

Calidad y almacenamiento de frutos de papaya procedentes de plantas inoculadas con *Glomus mosseae*

Marcos V. Vázquez-Hernández¹
Ma. de Lourdes Arévalo-Galarza^{2§}
David Jaen-Contreras²
José L. Escamilla-García³
Gregorio Luna-Esquivel⁴

¹Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP. Carretera Veracruz-Córdoba km 34.5, Medellín de Bravo, Veracruz, México. ²Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, México. CP. 56230. ³Escuela de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Mariano Jiménez s/n, colonia el Varillero, Apatzingán, Michoacán, México. CP. 60660. ⁴Unidad Académica de Agricultura-Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela km 9, Xalisco, Nayarit, México.

§Autora para correspondencia: larevalo@colpos.mx.

Resumen

El uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) ha probado ser eficiente al incrementar el rendimiento de las plantas. Son pocos los estudios que muestran su efecto en la calidad del fruto, pero ninguno señala su interacción con tratamientos postcosecha durante su vida de anaquel. Por lo que el objetivo del presente trabajo fue determinar la calidad de los frutos de papaya 'Maradol roja' procedentes de plantas inoculadas con *Glomus mosseae* (730 esporas 100 g⁻¹ inoculante) y su respuesta al almacenamiento por 10 y 20 días a 10 °C, tratados con un inhibidor de la maduración (1-metilciclopropeno (1-MCP)). Los resultados mostraron que la inoculación de plantas de papaya inoculadas reduce significativamente la pérdida de peso de los frutos. La aplicación de 1-MCP mantuvo la firmeza en los frutos almacenados por 10 días y retrasó su pérdida por tres días más en los almacenados por 20 días. La inoculación de HMA no afectó significativamente la respuesta de los frutos de papaya al tratamiento con 1-MCP en ambos periodos de almacenamiento a 10 °C.

Palabras clave: *Carica papaya* L., 1-metilciclopropeno, almacenamiento refrigerado, azúcares, Maradol roja.

Recibido: junio de 2020

Aceptado: julio de 2020

La papaya es una de las principales frutas tropicales después del plátano, naranja, mango y piña, representa alrededor de 16% del total de la producción de frutas tropicales en el mundo (FAO, 2019). El cultivo requiere aplicaciones continuas de fertilizante para su desarrollo y producción continua (Nakasone y Paull, 1998), pero el uso de fertilizantes inorgánicos en los agroecosistemas agrícolas ha generado problemas ambientales como es la eutroficación de cuerpos de agua. Esto ha despertado el interés en el uso de microorganismos benéficos como los hongos micorrizicos arbusculares (HMA) para mejorar la productividad de los cultivos (Cuenca *et al.*, 2007). Los HMA son un componente clave de la rizósfera, ya que forman una asociación mutualista con las raíces del más de 80% de las plantas terrestres (Smith y Read, 1997).

Esta simbiosis estimula la biosíntesis de metabolitos secundarios, que ayudan a la planta a sobreponerse a diferentes tipos de estrés, además facilita la absorción de agua, fósforo y nitrógeno a la planta, mejora la estructura del suelo, aumenta el área de exploración de la raíz (Camargo-Ricalde *et al.*, 2012) además, favorecen la diversidad de micro y macroorganismos del suelo benéficos y posibles antagónicos de los patógenos causantes de enfermedades (Téliz y Mora, 2007).

El uso de los HMA tiene un efecto significativo en el rendimiento de diferentes cultivos, algunos estudios muestran su influencia en la calidad de fruto. Por ejemplo, en frutos de diferentes cultivares de fresa (*Fragaria x ananassa*), la inoculación de plantas con HMA resultó en un incremento en el índice sólidos solubles totales/acidez y compuestos fenólicos (Cordeiro *et al.*, 2019), en chile ancho (*Capsicum annuum* L. cv San Luis) incrementaron el tamaño, color y contenido de pigmentos (Mena-Violante *et al.*, 2006) y en papaya incrementó el contenido de azúcares, firmeza y color (Vázquez-Hernández *et al.*, 2011).

Sin embargo, no existen estudios que muestren los cambios postcosecha que muestran los frutos procedentes de plantas inoculadas con HMA durante el almacenamiento refrigerado y aplicación de algún retardante de la maduración. El 1-metilciclopropeno (1-MCP) ha sido recomendado para prolongar la vida postcosecha y conservar las características de calidad de frutos de papaya (Jacomino *et al.*, 2002; Osuna-García *et al.*, 2005).

Este producto se ha utilizado para prolongar la vida postcosecha de numerosos frutos, pues bloquea los sitios receptores del etileno, previniendo su acción y efectos relacionados con la maduración (ablandamiento de tejidos, degradación de pigmentos y desdoblamiento de almidón) (Blankenship y Dole, 2003). Con base a lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar las características postcosecha en frutos de papaya 'Maradol roja' procedentes de plantas inoculadas con *Glomus mosseae* y almacenados en frío por 10 y 20 días a 10 °C, con la aplicación de 1-metilciclopropeno (1-MCP).

Los frutos se cosecharon en una plantación experimental localizada en Huamuxtitlán, Guerrero, México (17° 41' -17° 54' latitud norte y 98° 26' -98° 40' longitud oeste), 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, 2019). En vivero cuando las plántulas tuvieron 6 cm de altura, se realizó una poda ligera de raíces y se colocaron en bolsas con 1 kg de sustrato de crecimiento (suelo: arena de río, 2:1, esterilizado) conteniendo 100 g de inóculo de *Glomus mosseae* (Nicol. & Gerd.) Gerd. & Trappe (730 esporas 100 g⁻¹ inoculante).

Después, las plantas se trasplantaron cuando alcanzaron 20 cm de altura o 7 hojas verdaderas completamente expandidas. Al momento de cosechar los frutos, se tomaron muestras de la raíz de las plantas para verificar la colonización micorrízica (hifas, vesículas y arbuscúlos) (Rufykiri *et al.*, 2000). Las plantas testigo y las inoculadas con *G. mosseae* tuvieron 16.46% y 91.52% de colonización micorrízica respectivamente.

Las plantas inoculadas con *G. mosseae* produjeron mayor número de frutos (24.4) y frutos más grandes (2.07 kg), que las plantas testigo (17.2 y 1.43 kg) respectivamente (Figura 1). Los frutos se cosecharon siete meses después del trasplante, cuando alcanzaron un 40% de desarrollo de color de la epidermis, posteriormente fueron lavados y tratados con un fungicida Procloraz (500 $\mu\text{l L}^{-1}$, 2 min) y secados al ambiente.



Figura 1. Características del color en epidermis y pulpa de frutos de papaya ‘Maradol roja’ procedentes de plantas testigo e inoculadas con *Glomus mosseae*.

Los frutos de plantas con o sin *G. mosseae* (GM) fueron seleccionados al azar y clasificados en dos grupos de 60 frutos cada uno. Posteriormente se colocaron en una caja herméticamente sellada para ser tratados con vapores de 1-MCP (SmartFresh® 14% Rohm and Hass Co., Philadelphia, PA) en concentraciones de 0 y 300 nl L^{-1} por 16 h en contenedores herméticamente cerrados, estableciendo los siguientes tratamientos: 1) testigo; 2) 1-MCP; 3) GM; y 4) GM + 1-MCP. El total de frutos se dividió en dos lotes, uno se almacenó por 10 días y el otro por 20 días a 10 ± 1 °C y 85% HR. Una vez finalizado el periodo de almacenamiento los frutos se transfirieron a 20 ± 1 °C y 60% HR para su maduración.

Los periodos de muestreo fueron a los 0, 2, 4, 6 y 8 días después del almacenamiento; se consideró a cada fruto como unidad experimental con 3 repeticiones. Las variables evaluadas fueron: firmeza por punción, con un puntal de 10 mm medido en 4 puntos de cada fruto, sin epidermis y evaluado con un texturómetro (FDV-30, Wagner Instruments, USA), pérdida de peso (%) por diferencia de peso con una balanza digital (EY-2200-A, Asep, Japan), azúcares totales por antrona (Witham *et al.*, 1971) y color que se midió con un colorímetro (D-25a PC2, Hunter Lab, USA) cuyos valores

de a^* y b^* se utilizaron para calcular el ángulo Hue [$H = \arctan(b^*/a^*)$] y chroma ($C = \sqrt{a^2 + b^2}$). Los resultados mostraron que el tratamiento con 1-metilciclopropeno (1-MCP) retrasó la pérdida de firmeza en los frutos, independientemente si provenían de plantas inoculadas o no con *G. mosseae*, alcanzando valores entre 38.8-39.9 N al cuarto día, significativamente mayores a los de los frutos que no fueron tratados con 1-MCP (6.8-7.4 N) (Figura 2a).

Los frutos de plantas inoculadas con *G. mosseae* sin 1-MCP, almacenados por 10 días a 10 °C presentaron un retraso en la pérdida de firmeza de dos días con relación a los frutos de plantas sin inocular y sin 1-MCP (Figura 2a). Al segundo día después de ser transferidos a 20 °C, los frutos de plantas con *G. mosseae* presentaron una firmeza de 36.9 N, mientras que en los frutos de plantas sin *G. mosseae* fue de 12.1 N, pero a partir del sexto día, los frutos de ambos tratamientos no mostraron diferencias significativas. Asmar *et al.* (2010) aplicaron 1-MCP (270 nl L⁻¹) en frutos de papaya ‘Sunrise solo’ por diferentes periodos de tiempo, observando que la exposición por 12 ó 24 h retrasó el ablandamiento del fruto con valores de firmeza de alrededor de 20 N, 8 días después de almacenamiento mientras que los frutos testigo perdieron considerablemente la firmeza (5 N) al mismo día.

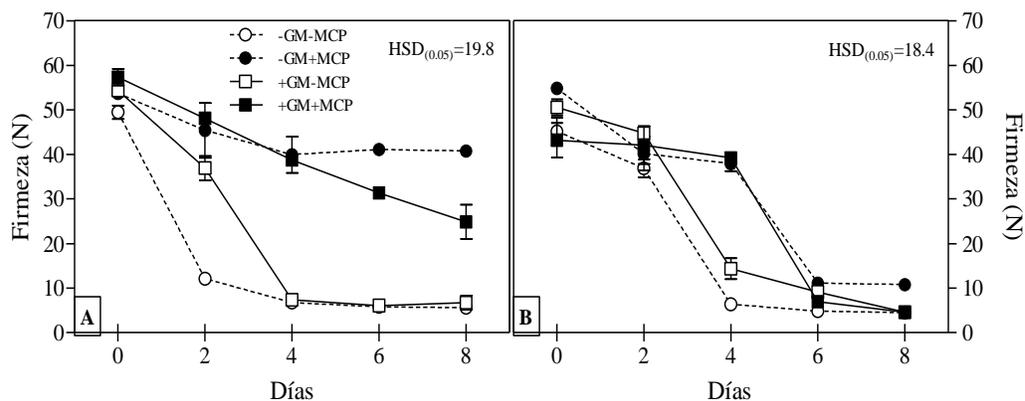


Figura 2. Firmeza (N) de frutos de plantas inoculadas o no con *Glomus mosseae* (GM), tratados o no con 1-metilciclopropeno (1-MCP) almacenados por 10 días (a) y 20 días (b) a 10 °C y transferidos a 20 ± 2 °C para su maduración. HSD= diferencia honesta significativa de Tukey ($p < 0.05$).

La pérdida de firmeza de los frutos de papaya se atribuye a la depolimerización de la pectina en las paredes celulares, proceso catalizado por enzimas como poligalacturonasa (PG), pectina metilesterasa (PME), glucanasa, β -galactosidasa y celulasa. Se han reportado que algunas de estas enzimas son sensibles a etileno durante la maduración del fruto, por lo que la aplicación de 1-MCP inhibe la acción de este y como consecuencia la cascada de eventos que llevan a la degradación de la pared celular, pues reduce la actividad de estas enzimas y retrasa el ablandamiento de los frutos (Sharma *et al.*, 2012; Zerpa-Catanho *et al.*, 2017).

El 1-MCP también retrasó la pérdida de firmeza en los frutos de plantas con y sin *G. mosseae* almacenados por 20 días a 10 °C, al presentar una firmeza mayor (37.9-39.2 N) al cuarto día comparado con los frutos que no fueron tratados con 1-MCP (6.4-14.4 N). Sin embargo, a partir del día 6 no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Este hecho confirma que el ablandamiento de frutos de papaya es uno de los procesos más sensibles a la acción del etileno (Osuna *et al.*, 2005).

Los frutos presentaron una reducción significativa de la firmeza al alcanzar un desarrollo de color del 50-60% (4.8-11.1 N). Santamaría *et al.* (2009) reportan en papaya ‘Maradol’, una reducción significativa de la firmeza (de al menos ocho veces) cuando los frutos alcanzaron alrededor de 60% de desarrollo de color, lo cual de acuerdo con los grados de madurez detectados ocurre entre las etapas 3 y 4 cuando se degrada la mayor parte de la clorofila y da paso al color naranja tenue con valores de firmeza de 16 N y cuando desarrollan su color completo la firmeza cae a 5 N.

El 1-MCP retrasó la pérdida de firmeza, con un efecto más prolongado en los frutos almacenados por 10 d, que en los almacenados por 20 d. La pérdida del efecto del 1-MCP que se puede atribuir porque las moléculas de este compuesto ocupan los sitios de acción del etileno, pero en periodos prolongados de almacenamiento nuevos sitios receptores de etileno se generan y serán ocupados por el etileno producido durante el almacenamiento ya que la biosíntesis de esta hormona no se inhibe completamente, incluso se incrementa después de períodos prolongados de almacenamiento, como se ha mostrado en algunos frutos climatéricos (Blankenship y Dole, 2003; Arévalo-Galarza *et al.*, 2007).

Con relación a la pérdida de peso, los frutos de las plantas testigo tuvieron mayores pérdidas de peso en ambos períodos de almacenamiento, en donde el efecto del 1-MCP no fue significativo (Figura 3). Las pérdidas de peso en los frutos almacenados por 20 días fluctuaron entre 12.8 y 16.6% al final del proceso de maduración (Figura 3B). El aumento del tamaño del fruto y en consecuencia, la menor pérdida de peso, fue otro efecto beneficioso de las micorrizas, ya que los frutos más grandes tienen menor relación superficie/volumen que los frutos más pequeños producidos por plantas de control (Hernández-Vázquez *et al.*, 2011).

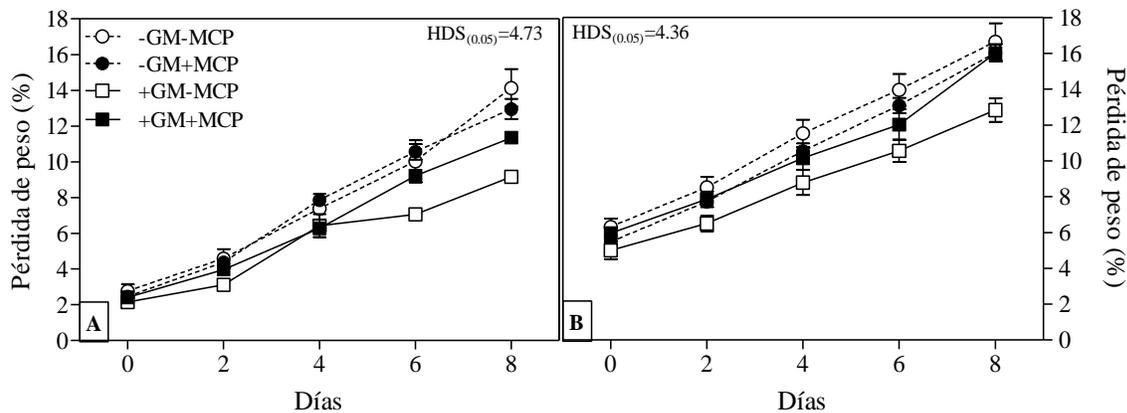


Figura 3. Pérdida de peso (%) de frutos de plantas inoculadas o no con *Glomus mosseae* (GM), tratados o no con 1-metilciclopropeno (1-MCP) almacenados por 10 días (A) y 20 días (B) a 10 °C y transferidos a 20 ±2 °C para su maduración. HSD= diferencia honesta significativa de Tukey ($p < 0.05$).

El contenido de azúcares totales presentó incrementos consistentes después del almacenamiento a 10 °C; sin embargo, solo se encontraron diferencias significativas en el contenido de azúcares totales en los frutos almacenados por 20 días al final del periodo de maduración. Los frutos de plantas con *G. mosseae* y sin 1-MCP tuvieron mayor contenido de azúcares (8.53%) y los de las plantas con *G. mosseae* y con 1-MCP (6.28%).

El mayor contenido de sólidos solubles totales en los frutos después del almacenamiento a 20 días con relación a los almacenados por 10 días pudo ser debido causada por la deshidratación, ya que los frutos de papaya no tienen una cantidad significativa de almidón (aproximadamente 0.5%) para su hidrólisis durante el proceso de maduración por lo que no hay cambios sustanciales durante la etapa postcosecha (Mosca y Durigan, 1995; Sivakumar y Wall, 2013).

En el color de la epidermis (°Hue), no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, ya que en promedio los valores iniciales de °Hue en la epidermis inicial fue de 105.9-119.5° y al final de la evaluación 84.5-87°. En los frutos almacenados por 20 días, el valor °Hue de la epidermis varió de su valor inicial (106.7-121.7°) a 82.9-101.4° al final de la evaluación. Es posible que las diferencias entre tratamientos no hayan sido evidentes, toda vez que los períodos de almacenamiento (10 y 20 d a 10 °C) fueron prolongados y el efecto de 1-MCP no fue perceptible; por ejemplo, en papaya ‘Sinta’ concentraciones de 0.1 y 0.5 µl L⁻¹ de 1-MCP retardaron el desarrollo de color por 6 días con relación a los frutos testigo, pero a 25-28 °C (Esguerra *et al.*, 2010).

Conclusiones

La inoculación de *G. mosseae* no afectó la acumulación de azúcares ni el color de los frutos; sin embargo, los frutos procedentes de plantas inoculadas tuvieron menores pérdidas de peso durante el almacenamiento refrigerado, atribuido a que eran frutos más grandes y con una menor relación superficie/volumen que les permite perder proporcionalmente menos peso que los frutos más pequeños. El uso de 1-MCP retrasó significativamente la pérdida de firmeza de los frutos en cuatro días y dos días en los frutos almacenados por 10 y 20 días a 10 °C respectivamente, independientemente de si procedían de plantas inoculadas o no.

Literatura citada

- Arévalo-Galarza, L.; Bautista-Reyes, B.; Saucedo-Veloz, C. y Martínez-Damían, T. 2007. Almacenamiento refrigerado y aplicaciones de 1-metilciclopropeno (1-MCP) en frutos de chicozapote (*Manilkara sapota* (L.) P. Royen). *Agrociencia*. 41(4):469-477. <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2007/may-jun/art-10.pdf>.
- Asmar, A. S.; de Abreu, C. M. P.; Lima, R. A. Z.; Corrêa, A. D. and dos Santos, D. 2010. Firmness of papaya treated with 1-MCP in different exposition times. *Ciênc. Agrotecnol.* 34(2):440-444. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000200024>.
- Blankenship, S. M. and Dole, J. M. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biol. Technol.* 28(1):1-25. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00246-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00246-6).
- Camargo-Ricalde, S. L, N.; Manuel-Montaña, C. J.; De la Rosa-Mera, y Montaña-Arias, S. A. 2012. Micorrizas: Una gran unión debajo del suelo. *Rev. Digital Universitaria*. 13(7):1067-60710. <http://www.revista.unam.mx/vol.13/num7/art72/art72.pdf>.
- Cordeiro, E. C.; Resende, J. T.; Córdova, K. R. V.; Nascimento, D. A.; Saggin, J.; Orivaldo, J.; Zeist, A. R. and Favaro, R. 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi action on the quality of strawberry fruits. *Hortic. Bras.* 37(4):437-444. <https://dx.doi.org/10.1590/s0102-053620190412>.
- Cuenca, G.; Cáceres, A.; Oirdobro, G.; Hasmy, Z. y Urdaneta, C. 2007. Las micorrizas arbusculares como una alternativa de agricultura sustentable en áreas tropicales. *Interciencia*. 32(1):23-29.

- Esguerra, E. B., Marcaida, M. P. and Rosales, R. A. 2010. Effects of 1-methylcyclopropene on ripening of two papaya (*Carica papaya* L.) cultivars. *Acta Hortic.* 875(1):81-88. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.875.8>
- FAO. 2019. Food and Agriculture Organization. Statistical database Internet <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- Jacomino, A. P.; Kluge R. A. and Brackmann, A. 2002. Ripening and senescence of papaya with 1-methylcyclopropene. *Sci. Agric.* 59(2):303-308. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162002000200015>.
- Mena-Violante, H.; Ocampo-Jiménez, O.; Dendooven, L.; Martínez-Soto, G.; González-Castañeda, J.; Davies, T. F. and 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(2):261-267. Doi:10.10071~00572-006-0043-z.
- Mosca, J. L. and Durigan, J. F. 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(1):217-221. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.370.34>.
- Nakasone, H. Y. and Paull, R. E. 1998. Tropical fruits. First (Ed.). CAB International, Wallingford. UK. 445 p.
- Osuna-García, J. A.; Beltrán, J. A. y Pérez-Barraza, M. H. 2005. Mejoramiento de vida de anaquel y calidad de papaya 'Maradol' con 1-metilciclopropeno (1-MCP). *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 11(1):7-12. <https://www.chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rchshXI121.pdf>.
- Rufy kiri, G.; Declerck S.; Dufey, J. E. and Delvaux B. 2000. Arbuscular mycorrhizal fungi might alleviate aluminium toxicity in banana plants. *New Phytol.* 148(2):343-352. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00761.x>.
- Santamaría, B. F.; Sauri, D. E.; Espadas, G. F.; Díaz, P. R.; Larqué, S. A. and Santamaría, J. M. 2009. Postharvest ripening and maturity indices for Maradol papaya. *Interciencia.* 34(8):583-588. <http://www.scopus.com/inward/record.url?scp=73849090632&partnerID=8YFLogxK>.
- Sharma, S.; Sharma, R. R.; Pal, R. K.; Paul, V. and Dahuja, A. 2012. 1-Methylcyclopropene influences biochemical attributes and fruit softening enzymes of 'Santa Rosa' Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.) *J. Plant Biochem. Biotechnol.* 21(2):295-299. Doi:10.1007/s13562-011-0098-6.
- Sivakumar, D. and Wall, M. M. 2013. Papaya fruit quality management during the postharvest supply chain. *Food Reviews International.* 29(1):24-48. Doi:10.1080/87559129.2012.692138.
- Smith, S. E. and Read, D. J. 1997. Mycorrhizal symbiosis. Second edition. Academic Press, London. eBook. ISBN:9780080537191. 605 p.
- SMN-CONAGUA. 2019. Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=gro>.
- Téliz, O. D. y Mora A. A. 2007. El manejo integrado del aguacate. *In: Téliz, O. D. y Mora, A. A. (Eds.). El aguacate y su manejo integrado. Segunda edición, Ediciones Mundiprensa, México, DF. 287-306 pp.*
- Vázquez-Hernández, M. V.; Arévalo-Galarza, L.; Jaen-Contreras, D.; Escamilla-García, J. L.; Mora-Aguilera, A.; Hernández-Castro, E.; Cibrián-Tovar, J. and 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(3):255-260. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.01.031>.

- Witham, F. H.; Blaydes, D. F. and Devlin, R. M. 1971. Experiments in plant physiology. Van Nostrand Reinhold Company. New York. 245 p.
- Zerpa-Catanho, D.; Esquivel, P.; Mora-Newcomer, E.; Sáenz, M. V.; Herrera, R. and Jiménez, V. M. 2017. Transcription analysis of softening-related genes during postharvest of papaya fruit (*Carica papaya* L. 'Pococi' hybrid). Postharvest Biol. Technol. 125(1):42-51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.11.002>.