

Maturation stage and quality of early harvest 'Manila' mango treated with 1-MCP and Ethephon

Maduración y calidad de mango 'Manila' de cosecha temprana tratado con 1-MCP y Ethephon

Berenice Alonso-Barrera¹; Crescenciano Saucedo-Veloz¹; Bertha Tlapal-Bolaños²; Francisco Marcelo Lara-Viveros³; Nadia Landero-Valenzuela^{3*}

¹Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, C. P. 56230, MÉXICO.

²Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, C. P. 56230, MÉXICO.

³Centro de Investigación en Química Aplicada. Enrique Reyna H., núm. 140, San José de los Cerritos, Saltillo, Coahuila, C. P. 25294, MÉXICO.

*Corresponding author: nadialv@hotmail.com, tel. 595 125 59 88.

Abstract

Introduction: Mango is commercially important; however, its shelf life is short, mainly early harvested mangoes from forced production systems.

Objective: The aim of this study was to evaluate the effect of 1-MCP and Ethephon treatments on the ripening stage and quality of early-produced mango fruit.

Methodology: Three treatments (control, Ethephon and 1-MCP) were studied, determining respiration rate, weight loss, external color changes (lightness and hue angle), and the contents of carotenoids, ascorbic acid, total soluble solids (TSS) and citric acid.

Results: Changes in respiration, color, loss of firmness and ascorbic acid were observed in Ethephon-treated fruits in a shorter time, although their carotenoid and TSS content was higher at eating maturity. Fruits treated with 1-MCP had lower respiration and firmness loss, but weight loss was higher, and their external color was not the typical yellow.

Limitations of the study: Time and quantity of Ethephon and 1-MCP to improve mango maturation should be evaluated.

Originality: The information provided is significant to favor homogeneous mango maturation, as well as an alternative to delay its maturation.

Conclusions: The use of 1-MCP helps to delay mango maturation; weight and color losses were lower than expected with this treatment. Fruit maturation of Ethephon-treated fruits was homogeneous, but their shelf life was shorter.

Keywords: carotenoids, postharvest, *Mangifera indica* L., physicochemical characteristics, respiration.

Resumen

Introducción: El mango es de importancia comercial; sin embargo, su vida de anaquel es corta, principalmente el de cosecha temprana proveniente de sistemas de producción forzada.

Objetivo: Evaluar el efecto de tratamientos con 1-MCP y Ethephon sobre la maduración y la calidad de frutos de mango de producción temprana.

Metodología: Se estudiaron tres tratamientos (testigo, Ethephon y 1-MCP), donde se determinaron la velocidad de respiración, la pérdida de peso, los cambios de color externo (luminosidad y ángulo de tono), y los contenidos de carotenoides, ácido ascórbico, sólidos solubles totales (SST) y ácido cítrico.

Resultados: Se observaron cambios en menor tiempo en cuanto a la respiración, el color, la pérdida de firmeza y el ácido ascórbico en los frutos tratados Ethephon, aunque su contenido de carotenoides y SST fue mayor a la madurez de consumo. Los frutos tratados con 1-MCP presentaron menor respiración y pérdida de firmeza, pero la pérdida de peso fue mayor y su color externo no fue el amarillo característico.

Limitaciones del estudio: El tiempo y la cantidad de Ethephon y 1-MCP para mejorar la maduración de mango deben ser evaluados.

Originalidad: La información presentada es relevante para favorecer la maduración homogénea del mango, así como una alternativa para retardar su maduración.

Conclusiones: El uso de 1-MCP ayuda a retrasar la maduración del mango; las pérdidas de peso y color fueron menores a lo esperado con este tratamiento. La maduración de los frutos tratados con Ethephon fue homogénea, pero su vida de anaquel fue menor.

Palabras clave: carotenoides, postcosecha, *Mangifera indica* L., características fisicoquímicas, respiración.



Introduction

The production volume of mango in Mexico is estimated at 2 089 041.18 t, mainly of the Ataulfo, Haden, Kent, Keitt, Tommy Atkins and Manila varieties, the latter accounts for about 20 % of this volume (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2019). Due to its sensory quality, 'Manila' mango fruits exceed in demand the other varieties at the national level, hence its commercial importance. However, this cultivar has several phytosanitary problems, high sensitivity to mechanical damage and high metabolism, which significantly affects its quality (Vargas-Ortiz et al., 2013). In addition, fruits from forced or early production systems present problems of lack of color and rapid wilting due to high water loss during storage for maturation (Siller-Cepeda et al., 2009).

Physiologically, mango has climacteric behavior, with high respiration rate and low ethylene production (León et al., 1997; Montoya-Zapata et al., 2018). In addition, because of its high sensitivity to water loss and accelerated wilting, 'Manila' mango is classified as a cultivar with short shelf life (Saucedo-Veloz et al., 1977; García-Osuna et al., 2005).

Different postharvest technologies on 'Manila' mango fruits reveal that refrigeration temperatures of 12-13 °C keep fruits for 10-14 days with adequate internal quality, but with less intensity of typical yellow color, an effect associated with chilling injury symptoms (Saucedo-Veloz et al., 1977; Russián-Lúquez & Manzano-Méndez, 2003; Patel et al., 2015). The use of controlled and modified atmospheres has been reported as an alternative to prolong the shelf life of mango fruits, as well as mitigate the incidence of chilling injury and rot development (Zaharah & Singh, 2011). However, each cultivar needs a certain combination of gases and cooling temperature to avoid induction of anaerobic respiration and consequent formation of unpalatable aromas. Zaharah and Singh (2011) report as promising the combination of 3 % O₂ + 6 % CO₂ + 13 °C for mango cultivar Kensington Pride, while for cultivar Keitt the best combination is 6 % O₂ + 10 % CO₂ + 7 °C, both for six weeks.

1-methylcyclopropene (1-MCP), an inhibitor of the mechanism of action of ethylene, has been proposed as an alternative to delay ripening in climacteric fruits (Blankenship & Dole, 2003). Experiments on 'Keitt' mango fruits have shown that 300 nL·L⁻¹ of 1-MCP, combined with a hydrothermal treatment (52 °C for 5 min) and stored at 13±2 °C for 20 days, prolonged their shelf life by five days compared to the control (Paull, 1993; Osuna-García et al., 2007). Furthermore, Ortiz-Franco et al. (2016) report that treatment with 1 000 nL·L⁻¹ of 1-MCP maintained the physicochemical characteristics associated with the ripening of 'Ataulfo'

Introducción

En México, el volumen de producción de mango se estima en 2 089 041.18 t, principalmente de los cultivares Ataulfo, Haden, Kent, Keitt, Tommy Atkins y Manila; este último representa cerca del 20 % de dicho volumen (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2019). Por su calidad sensorial, los frutos de mango 'Manila' superan en demanda a los demás cultivares a nivel nacional, de ahí su importancia comercial. No obstante, dicho cultivar presenta diversos problemas de carácter fitosanitario, alta sensibilidad a daños mecánicos y elevado metabolismo, lo cual afecta significativamente su calidad (Vargas-Ortiz et al., 2013). Aunado a lo anterior, los frutos provenientes de sistemas de producción forzada, o de producción temprana, presentan problemas de falta de coloración y rápido marchitamiento por la elevada pérdida de agua durante el almacenamiento con fines de maduración (Siller-Cepeda et al., 2009).

Fisiológicamente, el mango tiene comportamiento climatérico, con una elevada velocidad de respiración y baja producción de etileno (León et al., 1997; Montoya-Zapata et al., 2018). Además, por su alta sensibilidad a la pérdida de agua y acelerado marchitamiento, el mango 'Manila' se clasifica como un cultivar con corta vida de anaquel (Saucedo-Veloz et al., 1977; García-Osuna et al., 2005).

Diversas tecnologías postcosecha sobre frutos de mango 'Manila' revelan que temperaturas de refrigeración de 12-13 °C permiten mantener los frutos por 10-14 días con aceptable calidad interna, pero con menor intensidad del color amarillo característico, efecto asociado con síntomas de daños por frío (Saucedo-Veloz et al., 1977; Russián-Lúquez & Manzano-Méndez, 2003; Patel et al., 2015). El uso de atmósferas controladas y modificadas se ha reportado como una alternativa para prolongar la vida de anaquel de los frutos de mango, así como mitigar la incidencia de daños por frío y el desarrollo de pudriciones (Zaharah & Singh, 2011). Sin embargo, cada cultivar requiere una determinada combinación de gases y temperatura de refrigeración para evitar la inducción de respiración anaeróbica y la consecuente formación de aromas desagradables. Zaharah y Singh (2011) reportan como prometedora la combinación de 3 % O₂ + 6 % CO₂ + 13 °C para mango cultivar Kensington Pride, mientras que para el cultivar Keitt la mejor combinación es 6 % O₂ + 10 % CO₂ + 7 °C, ambos por seis semanas.

El 1-metilciclopropeno (1-MCP), inhibidor del mecanismo de acción del etileno, ha sido propuesto como una alternativa para retardar la maduración en frutos climatéricos (Blankenship & Dole, 2003). Experimentos en frutos de mango 'Keitt' han mostrado que 300 nL·L⁻¹ de 1-MCP, en combinación con un tratamiento hidrotérmico (52 °C por 5 min) y almacenados a 13±2 °C durante 20 días, prolongan en cinco días su vida de

mango fruits, this for 20 days at 13 °C in addition to 5 days at 25 °C.

The improper application of harvesting rates, which results in the marketing of 'Manila' mango fruits harvested before reaching physiological maturity, represents another factor contributing to the loss of quality, by showing an incomplete ripening process with poor flavor and color (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 1987; Martínez-González et al., 2017). This leads to fruits that are more sensitive to weight loss and have rapid wilting (Siller-Cepeda et al., 2009). The application of ethylene gas treatments, or ethylene releasing compounds, has been proposed as an alternative to homogenize mango fruit maturation; however, in the case of the Manila crop, the effect of these treatments on fruit physiology and quality is still unknown. Romero-Gomezcaña et al. (2006) have reported that treatment with 0, 15 and 20 g·L⁻¹ of calcium carbide (acetylene releaser, with analogous action to ethylene), at 20±2 °C and 74±4 % relative humidity, advanced maturation by three days, improved external and internal color and accelerated firmness losses.

Therefore, the objective of this research was to evaluate the effect of postharvest treatment with 1-MCP and Ethephon on maturation and quality of early production of mango cv. Manila fruits. Under the hypothesis that the application of 1-MCP and Ethephon delays and advances, respectively, the ripening of 'Manila' mango fruit without significant changes in quality and postharvest life, compared to untreated fruit (control).

Materials and methods

For the experiment, 'Manila' mango fruit produced in the region of Costa Chica in the state of Guerrero were harvested from an orchard at the ejido de la Estación (16° 46' 50" LN and 99° 41' 05" LW, at 10 m a. s. l.), with 30-year-old trees. The fruits came from a forced production system with potassium nitrate. A total of 210 fruits were harvested at physiological maturity (external green color, <20 % yellow flesh color, 10.6 % total soluble solids (TSS), 2.8 % citric acid and flesh firmness 53.6 of N), which were washed to remove latex residues and divided into three lots of 70 fruits each to establish the following treatments: 1-MCP (SmartFresh® 14 % a.i.), Ethephon 240 LS (21.65 % 2[chloroethyl] phosphonic acid) and control.

For treatment with 1-MCP, fruits were placed in an airtight container (volume 1/8 m³) and the regulator was applied at a concentration in the atmosphere of 600 nL·L⁻¹ for 24 h at 20 °C. The dose was calculated based on fruit weight and container volume. For the

anaquel respecto al testigo (Paull, 1993; Osuna-García et al., 2007). Por su parte, Ortiz-Franco et al. (2016) señalan que el tratamiento con 1000 nL·L⁻¹ de 1-MCP permitió mantener las características físico-químicas asociadas con la maduración de frutos de mango 'Ataulfo', esto por 20 días a 13 °C más 5 días a 25 °C.

La inadecuada aplicación de índices de cosecha, que se traduce en la comercialización de frutos de mango 'Manila' cosechados antes de alcanzar la madurez fisiológica, constituye otro de los factores que contribuyen a la pérdida de la calidad, al presentar un proceso de maduración incompleto con pobre sabor y color (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 1987; Martínez-González et al., 2017). Esto conlleva a que los frutos sean más sensibles a la pérdida de peso y tengan un marchitamiento rápido (Siller-Cepeda et al., 2009). La aplicación de tratamientos con gas etileno, o compuestos liberadores del mismo, se ha planteado como una alternativa para homogeneizar la maduración de frutos de mango; sin embargo, en el caso del cultivar Manila aún se desconoce el efecto de estos tratamientos en la fisiología y calidad de los frutos. Romero-Gomezcaña et al. (2006) han reportado que el tratamiento con 0, 15 y 20 g·L⁻¹ de carburo de calcio (liberador de acetileno, con acción análoga al etileno), a 20±2 °C y 74±4 % de humedad relativa, adelantó la maduración en tres días, mejoró el color externo e interno y aceleró las pérdidas de firmeza.

Considerando lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del tratamiento postcosecha con 1-MCP y Ethephon sobre la maduración y la calidad de frutos de mango cv. Manila de producción temprana. Lo anterior bajo la hipótesis de que la aplicación de 1-MCP y Ethephon retarda y adelanta, respectivamente, la maduración de frutos de mango 'Manila' sin cambios significativos en la calidad y vida postcosecha, en relación con frutos no tratados (testigo).

Materiales y métodos

Para el experimento, se cosecharon frutos de mango 'Manila' producidos en la región de Costa Chica del estado de Guerrero, en un huerto del ejido de la Estación (16° 46' 50" LN y 99° 41' 05" LO, a 10 m s. n. m.), con árboles de 30 años. Los frutos provenían de un sistema de producción forzada con nitrato de potasio. Se cosecharon 210 frutos en madurez fisiológica (color verde externo, <20 % color amarillo de la pulpa, 10.6 % de sólidos solubles totales (SST), 2.8 % ácido cítrico y firmeza de la pulpa 53.6 de N), los cuales se lavaron para eliminar residuos de látex y se dividieron en tres lotes de 70 frutos cada uno para establecer los siguientes tratamientos: 1-MCP (SmartFresh® 14 % i.a.), Ethephon 240 LS (21.65 % ácido 2[cloroetil] fosfónico) y testigo.

Ethephon treatment, an aqueous solution of 1000 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ of 2-(chloroethyl) phosphonic acid was prepared at pH 5. The application was by immersion for 5 min. After the three treatments were established, the fruits were stored under ripening conditions (22 ± 2 °C and 55 ± 5 % RH) for 8 days. The variables evaluated were respiration rate, weight loss, firmness, external color, TSS, titratable acidity, vitamin C and β -carotenes.

Respiration rate was quantified by gas chromatography according to the headspace method described by Salveit-Mikal et al. (1992). In one out of four containers (2.12 L) per treatment, three pre-weighed fruits were placed and hermetically sealed for 1 h; subsequently, 1 mL of gas was taken from the headspace and injected into a gas chromatograph (model 5890 series II, Hewlett Packard, USA), fitted with an open-type column and a porous silica layer packing connected to a thermal conductivity detector (TCD). The operating conditions were column at 150 °C, TCD at 180 °C, injector at 170 °C and helium as carrier gas ($20\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$). The CO_2 standard (INFRA®) was injected at a concentration of 500 ppm. Determinations were made daily during the established storage period and data were reported as $\text{mL CO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$.

The weight of 10 individual fruits was measured daily using a digital scale (ALSEP EY-2200, Japan); the data were reported as percentage loss (%) based on the difference in daily weight compared to the initial weight. A texturometer (Force Five FDV-30, Wagner, USA) with a Magness Taylor prop of 11 mm diameter was used to evaluate pulp firmness. Measurements were made on two opposite sides of the equatorial zone of the fruit, after removing the epicarp, and data were reported in Newtons (N). Epicarp color was determined with a reflection colorimeter (D-25, Hunter Lab, USA) using the parameters L, a, b and hue angle (h^*), the latter was determined by the equation $h^* = \tan^{-1}(b/a)$. (McGuire-Raymod, 1992; Arias et al., 2000).

TSS ($^{\circ}\text{Bx}$) were measured using a digital refractometer (Pr-100 series A56280, ATAGO®, Japan), according to the methodology described by the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990). Titratable acidity, measured as percentage citric acid, was determined in the pulp by titration with 0.01 N NaOH (AOAC, 1990). The ascorbic acid (vitamin C) content in pulp was determined by extraction with oxalic acid and titration with 2,6-dichlorophenolindophenol (AOAC, 2007). Previously, a standard curve was prepared, and data were reported in $\text{mg}_{\text{AA}}\cdot 100\text{ g}^{-1}$. Total carotenoids were determined spectrophotometrically (AOAC, 1990); for this purpose, extraction was carried out with petroleum ether, and absorbance measurements were recorded at 454 nm. Carotenoid content was reported in $\text{mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$.

Respiration was monitored daily in all treatments, treating each container as an experimental unit.

Para el tratamiento con 1-MCP, los frutos se colocaron en un contenedor hermético (volumen $1/8\text{ m}^3$) y el regulador se aplicó a una concentración en la atmósfera de $600\text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$ durante 24 h a 20 °C. La dosis se calculó con base en el peso de los frutos y el volumen del contenedor. Para el tratamiento con Ethephon, se preparó una solución acuosa de $1000\text{ }\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de ácido 2(cloroetil) fosfónico con pH 5. La aplicación fue por inmersión durante 5 min. Después de establecidos los tres tratamientos, los frutos se almacenaron en condiciones de maduración (22 ± 2 °C y 55 ± 5 % de HR) durante 8 días. Las variables evaluadas fueron la velocidad de respiración, la pérdida de peso, la firmeza, el color externo, los SST, la acidez titulable, la vitamina C y los β carotenos.

La velocidad de respiración se cuantificó por cromatografía de gases de acuerdo con el método de espacio de cabeza descrito por Salveit-Mikal et al. (1992). En uno de cada cuatro recipientes (2.12 L) por tratamiento, se colocaron tres frutos previamente pesados y se cerraron herméticamente por 1 h; posteriormente, se tomó 1 mL de gas del espacio de cabeza y se inyectó en un cromatógrafo de gases (modelo 5890 serie II, Hewlett Packard, EUA), acondicionado con una columna tipo abierta y un empaque de capa porosa de silica conectado a un detector de conductividad térmica (TCD, por sus siglas en inglés). Las condiciones de operación fueron: columna a 150 °C, TCD a 180 °C, inyector a 170 °C y helio como gas acarreador ($20\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$). Se inyectó el estándar de CO_2 (INFRA®) a una concentración de 500 ppm. Las determinaciones se realizaron diariamente durante el periodo de almacenamiento establecido y los datos se reportaron como $\text{mL CO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$.

Para la pérdida de peso, se midió diariamente el peso de 10 frutos de manera individual mediante una balanza digital (ALSEP EY-2200, Japón); los datos se reportaron como porcentaje de pérdida (%) con base en la diferencia de peso diario con respecto al peso inicial. Para evaluar la firmeza de la pulpa, se utilizó un texturómetro (Force Five FDV-30, Wagner, EUA) con puntal Magness Taylor de 11 mm de diámetro. Las mediciones se realizaron en dos lados opuestos de la zona ecuatorial del fruto, previa eliminación del epicarpio, y los datos se reportaron en Newtons (N). El color del epicarpio se determinó con un colorímetro de reflexión (D-25, Hunter Lab, EUA) mediante los parámetros L, a, b y ángulo de tono (h^*), este último se obtuvo con la ecuación $h^* = \tan^{-1}(b/a)$ (McGuire-Raymod, 1992; Arias et al., 2000).

Los SST ($^{\circ}\text{Bx}$) se midieron con un refractómetro digital (Pr-100 serie A56280, ATAGO®, Japón), de acuerdo con la metodología descrita por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990). La acidez titulable, medida como porcentaje de ácido cítrico, se determinó en la pulpa mediante titulación con NaOH al 0.01 N (AOAC, 1990).

Weight loss and external color were measured daily and every two days, respectively, in 10 fruits, and each fruit was taken as the experimental unit. The other variables were measured every two days on four fruits separately, where the experimental unit was one fruit. The mean and standard deviation were calculated with the data on respiration rate, weight loss, carotenoids and ascorbic acid content. An ANOVA was carried out for the other variables under an experimental design with a three-level factorial arrangement, and a Tukey's test for comparison of means ($P \leq 0.05$). The data were analyzed with the statistical program SAS (2002) version 9.0.

Results and discussion

The fruits of the three treatments showed significant differences in respiration rate at the maximum climacteric, which was reached after four days of storage at 22 ± 2 °C, with values of 109.2 ± 10.1 , 89.4 ± 6.1 and 73.1 ± 7.3 mL CO₂·kg⁻¹·h⁻¹, for the Ethephon, control and 1-MCP treatments, respectively (Figure 1). Leon et al. (1997) report values of 134.4 mL CO₂·kg⁻¹·h⁻¹ after six days at 25 °C in 'Manila' mango. This contrasts with values of 75.8 mL CO₂·kg⁻¹·h⁻¹ in 'Kent' mango after five days at 25 °C found by García-Martínez et al. (2015). The above reveals the high metabolic activity of 'Manila' mango. The results obtained show the effect of Ethephon, which, by releasing ethylene, increases respiration rate, an effect that has been reported by Salveit-Mikal et al. (1992). The response to 1-MCP is

El contenido de ácido ascórbico (vitamina C) en pulpa se obtuvo mediante extracción con ácido oxálico y titulación con 2,6-diclorofenolindofenol (AOAC, 2007). Previamente, se preparó una curva estándar y los datos se reportaron en mg_{AA}·100 g⁻¹. Los carotenoides totales se determinaron por espectrofotometría (AOAC, 1990); para ello, se realizó una extracción con éter de petróleo, y las medidas de absorbancia se obtuvieron a 454 nm. El contenido de carotenoides se reportó en mg·100 g⁻¹.

La respiración se midió diariamente en todos los tratamientos, considerando cada recipiente como unidad experimental. Las variables pérdida de peso y color externo se determinaron diariamente y cada dos días, respectivamente, en 10 frutos, y cada fruto se tomó como unidad experimental. Las demás variables se midieron cada dos días en cuatro frutos por separado, donde la unidad experimental era un fruto. Con los datos de velocidad de respiración y pérdida de peso, así como contenido de carotenoides y ácido ascórbico, se calculó la media y la desviación estándar. Para las demás variables, se realizó un análisis de varianza bajo un diseño experimental con arreglo factorial en tres niveles, y una prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Los datos se analizaron con el programa estadístico SAS (2002) versión 9.0.

Resultados y discusión

Los frutos de los tres tratamientos presentaron diferencias significativas en la velocidad de respiración

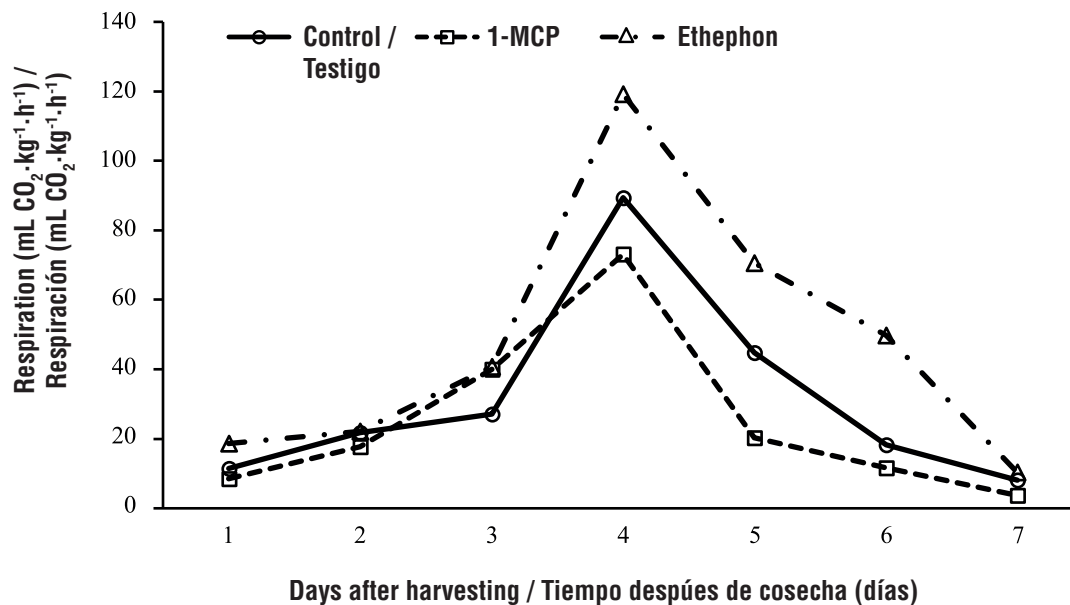


Figure 1. Respiration rate of mango cv. Manila fruits treated with Ethephon (1000 µL·L⁻¹) and 1-MCP (600 nL·L⁻¹), stored at 22 ± 2 °C. Each value represents the mean \pm standard deviation (n = 4).

Figura 1. Velocidad de respiración de frutos de mango cv. Manila tratados con Ethephon (1000 µL·L⁻¹) y 1-MCP (600 nL·L⁻¹), almacenados a 22 ± 2 °C. Cada valor representa la media \pm la desviación estándar (n = 4).

associated with the blockage of the ethylene binding site with the receptor at the site of action, which results in a lower respiration rate during maturation stage (Jiang-Weibo et al., 2004).

After four days of storage, weight losses were between 6-8 %, with no wilting symptoms, which manifested after eight days with losses of 10-12 % (Table 1). These results show the high sensitivity of 'Manila' mango fruits to water losses due to transpiration. According to Barbosa-Martínez et al. (2009), these losses are due to the reduced thickness of the epicarp and cuticle, in addition to a thinner epidermal cell layer compared to cultivars from Florida; this translates into a lower resistance to gas and water vapor transport. Regarding the control, fruits treated with 1-MCP presented significantly higher weight losses, with 7.9 and 12.1 % at four and eight days of storage, respectively. Manganaris et al. (2008) point out that this effect is related to changes in the quantity and composition of epicuticular waxes, which regulate the transport of water vapor around the fruit epicarp (Figure 2).

As part of the changes associated with the maturation process, pulp firmness decreased as storage time progressed (Yashoda-Hosakote et al., 2006); however, the process was more abrupt in fruits with Ethephon, which showed a significantly lower firmness (33.4 N) compared to the initial value (53.6 N) after two days. The control (30.6 N) and 1-MCP (32.9 N) treatments showed significant differences until after four days of storage (Table 1). Values between 10 and 20 N were found in

en el máximo climatérico, el cual se alcanzó después de cuatro días de almacenamiento a 22 ± 2 °C, con valores de 109.2 ± 10.1 , 89.4 ± 6.1 y 73.1 ± 7.3 mL $\text{CO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, para los tratamientos con Ethephon, testigo y 1-MCP, respectivamente (Figura 1). León et al. (1997) reportan valores de 134.4 mL $\text{CO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ después de seis días a 25 °C en mango 'Manila'. Esto contrasta con valores de 75.8 mL $\text{CO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ en mango 'Kent' después de cinco días a 25 °C obtenidos por García-Martínez et al. (2015). Lo anterior revela la alta actividad metabólica del mango 'Manila'. Los resultados obtenidos muestran el efecto del Ethephon, el cual, al liberar etileno, incrementa la velocidad de respiración, efecto que ha sido reportado por Salveit-Mikal et al. (1992). La respuesta al 1-MCP está asociada al bloqueo del punto de unión de etileno con el receptor en el sitio de acción, lo que se traduce en menor velocidad de respiración durante la maduración (Jiang-Weibo et al., 2004).

Después de cuatro días de almacenamiento, las pérdidas de peso se situaron entre 6-8 %, sin síntomas de marchitamiento, los cuales se manifestaron después de ocho días con pérdidas de 10-12 % (Cuadro 1). Estos resultados muestran la alta sensibilidad de los frutos de mango 'Manila' a las pérdidas de agua por transpiración. De acuerdo con Barbosa-Martínez et al. (2009), dichas pérdidas se deben al menor grosor del epicarpio y de la cutícula, además de una menor capa de células epidermales respecto a los cultivares provenientes de Florida; esto se traduce en una menor resistencia al transporte de gases y vapor de agua. Con respecto al testigo, los frutos tratados con 1-MCP

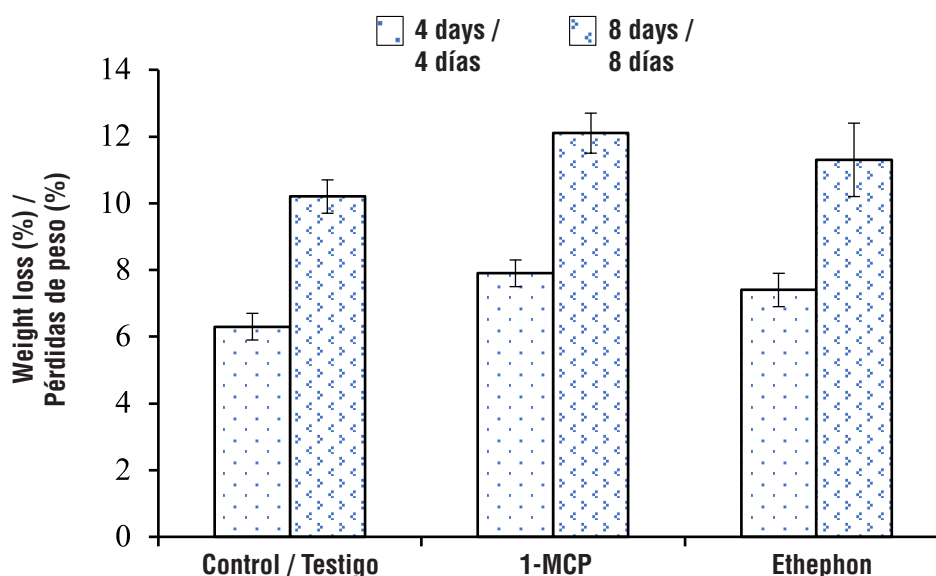


Figure 2. Weight loss (%) of mango cv. Manila fruits treated with Ethephon ($1000 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$) and 1-MCP ($600 \text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$), stored at 22 ± 2 °C. Each value represents the mean \pm standard deviation ($n = 10$).

Figura 2. Pérdida de peso (%) de frutos de mango cv. Manila tratados con Ethephon ($1000 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$) y 1-MCP ($600 \text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$), almacenados a 22 ± 2 °C. Cada valor representa la media \pm la desviación estándar ($n = 10$).

all three treatments at six days, and between 2 and 3 N after eight days. Gil et al. (2006) report, for 'Tommy Atkins' mango, that a firmness of 5.88 to 13.75 N places the fruit in a low-quality range, which suggests that the firmness of fruit from the three treatments after six days of storage is acceptable.

No significant differences were observed between treatments (Table 1), except on the fourth day, where fruit with Ethephon had significantly lower firmness (18.6 N) than the control and 1-MCP. The response of the Ethephon treatment is based on its effect as an ethylene releaser by breaking the 2-chloroethylphosphonic acid molecule (Bondad, 1976; Osuna-Enciso et al., 2012), which brings forward the phenomenon of autocatalysis and the activation of enzymes related to cell wall degradation and loss of firmness (Ali-Zainon et al., 2004).

In relation to the control, the fruits treated with 1-MCP showed no significant differences in pulp firmness during the established storage periods, although a lag effect was observed after six days, when the fruits showed the greatest firmness (16.1 N). Cin-Dal et al. (2006) mentioned that the response to

presentaron significativamente mayores pérdidas de peso, con 7.9 y 12.1 % a los cuatro y ocho días de almacenamiento, respectivamente. Manganaris et al. (2008) señalan que este efecto se relaciona con cambios en la cantidad y la composición de ceras epicuticulares, las cuales regulan el transporte del vapor de agua a través del epicarpio de los frutos (Figura 2).

Como parte de los cambios asociados con el proceso de maduración, la firmeza de la pulpa disminuyó conforme avanzó el tiempo de almacenamiento (Yashoda-Hosakote et al., 2006); sin embargo, el proceso fue más acelerado en los frutos con Ethephon, los cuales presentaron una firmeza significativamente menor (33.4 N) respecto al valor inicial (53.6 N) después de dos días. En tanto que, los tratamientos testigo (30.6 N) y 1-MCP (32.9 N) presentaron diferencias significativas hasta después de cuatro días de almacenamiento (Cuadro 1). Valores entre 10 y 20 N se presentaron en los tres tratamientos a los seis días, y entre 2 a 3 N a los ocho días. Gil et al. (2006) reportan, para mango 'Tommy Atkins', que una firmeza de 5.88 a 13.75 N ubica a los frutos en un rango de calidad baja, lo cual sugiere que la firmeza obtenida en los frutos de

Table 1. Changes in firmness, chemical and color components of mango cv. Manila fruit treated with Ethephon (1 000 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$) and 1-MCP (600 $\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$), stored at 22 ± 2 °C.

Cuadro 1. Cambios en firmeza, componentes químicos y del color de frutos de mango cv. Manila tratados con Ethephon (1 000 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$) y 1-MCP (600 $\text{nL}\cdot\text{L}^{-1}$), almacenados a 22 ± 2 °C.

Days/ Días	Pulp firmness (N)/ Firmeza pulpa (N)	Total soluble solids (%)/ Sólidos solubles totales (%)	Titrateable acidity (%)/ Acidez titulable (%)	Luminosity (L-Hunter)/ Luminosidad (L-Hunter)	Hue angle (*h)/ Ángulo de tono (*h)
Start/Inicial	53.6 a	10.6 c	2.8 a	47.2 c	126.5 a
Control/Testigo					
2	43.0 ab	12.3 bc	1.9 ab	49.4 c	125.2 a
4	30.6 bc	13.9 bc	1.8 ab	50.8 bc	119.6 ab
6	12.5 cd	16.6 ab	1.8 ab	52.4 bc	114.8 b
8	2.7 d	20.1 a	0.7 c	53.9 ab	105.7 c
1-MCP					
2	42.4 ab	12.1 bc	2.9 a	48.5 c	126.1 a
4	32.9 bc	13.4 bc	2.7 a	51.6 bc	120.5 ab
6	16.1 cd	15.7 b	1.7 ab	52.6 bc	117.4 b
8	2.2 d	19.2 ab	1.2 bc	55.0 ab	110.7 c
Ethephon					
2	33.4 bc	13.7 bc	2.7 a	48.1 c	124.2 a
4	18.6 cd	14.5 b	1.9 ab	53.7 ab	117.1 b
6	11.4 cd	19.4 ab	0.7 c	53.9 ab	109.3 c
8	2.0 d	20.3 a	0.4 c	59.9 a	97.1 d

Means with the same letter in each column were not statistically different (Tukey, $P \leq 0.05$).

Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

1-MCP applications varies, among other factors, with concentration and exposure time, which suggests the need to test other combinations that will optimize the treatment for this quality parameter.

Epicarp color showed changes according to the storage time (Table 1). As for the initial value (126.5°), the hue angle decreased in the three treatments, but more rapidly in fruits with Ethephon (117.1°) after four days of storage, while the control (114.8°) and 1-MCP (117.7°) reached similar values after six days. Luminosity increased in the three treatments, with significant differences from the fourth day of storage in fruits with Ethephon, and up to the eighth day in the control and 1-MCP. These results show a greater color change in 'Manila' mango fruits treated with Ethephon, as reported by Osuna-Enciso et al. (2012) in Keitt cultivar mangoes.

The content of carotenoids in pulp increased as the maturation process progressed, which occurs in fruits with a high content of these pigments (Gross, 1987). The Ethephon treatment favored carotenoid biosynthesis, reaching a significantly higher content on the fourth and sixth day, the latter with $4.81 \pm 0.45 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. The control reached its highest content on the sixth day ($1.91 \pm 0.39 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), while the 1-MCP treatment had its highest content on the eighth day ($3.08 \pm 0.2 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) (Figure 3). Pott et al. (2003) observed that the content of total carotenoids in 'Kent' mango varied from 0.9 to $12.5 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, while

los tres tratamientos tras seis días de almacenamiento se considera como aceptable.

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 1), a excepción del cuarto día, donde los frutos con Ethephon resultaron con una firmeza significativamente menor (18.6 N) respecto al testigo y 1-MCP. La respuesta del tratamiento con Ethephon se basa en su acción como liberador de etileno mediante el rompimiento de la molécula del ácido 2-cloroetilfosfónico (Bondad, 1976; Osuna-Enciso et al., 2012), con lo cual se adelanta el fenómeno de autocatálisis y la activación de enzimas relacionadas con la degradación de la pared celular y las pérdida de la firmeza (Ali-Zainon et al., 2004).

En relación con el testigo, los frutos tratados con 1-MCP no presentaron diferencias significativas en la firmeza de la pulpa durante los periodos de almacenamiento establecidos, aunque se observó un efecto de retardo a los seis días, ya que fue cuando los frutos presentaron mayor firmeza (16.1 N). Cin-Dal et al. (2006) mencionan que la respuesta a las aplicaciones de 1-MCP varía, entre otros factores, con la concentración y el tiempo de exposición, lo cual sugiere la necesidad de probar otras combinaciones que optimicen el tratamiento en cuanto a este parámetro de calidad.

El color del epicarpio mostró cambios en función del tiempo de almacenamiento (Cuadro 1). En cuanto al valor inicial (126.5°), el ángulo de tono disminuyó en los

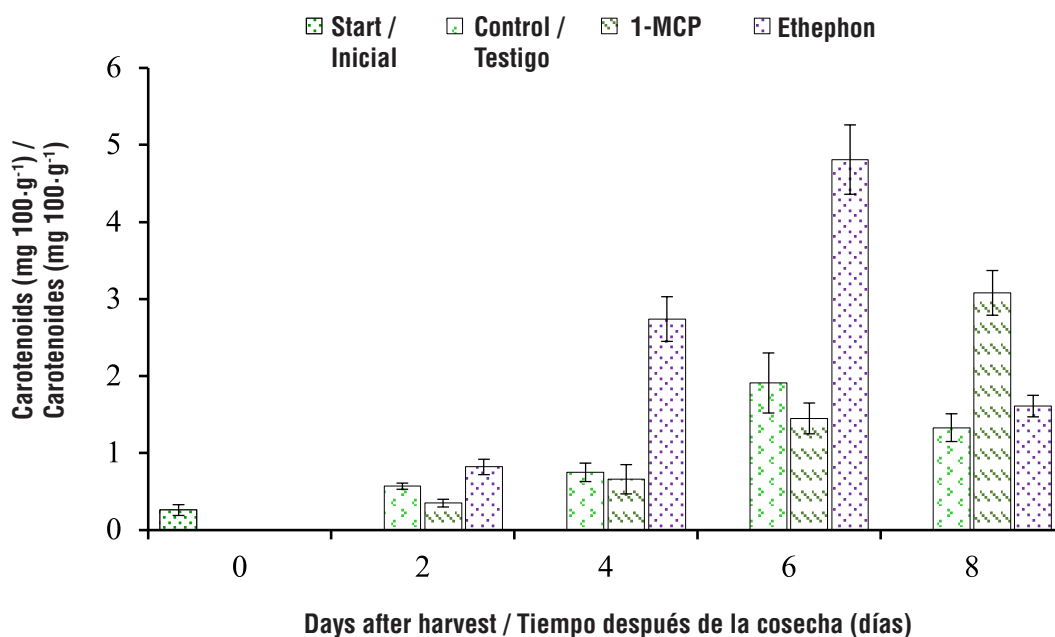


Figure 3. Changes in carotenoid content during maturation of mango cv. Manila fruits treated with Ethephon ($1000 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$) and 1-MCP ($600 \text{ nL} \cdot \text{L}^{-1}$), stored at $22 \pm 2^\circ \text{C}$. Each value represents the mean \pm standard deviation ($n = 4$).
Figura 3. Cambios en el contenido de carotenoides durante la maduración de frutos de mango cv. Manila tratados con Ethephon ($1000 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$) y 1-MCP ($600 \text{ nL} \cdot \text{L}^{-1}$), almacenados a $22 \pm 2^\circ \text{C}$. Cada valor representa la media \pm desviación estándar ($n = 4$).

Ornelas-Paz et al. (2008) reported values lower than $1 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ for 'Manila' mango. This variation explains the effect of different factors affecting the metabolism of these isoprenoids, such as the species, cultivar and production technology applied (Gross, 1987).

Based on the results obtained, it can be assumed that ethylene released by Ethephon stimulates the activity of key enzymes of carotenoid biosynthesis. It has been reported that DXS (1-deoxy-D-xylulosa-5-phosphate synthase) (E.C.2.2.1.7.) increases its activity in parallel with the increase of carotenoids (Botella-Pavía et al., 2004).

Ascorbic acid content decreased during maturation in all three treatments (Figure 4), although more slowly in the fruits treated with 1-MCP, which allowed them to maintain a significantly higher content ($26.8 \pm 1.9 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) Ascorbic acid content decreased during maturation in all three treatments (Figure 4), although more slowly in the fruits treated with 1-MCP, which allowed them to maintain a significantly higher content ($20 \pm 1.0 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) after 8 days. final losses of ascorbic acid were 58.4, 50.3 and 62.9 % for the control, 1-MCP and Ethephon, respectively. This effect is related to the oxidation of ascorbic acid to dehydroascorbic acid by ascorbate oxidase (Lee & Kader, 2000). Similar losses have been reported by Anowar et al. (2014) in 'Ashwina' mango (58.6 %) and Garcia-Martinez et al.

tres tratamientos, pero de manera más acelerada en los frutos con Ethephon (117.1°) a partir de los cuatro días de almacenamiento, mientras que el testigo (114.8°) y 1-MCP (117.7°) alcanzaron valores similares hasta los seis días. Por su parte, la luminosidad incrementó en los tres tratamientos, con diferencias significativas a partir del cuarto día de almacenamiento en los frutos con Ethephon, y hasta el octavo día en el testigo y 1-MCP. Estos resultados manifiestan un mayor cambio de color en los frutos de mango 'Manila' tratados con Ethephon, como ha sido reportado por Osuna-Enciso et al. (2012) en mangos cultivar Keitt.

El contenido de carotenoides en pulpa incrementó conforme avanzó el proceso de maduración, lo cual se presenta en frutos con alto contenido de estos pigmentos (Gross, 1987). El tratamiento con Ethephon favoreció la biosíntesis de carotenoides, al alcanzar un contenido significativamente mayor en el cuarto y sexto día, este último con $4.81 \pm 0.45 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. El testigo alcanzó su mayor contenido el sexto día ($1.91 \pm 0.39 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), mientras que el tratamiento con 1-MCP presentó su mayor contenido el día ocho ($3.08 \pm 0.2 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) (Figura 3). Pott et al. (2003) observaron que el contenido de carotenoides totales en mango 'Kent' varía de 0.9 a $12.5 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, mientras que Ornelas-Paz et al. (2008) reportan valores menores a $1 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ en mango 'Manila'. Dicha variación explica el efecto de diversos factores que inciden en el metabolismo de estos

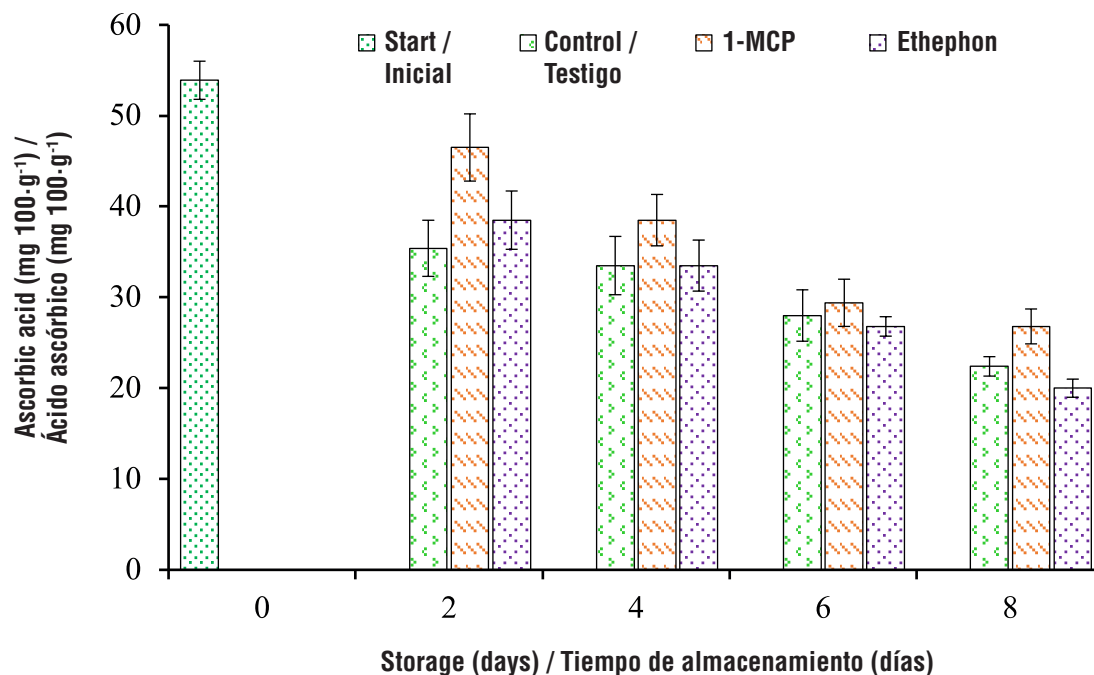


Figure 4. Changes in ascorbic acid content during storage of mango cv. Manila fruits treated with Ethephon ($1000 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$) and 1-MCP ($600 \text{ nL} \cdot \text{L}^{-1}$), stored at $22 \pm 2^\circ \text{C}$. Each value represents the mean \pm standard deviation ($n = 4$).

Figura 4. Cambios en el contenido de ácido ascórbico durante el almacenamiento de frutos de mango cv. Manila tratados con Ethephon ($1000 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$) y 1-MCP ($600 \text{ nL} \cdot \text{L}^{-1}$), almacenados a $22 \pm 2^\circ \text{C}$. Cada valor representa la media \pm desviación estándar ($n = 4$).

(2015) in 'Kent' (48.8 %). However, Lakshminarayana (1975) report lower losses in 'Irwin' (12.5 %) and 'Haden' (18.9 %) mangoes, which showed the effect of cultivar on postharvest metabolism of this vitamin.

TSS content increased significantly compared to the initial value from day 6 onwards, but without significant differences between treatments. However, the highest TSS content (20.3 %) was seen in fruits with Ethephon, while the lowest was in fruits with 1-MCP (19.2 %) (Table 1). León et al. (1997) reported values of 22.0 % for 'Manila' mango at eating maturity, which is higher than those reported for other cultivars, such as Haden (15.2 %), Tommy Atkins (13.9 %) and Kent (13.7 %) (Siller-Cepeda et al., 2009).

Citric acid content decreased significantly on the sixth day in fruits treated with Ethephon, while in the control and 1-MCP the decline happened after eight days. This effect is associated with the participation of citric acid in the respiration process (Medlicott et al., 1990). After six days of storage, fruits with Ethephon were significantly lower than the control and 1-MCP, with 0.4 % citric acid, which shows a greater progress in the maturation process. León et al. (2005) report a content of 0.3 % citric acid in 'Manila' mango fruit at the consumption maturity stage.

Conclusions

1-MCP reduced the respiration rate during maturation and decreased the loss of ascorbic acid, so it is considered acceptable to be used on 'Manila' mango, which has a high metabolic activity, as it can extend shelf life by delaying maturation. However, more research should be carried out on the use of this product for firmness since the concentration and exposure time could lead to positive results in this variable.

The use of Ethephon increased the content of carotenoids in 'Manila' mango, up to values that have not been reached in other studies, as well as total soluble solids, but decreased the concentration of ascorbic and citric acids.

The use of both products in 'Manila' mango is recommended for technological management. However, further research should be carried out to determine the optimal time of application to propose appropriate technological management for the Manila variety.

Acknowledgments

Thanks to the Consejo Nacional y Tecnología (CONACYT) and the Colegio de Postgraduados for the support provided to complete my graduate studies.

isoprenoides, como la especie, el cultivar y la tecnología de producción aplicada (Gross, 1987).

Los resultados obtenidos permiten asumir que el etileno liberado por el Ethephon estimula la actividad de enzimas clave de la biosíntesis de carotenoides. En este sentido, se ha reportado que la DXS (1-deoxi-D-xilulosa-5 fosfato sintasa) (E.C.2.2.1.7.) aumenta su actividad de manera paralela al aumento de carotenoides (Botella-Pavía et al., 2004).

En los tres tratamientos, el contenido de ácido ascórbico disminuyó durante su proceso de maduración (Figura 4), aunque de manera más lenta en los frutos tratados con 1-MCP, lo cual le permitió mantener un contenido significativamente mayor ($26.8 \pm 1.9 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) al resto de los tratamientos a los 8 días. De manera contraria, el tratamiento con Ethephon aceleró la pérdida de esta vitamina, al presentar una concentración significativamente menor ($20 \pm 1.0 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) después de 8 días. Las pérdidas finales de ácido ascórbico se ubicaron en 58.4, 50.3 y 62.9 %, para el testigo, 1-MCP y Ethephon, respectivamente. Este efecto se relaciona con la oxidación de ácido ascórbico hasta ácido dehidroascórbico por acción de la ascorbato oxidasa (Lee & Kader, 2000). Pérdidas similares han sido reportadas por Anowar et al. (2014) en mango 'Ashwina' (58.6 %) y García-Martínez et al. (2015) en 'Kent' (48.8 %). Sin embargo, Lakshminarayana (1975) reportan pérdidas menores en mango 'Irwin' (12.5 %) y 'Haden' (18.9 %), lo cual evidencia el efecto del cultivar en el metabolismo poscosecha de esta vitamina.

El contenido de SST aumentó significativamente respecto al valor inicial a partir del sexto día, pero sin diferencias significativas entre los tratamientos. No obstante, el mayor contenido de SST (20.3 %) se observó en los frutos con Ethephon, mientras que el menor fue en los frutos con 1-MCP (19.2 %) (Cuadro 1). León et al. (1997) obtuvieron valores de 22.0 % en mango 'Manila' en madurez de consumo, lo cual resulta superior a lo reportado en otros cultivares, como Haden (15.2 %), Tommy Atkins (13.9 %) y Kent (13.7 %) (Siller-Cepeda et al., 2009).

Por su parte, el contenido de ácido cítrico disminuyó significativamente al sexto día en los frutos tratados con Ethephon, en tanto que en el testigo y 1-MCP la disminución se dio a los ocho días. Este efecto se asocia con la participación del ácido cítrico en el proceso de respiración (Medlicott et al., 1990). A los seis días de almacenamiento, los frutos con Ethephon resultaron significativamente menores al testigo y 1-MCP, con 0.4 % de ácido cítrico, lo cual manifiesta un mayor avance en el proceso de maduración. León et al. (2005) reportan un contenido de 0.3 % de ácido cítrico en frutos de mango 'Manila' en estado de madurez de consumo.

End of English version

References / Referencias

- Ali-Zainon, M., Chin, L., & Lazan, H. (2004). A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. *Plant Science*, 167(2), 317-327. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.03.030>
- Anowar, H., Masud, R., Yoshinobu, K., & Hairul-Azman. R. (2014). Changes in biochemical characteristics and activities of ripening associated enzymes in mango fruit during the storage at different temperatures. *BioMed Research International*, 2014, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2014/232969>
- Arias, R., Lee, T., Logendra, L., & Janes, H. (2000). Correlation of lycopene measured by hplc with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 48(5), 1697-1702. <https://doi.org/10.1021/jf990974e>
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1990). *Officials methods of analysis*. Association of Official Analytical Chemists Inc. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2007). *Official methods of analysis*. Association of Official Analytical Chemists Inc.
- Barbosa-Martinez, C., Ponce de León-García, L., & Pelayo, C. (2009). Morpho-histology of 'Manila' and 'Haden' fruit development. A comparative study with postharvest implications. *Acta Horticulturae*, 820, 281-288. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.820.31>
- Blankenship-Sylvia, M., & Dole, J. M. (2003). 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology*, 28(1), 1-25. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00246-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00246-6)
- Bondad, D. (1976). Response of some tropical and subtropical fruits to pre- and post- harvest applications of Ethephon. *Economic Botany*, 30(1), 67-80. <http://www.jstor.org/stable/4253693>
- Botella-Pavía, P., Besumbes, O., Phillips, A., Carretero-Paulet, L., Boronat, A., & Rodríguez-Concepción, M. (2004). Regulation of carotenoid biosynthesis in plants: evidence for a key role of hydroxymethylbutenyl diphosphate reductase in controlling the supply of plastidial isoprenoid precursors. *The Plant Journal*, 40(2), 188-99. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2004.02198.x>
- Cin-Dal, V., Rizzini-Massimo, F., Botton, A., & Pietro, T. (2006). The Ethylene biosynthetic and signal transduction pathways differently affected by 1-MCP in apple and peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 42(2), 125-133. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.06.008>
- García-Martínez, R., López-Jiménez, A., Saucedo-Veloz, C., Salazar-García, S., & Suárez-Espinosa, J. (2015). Maduración y calidad de frutos de mango 'Kent' con tres niveles de fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias*

Conclusiones

El 1-MCP redujo la velocidad de respiración durante la maduración y disminuyó la pérdida de ácido ascórbico, por lo cual se considera aceptable para uso en mango 'Manila', el cual tiene una alta actividad metabólica, ya que puede prolongar la vida de anaquel al retardar la maduración. Sin embargo, se deben realizar más investigaciones en cuanto al uso de este producto para la firmeza, debido a que la concentración y el tiempo de exposición podrían conducir hacia resultados positivos en esta variable.

El uso del Ethephon incrementó el contenido de carotenoides en mango 'Manila', hasta valores que no se han alcanzado en otros trabajos, así como de sólidos solubles totales, pero disminuyó la concentración de ácidos ascórbico y cítrico.

Se recomienda el uso de ambos productos en mango 'Manila' para su manejo tecnológico. No obstante, se deben realizar más investigaciones para determinar el tiempo idóneo de aplicación para plantear manejos tecnológicos adecuados a la variedad Manila.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional y Tecnología (CONACYT) y al Colegio de Postgraduados por el apoyo brindado para poder culminar mis estudios de postgrado.

Fin de la versión en español

- Agrícolas*, 6(4), 665-678. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i4.610>
- García-Osuna, J. A., Beltrán, J. A., & Urías-López, M. A. (2005). Efecto del 1-metilciclopropeno (1-mcp) sobre la vida de anaquel y calidad de mango para exportación. *Revista de Fitotecnia Mexicana*, 28(3), 271-278. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61028311>
- Gil, I., M., Aguayo, E., & Kader-Adel, A. (2006). Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(12), 4284-4296. <https://doi.org/10.1021/jf060303y>
- Gross, J. (1987). *Pigments in fruits*. Academic Press.
- Jiang-Weibo, B., Sheng, Q., Jiang, Y., & Zhou, X. (2004). Effects of 1-methylcyclopropene and gibberellic acid on ripening of Chinese jujube (*Zizyphus jujube* M.) in relation to quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(1), 31-35. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1594>
- Lakshminarayana, S. (1975). Relation of time of harvest on respiration, chemical constituents and storage life of mangoes. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 88, 477-480.
- Lee, S., & Kader, A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops.

- Postharvest Biology and Technology*, 20(3), 207-220. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2)
- León, M. D., de la Cruz, J., García, H. S., & Gómez-Lim, M. A. (2005). *Chilling injury in mango (Mangifera indica. L.) fruit*. In: Randane, D. (Ed.), *Crops: Quality, Growth and Biotechnology* (pp. 903-924). WFL Publisher. https://www.wflpublisher.com/Book_Category/1000054
- León, M. D., Cruz-Parkin, L., & García-Hugo, S. (1997). Effect of controlled atmospheres containing low O₂ and high CO₂ on chilling susceptibility of Manila mangoes. *Acta Horticulturae*, 455(2), 634-642. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.455.82>
- Manganaris, A., Crisosto, C., Bremer, V., & Holcroft, D. (2008). Novel 1-methylcyclopropene immersion formulation extends shelf life of advanced maturity 'Joanna Red' plums (*Prunus salicina* Lindell). *Postharvest Biology and Technology*, 47(3), 429-433. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.04.005>
- Martínez-González, M. E., Balois-Morales, R., Alia-Tejagal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A., & López-Gúzman, G. G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(19), 4075-4087. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.674>
- McGuire-Raymod, G. (1992). Reporting of objective color measurements. *Hortscience*, 27(12), 1254-1255. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>
- Medlicott, A. P., Sigrist, J. M., & Sy, O. (1990). Ripening of mangos following low-temperature storage. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115(3), 430-434. <https://doi.org/10.21273/JASHS.115.3.430>
- Montoya-Zapata, J. E., Cuartas, C. A., & Restrepo, C. (2018). Modelamiento de la respiración del mango usando el método de sistema cerrado a diferentes temperaturas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(3), 126. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018126>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1987). *Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas*. FAO. <https://www.fao.org/3/x5055s/x5055S03.htm>
- Ornelas-Paz, J. J., Yahia-Elhadi, M., & Gardea-Alfonso, A. (2008). Changes in external and internal color during postharvest ripening of 'Manila' and 'Ataulfo' mango fruit and relationship with carotenoid content determined by liquid chromatography-APCI⁺-time-of-flight mass spectrometry. *Postharvest Biology and Technology*, 50(2-3), 145-152. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.05.001>
- Ortiz-Franco, L., Ramírez-Villa, A. Z., Cervantes-Mojica, L. J., Muy-Rangel, M. D., Gómez-Lim, M. A., García-Galindo, H. S., Sáyago-Ayerdi, S. G., & Montalvo-González, E. (2016). Efecto del 1-metilciclopropeno en la maduración de mango ataulfo en condición simulada para exportación a Europa. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(3), 305-316. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802016000300305&lng=es&tlng=es
- Osuna-Enciso, T., Sañudo-Barajas, J. A., Muy-Rangel, D., Basilio-Heredia, J., Valdez-Torres, B., Hernández-Verdugo, S., & Villarreal-Romero, M. (2012). Aplicación precosecha de etefón para mejorar la calidad de mangos 'Tommy Atkins' para procesado industrial. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(5), 69-74. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802012000500014&script=sci_abstract
- Osuna-García, J., Cáceres-Morales, I., Montalvo-González, E., Mata-Montes, M., & Tovar-Gómez, B. (2007). Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) y tratamiento hidrotérmico sobre la fisiología y calidad del mango 'Keitt'. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(2), 157-163. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60913280007>
- Patel, B. A., Tandel, Y. N., Patel, B. L., & Patel, A. S. (2015). Effect of maturity stage, ethrel and cold storage on chilling injury and quality of mango cv. Kesar fruits. *Multilogic in Science*, 5(8), 84-87. https://www.researchgate.net/profile/yatin-tandel/publication/331521325_effect_of_maturity_stage_ethrel_and_cold_storage_on_chilling_injury_and_quality_of_mango_cv_kesar_fruits/links/5c7e0111a6fdcc4715af8802/effect-of-maturity-stage-ethrel-and-cold-storage-on-chilling-injury-and-quality-of-mango-cv-kesar-fruits.pdf
- Paull, R. (1993). *Tropical fruit physiology and storage potential*. In: Champ, B. R., Highley, E., & Johnson, G. I. (Eds.), *Postharvest handling of tropical fruits* (pp. 198-204). ACIAR Camberra. https://aciarc.gov.au/sites/default/files/legacy/node/2248/pr50_pdf_70186.pdf
- Pott, I., Marx, M., Neidhart, S., Mühlbauer, W., & Carle, R. (2003). Quantitative determination of β-carotene stereoisomers in fresh, dried, and solar-dried mangoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(16), 4527-4531. <https://doi.org/10.1021/jf034084h>
- Romero-Gomezcaña, N. R., Saucedo-Veloz, C., Sánchez-García, P., Rodríguez-Alcázar, J., González-Hernández, V. M., Rodríguez-Mendoza, M. N., & Báez-Sañudo, R. (2006). Aplicación foliar de Ca(NO₃)₂: fisiología y calidad de frutos de mango 'Haden'. *Terra Latinoamericana*, 24(4), 521-527. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57324410>
- Russión-Lúquez, T., & Manzano-Méndez, J. (2003). Influencia de la temperatura sobre la calidad del fruto del mango 'pico de loro' durante el almacenamiento. *Agronomía Tropical*, 53(1), 59-72. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X200300010005&lng=es&tlng=es
- Salveit-Mikal, E., Sharaf, J., & Abdel-Sharaf, R. (1992). Ethanol inhibits ripening of tomato fruit harvested at various

- degrees of ripeness without affecting subsequent quality. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(5), 793-798. <https://doi.org/10.21273/JASHS.117.5.793>
- Saucedo-Veloz, C., Esparza-Torres, F., & Lakshminarayana, S. (1977). Effect of refrigerated temperatures on the incidence of chilling injury and ripening quality of mango fruit. *Proceedings Florida State Horticultural Society*, 90, 205-210. <https://journals.flvc.org/fshs/article/download/97373/93378>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2019). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. SIAP. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola>
- Siller-Cepeda, J., Muy-Rangel, D., Báez-Sañudo, M., Araiza-Lizarde, E., & Ireta-Ojeda, A. (2009). Calidad poscosecha de cultivares de mango de maduración temprana, intermedia y tardía. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(1), 45-52. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=610/61011105006>
- Vargas-Ortiz, M. A., de la Cruz-Medina, J., Oliart-Ros, R. M., Rebolledo-Martínez, A., Ramírez, J. A., & García, H. S. (2013). Efecto de las altas presiones hidrostáticas sobre los cambios poscosecha de mango (*Mangifera indica*) 'manila' en madurez fisiológica. *Ciencia UAT*, 8(1), 52-63. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=441942930008>
- Yashoda-Hosakote, M., Tyakal-Prabha, N., & Tharanathan-Rudrapatnam, N. (2006). Mango ripening: changes in cell wall constituents in relation to textural softening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(5), 713-721. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2404>
- Zaharah, S., & Singh, Z. (2011). Postharvest nitric oxide fumigation alleviates chilling injury, delays fruit ripening and maintains quality in cold-stored 'Kensington Pride' mango. *Postharvest Biology and Technology*, 60(3), 202-210. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.01.011>