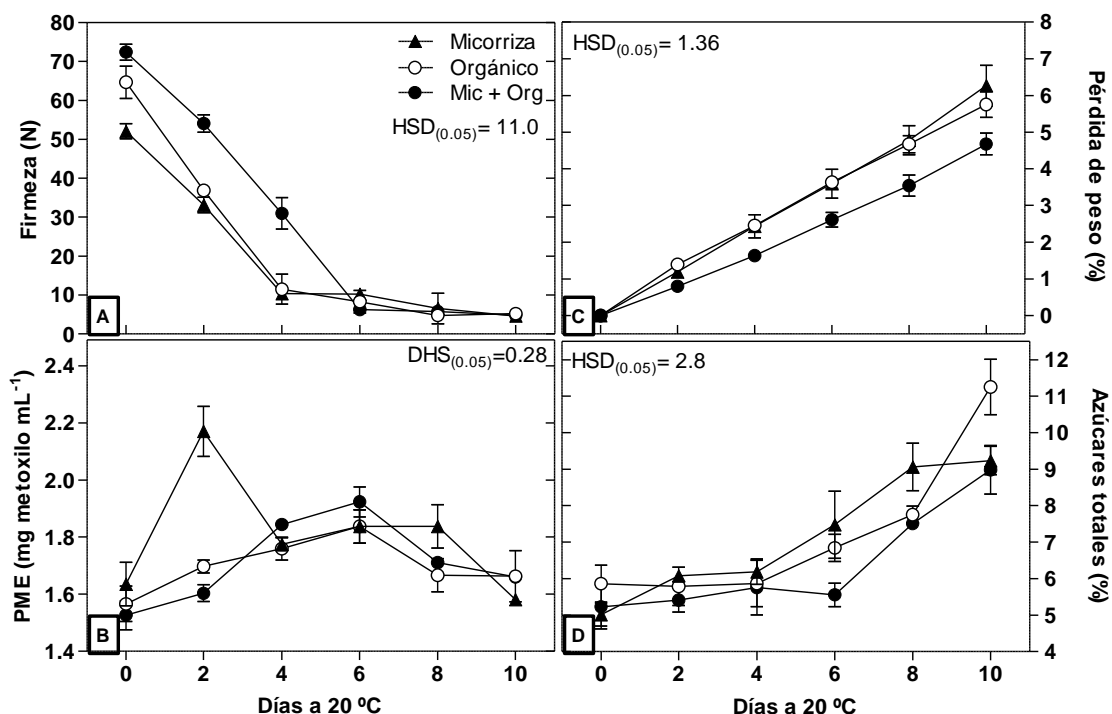


Figura 3. 1. Firmeza (A), actividad de pectinmetilesterasa (B), pérdida de peso (C) y contenido de azúcares totales (D) en frutos de papaya 'Maradol' de plantas inoculadas con micorrizas y/o fertilizadas con materia orgánica. HSD: Diferencia Honesta Significativa de Tukey ($P < 0.05$).

Por otra parte, la pérdida de la firmeza tuvo una alta correlación con la respiración ($R^2 = -0.91$, $P < 0.0001$), durante la respiración se producen compuestos tóxicos como el peróxido de hidrogeno (H_2O_2), superóxidos ($O_2^{\cdot-}$) y radicales hidroxilos (OH^{\cdot}), productos que favorecen la oxidación, degradación de las membranas celulares y la degradación de la pared celular, favoreciendo la pérdida de firmeza (Netto, 2001; Arora *et al.*, 2002; Dumville y Fry, 2003). Estos resultados sugieren que la respiración no solo es necesaria para proveer de energía para las transformaciones bioquímicas durante la maduración, sino que también regula parcialmente el proceso de ablandamiento en frutos (Solomos, 1977). Aunque el etileno explica mayormente la actividad de PME ($R^2 = 0.78$, $P = 0.0006$), la baja correlación ($R^2 = -0.31$, $P = 0.02$) entre la actividad de PME con la firmeza muestra la participación parcial de esta enzima en el ablandamiento de los

frutos de papaya, confirmando que la participación de PME en la pérdida de firmeza en frutos de esta especie no es tan significativa (Paull *et al.*, 1999).

3.3.1.2. *Pérdida de peso y contenido de azúcares totales.* La pérdida de peso fue menor en los frutos de plantas con el tratamiento T3 (4.7 %) comparado con los frutos del tratamiento T1 (6.2 %) al final del periodo de maduración ($P < 0.05$) (Figura 3.1C). Este resultado puede estar relacionado con el tamaño de frutos (datos no publicados), ya que estos presentaron 44% más de peso que los frutos de plantas con el tratamiento T2 y 15 % más que los del tratamiento T1, debido a una menor relación área superficial/volumen (Ahmad *et al.*, 2006; Wills *et al.*, 1998). Resultados similares han sido reportados en bulbos de ajo (Makus, 2004) y frutos de papaya (Vázquez-Hernández *et al.*, 2011) de plantas inoculadas con micorrizas.

No se encontraron diferencias significativas en el contenido de azúcares que vario de 9 a 11.3 % al finalizar la maduración (Figura 3.1D), resultados similares a los reportados para el cultivar “Solo” (Gómez *et al.*, 2002) y “Maradol” (Sañudo *et al.*, 2008).

3.3.1.3. *Color.* No se encontró diferencia entre tratamientos en el tono del color ($^{\circ}$ Hue) de la epidermis durante la maduración de los frutos. Los valores iniciales del tono fueron de 116.7-118.0 $^{\circ}$ y 68.9-77.9 $^{\circ}$ al finalizar el periodo de maduración (Figura 3.2A). El color de los frutos fue de verde-amarillo a rojo-naranja con incrementos en la luminosidad (valor L) de los días 6 y 8 (Figura 3.2B), siendo los frutos del tratamiento T3 con el valor más alto de L. Con respecto al tono de la pulpa (Figura 3.2A), se encontraron diferencias durante el día 1 de maduración (51.1 y 65.0 $^{\circ}$ para los frutos de plantas con los tratamientos T2 y T3, respectivamente) y al finalizar esta (41.9 y 30.1 $^{\circ}$ para los frutos de plantas con el tratamiento T1 y T3). La variación del tono en la pulpa fue de un color amarillo-naranja a rojo-naranja. La luminosidad de la pulpa varió en el intervalo de 33.3-37.8 al finalizar la maduración (Figura 3.2C).

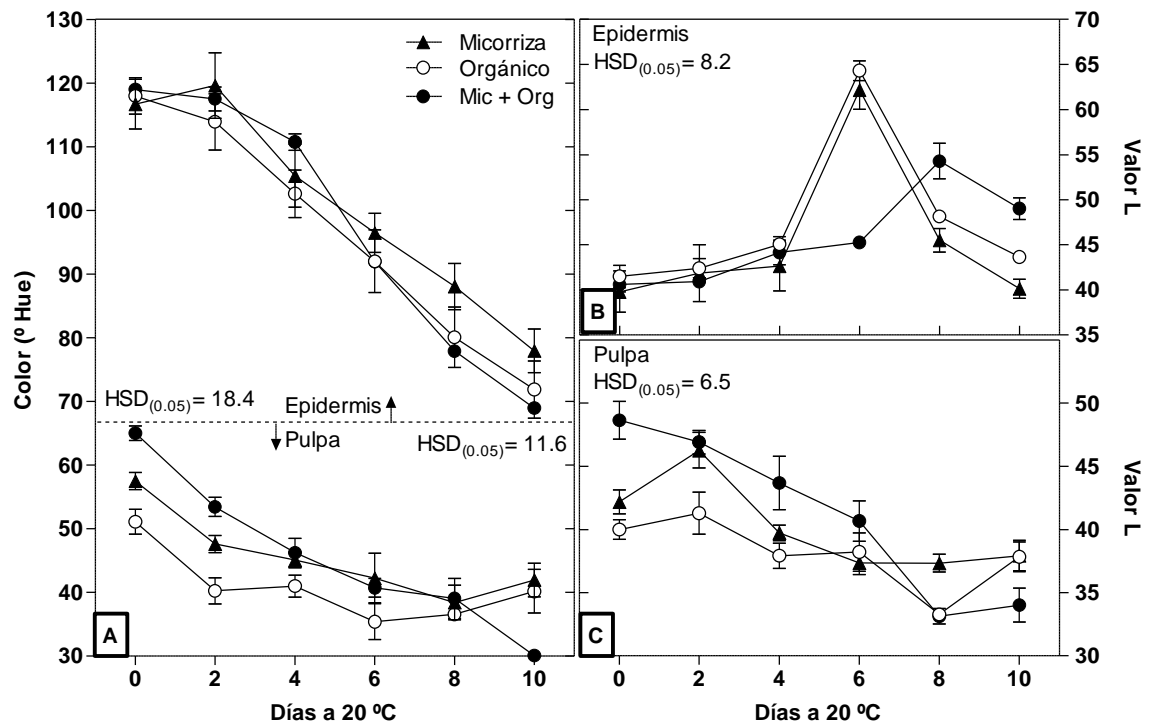
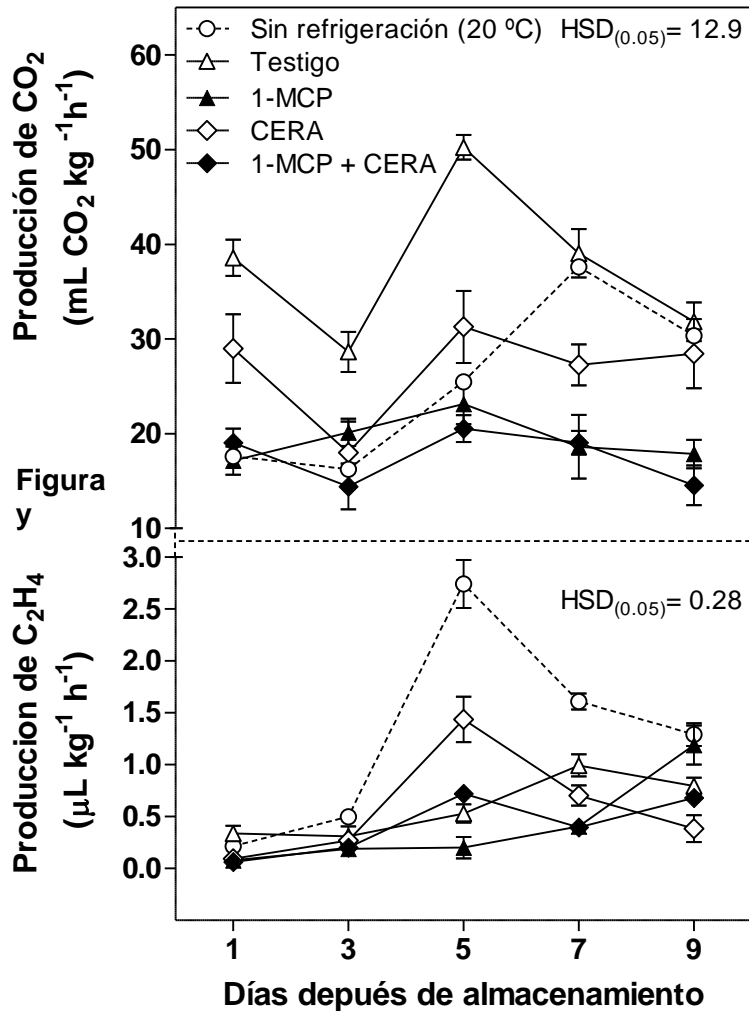


Figura 3. 2. Tonalidad (°Hue) de la epidermis y pulpa (A), luminosidad (valor L) de la epidermis (B) y pulpa (C) en frutos de papaya ‘Maradol’ de plantas inoculadas con micorrizas y/o fertilizadas con materia orgánica. HSD: Diferencia Honesta Significativa de Tukey ($P < 0.05$).

Los cambios en el color durante la maduración, de acuerdo con Wills y Widjanarko, (1995) implican entre otros, la biosíntesis y acumulación de carotenoides, además de la degradación de clorofila (Ferrer *et al.*, 2005).

3.3.2. Experimento 2: Aplicación de 1-MCP, cera y almacenamiento refrigerado

3.3.2.1. Respiración y producción de etileno. Los frutos mantenidos a 20 °C presentaron el patrón de maduración típico de los frutos climatéricos (Figura 3). La producción inicial de CO₂ (17.6 mL kg⁻¹.h⁻¹) y etileno (0.21 μL.kg⁻¹.h⁻¹) permanecieron sin cambios hasta el día 3 de maduración, con incrementos consistentes hasta alcanzar el pico climatérico de CO₂ (37.6 mL kg⁻¹.h⁻¹) y etileno (2.74 μL.kg⁻¹.h⁻¹) al día 7 y 5, respectivamente.



3. 3. Tasa respiratoria (arriba) producción de etileno (abajo) en frutos de papaya 'Maradol' de plantas inoculadas con micorrizas y/o fertilizadas con materia orgánica, tratados con 1-MCP y/o cera almacenados a 10 °C por 10 días, seguido por almacenamiento a 20 °C. HSD: Diferencia Honesta Significativa de Tukey (P < 0.05).

Después del almacenamiento refrigerado, la producción inicial de CO₂ (38.6 mL kg⁻¹h⁻¹) y etileno (0.34 µL.kg⁻¹.h⁻¹) de los frutos testigo permanecieron sin cambios significativos hasta alcanzar los picos climatéricos de CO₂ (50.2 mL kg⁻¹h⁻¹) y etileno (0.99 µL.kg⁻¹.h⁻¹) al día 5 y 7, respectivamente (P < 0.05) (Figura 3.3). Los frutos mantenidos a 20 °C tuvieron en promedio una tasa respiratoria de 25.4 mL kg⁻¹h⁻¹ mientras que en los almacenados a 10 °C fue de 37.7 mL kg⁻¹h⁻¹. En el mismo orden, la producción de etileno fue de 1.3 µL kg⁻¹ h⁻¹ y 0.59 µL kg⁻¹ h⁻¹ (P < 0.05). Estos resultados muestran un incremento de la tasa respiratoria durante la maduración a 20 °C posterior al almacenamiento a 10 °C en respuesta al estrés por la baja temperatura de almacenamiento (Wang, 1982; Bron y Jacomino, 2009). Los frutos testigo almacenados a 10 °C maduraron normalmente a 20 °C, aun

cuando la máxima producción de etileno fue 63.9 % más baja que la de los frutos mantenidos a 20 °C, concordando con el coeficiente Q_{10} de la Ley de Arrhenius que postula que la velocidad de las reacciones de procesos enzimáticos y fisiológicos se incrementa de dos a tres veces por cada 10 °C de incremento en la temperatura y viceversa, por consiguiente el almacenamiento refrigerado puede disminuir el metabolismo, que incluso la síntesis de nuevos sitios receptores no sería suficiente para la producción autocatalítica de etileno (Bron y Jacomino, 2009).

Los tratamientos con 1-MCP, cera y 1-MCP + cera, redujeron la tasa respiratoria de los frutos en 48.5, 28.9 y 53.6 %, respectivamente ($P < 0.05$) comparado con el testigo (Figura 4). El mecanismo por el cual el 1-MCP reduce la tasa respiratoria aún se desconoce, sin embargo este efecto ha sido registrado en frutos de papaya (Bron y Jacomino, 2009; Esguerra *et al.*, 2010; Sañudo *et al.*, 2008; Manenoi *et al.*, 2007), sapote mamey (*Pouteria sapota* Jack.) (Ergun *et al.*, 2005; Téllez *et al.*, 2009), chicozapote (*Manilkara sapota* (L.) P. Royen) (Arévalo *et al.*, 2007) y ciruela japonesa (*Prunus salicina* Lindl.) (Khan *et al.*, 2009). Asimismo en ambos tratamientos con 1-MCP la producción de etileno disminuyó más del 30 %, debido a que este ocupa los sitios de acción de etileno, y en consecuencia retrasa el proceso de maduración (Nakatsuka *et al.*, 1997; Sisler y Serek, 1997).

3.3.2.2. *Firmeza y actividad de pectinmetilesterasa (PME)*. Los frutos testigo perdieron 67.8 % de su firmeza inicial al 4 día, pero alcanzaron la firmeza de consumo hasta al 6º día de maduración a 20 °C (Figura 3.4A), junto con la máxima actividad de PME (Figura 3.4B). Tanto la pérdida de firmeza como la actividad de PME presentaron valores similares a los de los frutos mantenidos a 20 °C. Estos resultados muestran que el almacenamiento refrigerado por 10 d no afectó el proceso de maduración en frutos de papaya. De acuerdo con Paull *et al.* (1997) los frutos de papaya pueden ser almacenados hasta por 21 días a 10 °C o menos de 14 días a 7 °C.

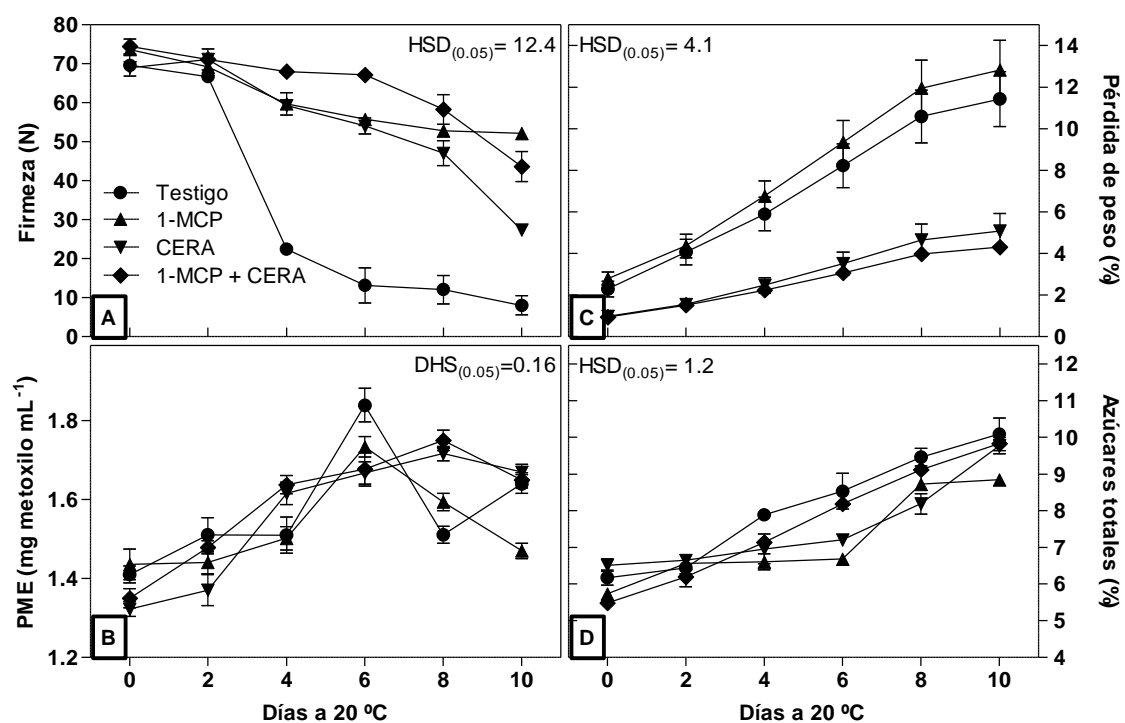


Figura 3. 4. Firmeza (A), actividad de pectinmetilesterasa (B), pérdida de peso (C) y contenido de azúcares totales (D) en frutos de papaya ‘Maradol’ de plantas inoculadas con micorrizas y/o fertilizadas con materia orgánica, tratados con 1-MCP y/o cera almacenados a 10 °C por 10 días, seguido por almacenamiento a 20 °C. HSD: Diferencia Honesta Significativa de Tukey ($P < 0.05$).

Los tratamientos postcosecha evaluados mantuvieron la firmeza de los frutos durante la maduración, sin que estos alcanzaran la firmeza de consumo al finalizar su almacenamiento a 20 °C (Figura 3.4C). Las diferencias, con respecto al testigo, fueron evidentes a partir de los 4 d de maduración. En este sentido, el testigo mostro una correlación entre la firmeza y producción de etileno ($R^2 = -0.82$, $P < 0.0002$), y con la actividad de PME ($R^2 = -0.58$, $P < 0.0122$), mostrando la regulación de etileno sobre los genes de expresión de enzimas relacionadas con la pérdida de firmeza (Bapat *et al.*, 2010). Los frutos con los tratamientos 1-MCP y 1-MCP + cera mantuvieron la firmeza alta con 48 N al final del periodo de maduración, la retención de esta y la reducción de la producción de etileno en 30.5 %, de acuerdo con Bron y Jacomibo (2009), implica que el etileno está involucrado en el proceso de ablandamiento por acción enzimática (Bron y Jacomino, 2009; Thumdee *et al.*, 2007). Por otra parte, el incremento en la

respiración de los frutos testigo también pudo favorecer la pérdida de firmeza debido a la producción de compuestos que degradan la pared celular (Dumville y Fry 2003), por lo que una reducción de la respiración en los frutos tratados con 1-MCP del 49.0% y del 53.0 % en los frutos con 1-MCP+cera puede reducir la pérdida de firmeza de los frutos. El tratamiento con cera en frutos de papaya si bien no alcanzaron la firmeza de consumo, esta fue más baja que los frutos con los tratamientos 1-MCP o 1-MCP+cera ($P < 0.05$) (Figura 3.4A), a la vez que la tasa de respiración y producción de etileno fueron mayores (Figura 3).

3.3.2.3. Pérdida de peso y contenido de azúcares totales. La pérdida de peso presentó, de manera general, incrementos consistente durante la maduración de los frutos (Figura 3.4C). Los frutos testigo presentaron una pérdida de peso del 11.4 % al finalizar la maduración (154.4 % más de pérdida de peso que los frutos mantenidos a 20 °C), posiblemente como efecto del estrés por el almacenamiento a baja temperatura. Los frutos tratados con 1-MCP (12.8 %) presentaron pérdidas de peso similares al testigo (11.4 %). La reducción de la pérdida de peso en los frutos tratados con cera sola (5.1 %) o combinada con 1-MCP (4.3 %) es mayor al resto de los tratamientos ($P < 0.05$). Este efecto se debe a que la cera restringe la permeabilidad de la superficie del fruto, reduciendo el intercambio de gases durante el transporte y almacenamiento, como se ha reportado en pera (Amarante *et al.*, 2001), sapote mamey (Ergun *et al.*, 2005) y mango (Hoa y Ducamp, 2008; Hoa *et al.*, 2002).

Los azúcares totales incrementaron durante el proceso de maduración, con valores iniciales de 5.5-6.5 % y al finalizar la maduración con 8.8-10.1 %, con diferencias significativas entre tratamientos a partir del día 4 de maduración a 20 °C. Los frutos de los tratamientos con 1-MCP, cera y 1-MCP+cera presentaron menor contenido de azúcares respecto al testigo ($P < 0.05$); sin embargo en ninguno de los tratamientos, incluso el testigo, alcanzaron los niveles de azúcares encontrados en los frutos mantenidos a 20 °C. Estos resultados concuerdan con una reducción en la maduración por efecto de los tratamientos.

3.3.2.4. *Color*. Los frutos testigo presentaron un valor inicial en la epidermis de 110.7 ° y 78.2 ° al finalizar la maduración ($P < 0.05$), mientras que en la pulpa la reducción en el °Hue no fue significativa (44.2 a 40.4 °) en el mismo periodo. Los cambios en la luminosidad (valor L) fueron menos marcados al presentar variaciones de 39.1 a 44.33 en la epidermis y 46.2 a 35.8 en la pulpa, al inicio y final de la maduración, respectivamente (Figura 3.5B y C). Al comparar estos resultados con los obtenidos en el experimento 1, se encontró que el almacenamiento refrigerado causó no solo menores cambios en los valores de la tonalidad y luminosidad, sino que también fueron en promedio significativamente menores la tonalidad (94.1 °) y luminosidad (42.5) de la epidermis, así como la tonalidad de la pulpa (42.5) con respecto a los valores del experimento 1 (97.7 °, 45.7 ° y 45.7, respectivamente). Estos resultados indican el almacenamiento refrigerado (10 °C, 10 días) no afectó la capacidad de los frutos para la degradación y síntesis de pigmentos como clorofilas y carotenoides, aún que si reduce dichos procesos.

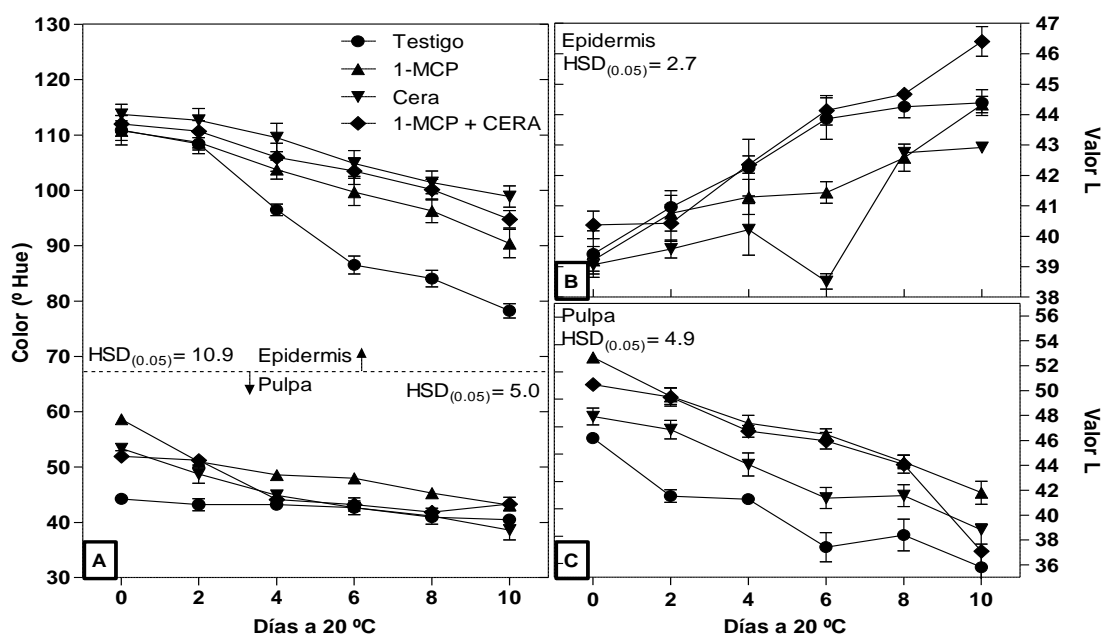


Figura 3. 5. Tonalidad (°Hue) de la epidermis y pulpa (A), luminosidad (valor L) de la epidermis (B) y pulpa (C) en frutos de papaya 'Maradol' de plantas inoculadas con micorrizas y/o fertilizadas con materia orgánica, tratados con 1-MCP y/o cera almacenados a 10 °C por 10 días, seguido por almacenamiento a 20 °C. HSD: Diferencia Honesta Significativa de Tukey ($P < 0.05$).

3.4. Conclusiones

Las fuentes de fertilización empleadas durante el desarrollo del cultivo no afectaron el patrón de maduración en los frutos, pero si a los parámetros de calidad como: tamaño, firmeza, pérdida de peso, color de la pulpa (°Hue y luminosidad) y color de la epidermis (luminosidad). Las plantas con micorrizas + fertilización orgánica produjeron frutos de mayor tamaño, firmeza y tono de pulpa, a la vez que desarrollaron mejor color y perdieron menos peso durante la maduración. Los tratamientos con 1-MCP y cera conservaron mayor firmeza y valores más altos de °Hue en los frutos, pero al mismo tiempo, los frutos presentaron fallas en la maduración (falta de pérdida de firmeza y desarrollo de color). La aplicación de cera permite una reducción significativa de la pérdida de peso y mayor acumulación de azúcares. El efecto combinado del 1-MCP + cera reduce los efectos negativos de ambos tratamientos aplicados de manera individual.

Literatura citada

- Ahmad S, Thompson AK, Perviez MA, Anwar N, Ahmad F (2006) Effect of fruit size and temperature on the shelf life and quality of ripe banana fruit. *J. Agric. Res.* 44: 313-324.
- Amarante C, Banks NH, Ganesh S (2001) Relationship between character of skin cover of coated pears and permeance to water vapour and gases. *Postharvest Biol. Technol.* 21: 291-301.
- Angeletti P, Castagnasso H, Miceli E, Terminiello L, Concellón A, Chaves A, Vicente AR (2010) Effect of preharvest calcium applications on postharvest quality, softening and cell wall degradation of two blueberry (*Vaccinium corymbosum*) varieties. *Posth. Biol. Technol.* 58: 98-103.
- Arévalo GL, Bautista RB, Saucedo VC, Martínez DT (2007) Almacenamiento refrigerado y aplicaciones de metilciclopropeno (1-MCP) en frutos de chicozapote. *Agrociencia* 41: 469-477.
- Arora A, Sairam RK, Srivastava GC (2002) Oxidative stress and antioxidative system in plants. *Curr. Sci.* 82: 1227-1238.

- Atul-Nayyar A, Hamel C, Hanson K, Germida J (2009) The arbuscular mycorrhizal symbiosis links N mineralization to plant demands. *Mycorrhiza* 19: 239–249.
- Bapat VA, Trivedi PK, Ghosh A, Sane VA, Ganapathi TR, Nnath P (2010) Ripening of fleshy fruit: Molecular insight and the role of ethylene. *Biotech. Adv.* 28: 94-107.
- Bethlenfalvay GJ, Schüepp H (1994) Arbuscular mycorrhizas and agrosystem stability. in: Gianinazzi, S. and Schüepp, H. (Eds.), *Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems*. Birkhäuser Verlag, Basel, p.117-131.
- Blankenship SM, Dole JM (2003) 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biol. Technol.* 28: 1-25.
- Bron IU, Jacomino AP (2009) Ethylene action blockade and cold storage affect ripening of 'Golden' papaya fruit. *Acta Physiol. Plant.* 31: 1165-1173.
- Chisari M, Silveira AC, Barbagallo R, Spagna G, Artes F (2009) Ripening stage influenced the expression of polyphenol oxidase, peroxidase, pectin methylesterase and polygalacturonase in two melon cultivars. *Int. J. Food Sci. Tech.* 44: 940-946.
- Dumville JC, Fry SC (2003) Solubilisation of tomato fruit pectins by ascorbate: a possible non-enzymic mechanism of fruit softening. *Planta* 217: 951-961.
- Ergun M, Sargent SA, Fox AJ, Crane JH, Huber DJ (2005) Ripening and quality responses of mamey sapote fruit to postharvest wax and 1-methylcyclopropene treatments. *Postharvest Biol. Technol.* 36: 127-134.
- Escamilla GJL, Saucedo VC, Martínez DM, Martínez GA, Sánchez GP, Soto HRM (2003) Fertilización orgánica, mineral y foliar sobre el desarrollo y la producción de papaya cv. Maradol. *Terra* 21: 157-166.
- Esguerra EB, Marcaida MP III, Rosales RA (2010) Effects of 1-methylcyclopropene on ripening of two papaya (*Carica papaya* L.) cultivars. *Acta Hortic.* 875: 81-88.
- FAO. Food and Agriculture Organization (2011) Statistical database Internet <http://faostat.fao.org/site/535/DesktopDefault.aspx?PageID=535#ancor> (Fecha de consulta 10 de agosto del 2011).

- Ferrer A, Remón S, Negueruela A, Oria R (2005) Changes during ripening of the very late season Spanish peach cultivar Calanda: Feasibility of using CIELAB coordinates as maturity indices. *Sci. Hortic.* 105: 435-446.
- Francis FJ (1980) Color quality evaluation of horticultural crops. *HortScience* 15: 58-59.
- Gómez M, Lajolo F, Cordenunsi B (2002) Evolution of soluble sugars during ripening of papaya fruit and its relation to sweet taste. *J. Food Sci.* 67: 442-447.
- Goussous SJ, Mohammad MJ (2009) Comparative effect of two arbuscularmycorrhizae and N and P fertilizers on growth and nutrient uptake of onions. *Int. J. Agric. Biol.* 11: 463–467.
- Hoa TT, Ducamp MN (2008) Effects of different coatings on biochemical changes of 'cat Hoa loc' mangoes in storage. *Postharvest Biol. Technol.* 48: 150–152
- Hoa TT, Ducamp MN, Lebrun M, Baldwin E (2002) Effect of different coating treatments on the quality of mango fruit. *J. Food Qual.* 25: 471-486.
- Jaen CD, Becerril RAE, Colinas LMT, Santizo RJA (1997) Crecimiento y producción de fresa inoculada con *Glomus mosseae*, asperjada con AG₃ y fertilizada con NPK. *Agrociencia* 31: 165-169.
- Khan AS, Singh Z, Swinny EE (2009) Postharvest application of 1-Methylcyclopropene modulates fruit ripening, storage life and quality of 'Tegan Blue' Japanese plum kept in ambient and cold storage. *Int. J. Food Sci. Technol.* 44: 1272-1280.
- Lazan H, Selamat MK, Ali ZM (1995) β -Galactosidase, polygalacturonase and pectinesterase in differential softening and cell wall modification during papaya fruit ripening. *Physiol. Plant.* 95: 106-112.
- Mahadeen AY (2009) Influence of organic and chemical fertilization on fruit yield and quality of plastic-house grown strawberry. *Jordan J. Agric. Sci.* 5: 167-177.
- Makus DJ (2004) Mycorrhizal inoculation of tomato and onion transplants improves earliness. *Acta Hortic.* 631: 275-281.

- Manenoi A, Paull R (2007) Effect of 1-Methylcyclopropene (MCP) on papaya fruit ripening. *Acta Hortic.* 740: 323-326.
- Manenoi A, Bayogan ERV, Thumdee S, Paull RE (2007) Utility of 1-methylcyclopropene as a papaya postharvest treatment. *Postharvest Biol. Technol.* 44: 55-62
- Moral R, Navarro PJ, Gómez I, Palacios G, Mataix J (1996) Tomato fruit yield and quality are affected by organic and inorganic fertilization and cadmium pollution. *J. Plant Nutr.* 19:1493-1498.
- Nakasone HY, Paull RE (1998) *Tropical Fruits*. First ed. CAB International, Wallingford. U.K
- Nakatsuka A, Shiomi S, Kubo Y, Inaba A (1997) Expression and internal feedback regulation of ACC synthase and ACC oxidase genes in ripening tomato fruit. *Plant Cell Physiol.* 38: 1103–1110
- Netto LES (2001) Oxidative stress response in sugarcane. *Genet. Mol. Biol.* 24: 93-102.
- Ozores-Hampton M, Schaffer B, Bryan HH, Hanlon EA (1994) Nutrient concentrations, growth, and yield of tomato and squash in municipal solid-waste-amended soil. *HortScience* 29: 785-788.
- Park H, Bunn J, Vergano P, Testin R (1994) Gas permeation and thickness of the sucrose polyesters, SemperFresh coatings on apples. *J. Food Process. Preserv.* 18: 349- 358.
- Paull RE, Chen NJ (1983) Postharvest variation in cell wall-degrading enzymes of papaya (*Carica papaya* L.) during fruit ripening. *Plant Physiol.* 72: 382-385.
- Paull RE, Chen NJ (1989) Waxing and plastic wraps influence water loss from papaya fruit during storage and ripening. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 114: 937-942.
- Paull RE, Nishijima W, Marcelino R, Cavaletto C (1997) Postharvest handling and losses during marketing of papaya (*Carica papaya* L.). *Postharvest Biol. Technol.* 11: 165-179.
- Paull RE, Gross K, Qiu Y (1999) Changes in papaya cell walls during fruit ripening. *Postharvest Biol. Technol.* 16: 79-89.

- Pesis E, Marinansky R (1992) Influence of fruit coating on papaya fruit. *Acta Hortic.* 321: 659-666.
- Petit-Jiménez D, Bringas-Taddei E, Mercado-Ruiz J, García-Robles J, González-Aguilar G, Troncoso-Rojas R, Báez-Sañudo R (2004) Efecto del calcio y cera comestible en la calidad de mango Kent durante el almacenamiento. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 21: 351-358.
- Raese TJ (1998) Response of apple and pear trees to nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers. *J. Plant Nutr.* 21: 2671-2696.
- Razali M, Ali ZM, Lazan H, Othman R, Rahman RA (2007) Quality related changes and softening enzymes activities during ripening of 'Sekaki' papaya. *Acta Hortic.* 740: 333-335.
- Ranganna S (1979) *Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Products*. McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi. 20 p.
- Salveit ME, Sharaf AR (1992) Ethanol inhibits ripening of tomato fruit harvested at various degrees of ripeness without affecting subsequent quality. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117: 793-798.
- Sañudo BJA, Siller CJ, Osuna ET, Muy RD, López AG, Labavitch J (2008) Control de la maduración en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) con 1-metilciclopropeno y ácido 2-cloroetil fosfónico. *Rev. Fitotec. Mex.* 31: 141-147.
- SAS. Institute. INC (2005) SAS (Statistical Analysis System) the Institute INC, Cary, NC. USA. Versión 9.2.
- Sisler EC, Serek M (1997) Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: Recent developments. *Physiol. Plant.* 100: 577-582.
- SMN-CONAGUA (2009) Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. <http://smn.cna.gob.mx/> (Fecha de consulta: 13 de junio del 2011).
- Solomos T (1977) Cyanide-Resistant Respiration in Higher Plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 28: 279-297.
- Téllez PP, Saucedo VC, Arévalo GML, Valle GS (2009) Maduración de frutos de mamey (*Pouteria sapota* Jacq.) tratados con 1-metilciclopropeno y refrigeración. *CyTA- J. Food* 7: 45-51.

- Téliz OD (2006) 3er Encuentro Nacional de Papayeros. Boca del Río, Veracruz, México. 38p.
- Thumdee S, Manenoi A, Paull RE (2007) Activity of papaya fruit hydrolases during natural softening and modified softening. *Acta Hort.* 740: 317-322.
- Vázquez-Hernández MV, Arévalo-Galarza L, Jaen-Contreras D, Escamilla-García JL, Mora-Aguilera A, Hernández-Castro E, Cibrián-Tovar J, Téliz-Ortiz D, (2011) Effect of *Glomus mosseae* and *Entrophospora colombiana* on plant growth, production, and fruit quality of 'Maradol' papaya (*Carica papaya* L.). *Sci. Hortic.* 138: 255-260.
- Wang CY (1982) Physiological and biochemical responses of plants to chilling stress. *Hortscience* 17: 173-186.
- Weibel FP, Alföldi T (2007) Improving the quality and shelf life of fruit from organic production systems. In: Cooper, G., Niggle, U., Leifert, C. (Eds.), *Handbook of Organic Food Safety and Quality*. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. Cambridge, England, pp. 330-352.
- Wills RBH, McGlasson B, Graham D, Joyce D (1998) *Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit, Vegetables and Ornamentals*. 4th Ed. CAB International. Washington, DC. USA.
- Wills RBH, Widjanarko SB (1995) Changes in physiology, composition and sensory characteristics of Australian papaya during ripening. *Aust. J. Exp. Agric.* 35: 1173-1176.
- Witham FH, Blaydes DF, Devlin RM (1971) *Experiments in Plant Physiology*. Van Nostrand Reinhold Company, New York. 245 p.

CONCLUSIONES GENERALES

La inoculación de plantas de papaya con micorrizas incrementó el rendimiento y peso de los frutos, sin afectar las variables de calidad como color, azúcares totales. En la vida postcosecha los frutos provenientes de plantas inoculadas tienen menores pérdidas de peso y firmeza durante la maduración.

No existe diferencia en el comportamiento postcosecha, ni aplicación de tratamientos (1-MCP y baja temperatura) entre los frutos producidos de forma tradicional que los frutos provenientes de plantas inoculadas con micorrizas.

El uso de micorrizas + materia orgánica en la producción incrementó el tamaño de frutos, la firmeza y el tono de pulpa. Asimismo mejoró el desarrollo de color y redujo la pérdida de peso durante la maduración.

Los tratamientos con cera o 1-MCP afectaron el proceso normal de maduración de los frutos, sin embargo este efecto es reducido cuando se combinan ambos tratamientos.

APÉNDICE

Ver archivo anexo en formato PDF que corresponde a:

Vázquez-Hernández, M.V., Arévalo-Galarza, L., Jaen-Contreras, D., Escamilla García, J.L., Mora-Aguilera, A., Hernández-Castro, E., Cibrián-Tovar, J., Téliz-Ortiz, D., 2011. Effect of *Glomus mosseae* and *Entrophospora colombiana* on plant growth, production, and fruit quality of 'Maradol' papaya (*Carica papaya* L.). *Sci. Hortic.* 138, 255-260.