

# ***El 1-metilciclopropeno y la temperatura de almacenamiento en la poscosecha de lulo (*Solanum quitoense* Lam.)\****

## **The 1-methylcyclopropene and postharvest storage temperature of lulo fruits (*Solanum quitoense* Lam.)**

MOLANO-DÍAZ, JULIÁN-MAURICIO<sup>1</sup>; REYES-MEDINA, ANDREA-JOHANA<sup>2</sup>; ÁLVAREZ-HERRERA, JAVIER-GIOVANNI<sup>3</sup>

### Historial del artículo

Recibido para evaluación: 25 de Diciembre 2020

Aprobado para publicación: 10 de Diciembre 2021

\* Proyecto de investigación de origen: "Efecto del 1-metilciclopropeno en la calidad de frutos de lulo (*Solanum quitoense* var. Castilla) y su comportamiento durante la poscosecha". Financiación: convocatoria DIN 019-2016, Estímulo económico para jóvenes Investigadores Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Culminación: 21 de agosto de 2018.

- 1 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA). Ingeniero Agrónomo. Tunja, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-4574-0873>
- 2 Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, Facultad de Ciencias Agrarias. Ingeniera Agrónoma, Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA). Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0001-5532-0640>
- 3 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA), Bogotá, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-1737-6325>

Correspondencia: [javier.alvarez@uptc.edu.co](mailto:javier.alvarez@uptc.edu.co)

Cómo citar este artículo: MOLANO-DÍAZ, JULIÁN-MAURICIO; REYES-MEDINA, ANDREA-JOHANA; ÁLVAREZ-HERRERA, JAVIER-GIOVANNI. El 1-metilciclopropeno y la temperatura de almacenamiento en la poscosecha de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v. 20, n. 2, 2022, p. 60-75. Doi: <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n2.2022.1815>

## RESUMEN

El fruto del lulo posee un alto valor nutritivo y es de gran uso en la agroindustria, no obstante, la rentabilidad del cultivo ha disminuido debido a su perecibilidad, lo cual genera pérdidas en poscosecha. Se aplicó un diseño completamente al azar con arreglo factorial, el primer factor fue la dosis de 1-MCP (0, 280 o 560  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) y el segundo, la temperatura de almacenamiento (2, 4 o 14 °C) sobre frutos de lulo en estado de madurez comercial, para un total de 9 tratamientos, a los cuales se les midió el pH, los sólidos solubles totales (SST), firmeza, índice de color (IC), acidez total titulable (ATT), intensidad respiratoria (IR) y pérdida de masa (PM). Los frutos refrigerados tuvieron 29 % de pérdida de firmeza y alcanzaron 32 ddc (días después de cosecha), mientras que al ambiente solo duraron 20 ddc con una pérdida de firmeza del 42 %. Los frutos almacenados a 14 °C tuvieron mayor PM, IR e IC que los frutos refrigerados. Los frutos con 1-MCP en dosis de 280 y 560  $\mu\text{g L}^{-1}$  presentaron mayor cantidad de SST, comparados con el testigo. Los frutos de lulo se deben almacenar a 2 °C con una dosis de 1-MCP de 560  $\mu\text{g L}^{-1}$ .

## ABSTRACT

The lulo fruit has a high nutritional value and is widely used in agribusiness, however, the profitability of the crop has decreased due to its perishability, which generates losses in post-harvest. A completely randomized design with factorial arrangement was made, the first factor was the dose of 1-MCP (0,280 or 560  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) and the second, the storage temperature (2, 4 or 14 °C) above lulo fruits in a state of commercial maturity, for a total of 9 treatments, at which pH, total soluble solids (TSS), firmness, color index (CI), total titratable acidity (TTA), respiratory rate (RR) and mass loss (ML) were measured. The refrigerated fruits had 29 % loss of firmness and reached 32 dah (days after harvest), while in the environment they only lasted 20 dah with a loss of firmness of 42 %. The fruits stored at 14 °C had higher ML, RR and CI than the refrigerated fruits. The fruits with 1-MCP in doses of 280 and 560  $\mu\text{g L}^{-1}$  presented a higher amount of TSS, compared to the control. Lulo fruits should be stored at 2 °C with a 1-MCP dose of 560  $\mu\text{g L}^{-1}$ .

## PALABRAS CLAVE:

Firmeza; Frutas tropicales; Índice de color; Intensidad respiratoria; 1-MCP; Maduración; SST; ATT; Grados Brix; Poscosecha.

## KEYWORDS:

Firmness; Tropical fruits; Color index; Respiratory rate; 1-MCP; Ripening; TSS; TTA; Grades Brix; Postharvest.

## INTRODUCCIÓN

El lulo se origina en los Andes, se cultiva y consume especialmente en los países del trópico suramericano (Ramírez *et al.*, 2018). En Colombia para el año 2018, el cultivo alcanzó un área sembrada de 8.821 ha y tuvo una producción de 89.050 t con un rendimiento de 10,09 t ha<sup>-1</sup>, mientras que en el departamento de Boyacá se registraron 562 ha de cultivo con una producción total de 8.424 t y un rendimiento promedio de 14,98 t ha<sup>-1</sup> (AGRONET, 2020)

Por su valor nutritivo, características organolépticas y uso en la agroindustria, el lulo es una de las frutas tropicales con mayor potencial (Almanza *et al.*, 2017), sin embargo, al ser un fruto climatérico, cuando inicia la maduración su intensidad respiratoria aumenta, así como la producción de etileno (Monteiro *et al.*, 2013). Del mismo modo, el manejo de la calidad poscosecha del fruto es fundamental para reducir al máximo las pérdidas, que en Colombia pueden ser del 50% de la producción (Forero *et al.*, 2014).

El 1-metilciclopropeno (1-MCP) es un alqueno cíclico que puede unirse al receptor de etileno y bloquear la acción sobre la maduración del fruto (Brasil and Mohammed, 2018) al regular la biosíntesis de etileno a través de la inhibición del proceso autocatalítico, debido a que su afinidad por los receptores del etileno es diez veces mayor (Xu and Liu, 2017): el exceso de etileno aumenta la tasa respiratoria y acelera la maduración y senescencia de los frutos durante el almacenamiento (Hu *et al.*, 2019). En frutos de aguacate 'Hass', chirimoya, mango y papaya sometidos a 1-MCP, se encontró un incremento de los días de vida en anaquel de 4,4 días (aumento del 40 %), 3,4 días (58 %), 5,1 días (37 %) y 15,6 días (325 %), respectivamente, con respecto a los frutos no tratados (Hofman *et al.*, 2001). Del mismo modo, la aplicación de 1-MCP en frutos de fresa (*Fragaria sp.*), mantuvo por más tiempo la firmeza y los valores de ácido ascórbico y aumentó la vida poscosecha (Yang *et al.*, 2018). Además, en manzanas (*Malus domestica* Borkh), el 1-MCP favoreció la calidad de los frutos por más tiempo y disminuyó la pérdida de masa y la concentración interna de etileno, no obstante, el color de la epidermis no se vio afectado (Kim *et al.*, 2018), mientras que en frutos de Caqui (*Diospyros kaki* L. cv. Youhou), no retrasó la maduración de los frutos, sin embargo, inhibió el oscurecimiento de la pulpa y disminuyó la actividad de la polifenol oxidasa y peroxidasa (Zhao *et al.*, 2020).

Otra estrategia de conservación de frutos utilizada es la refrigeración debido al efecto sobre el control de la madurez al retardar los procesos fisiológicos y bioquímicos que llevan a la senescencia del fruto (Forero *et al.*, 2014). De esta forma, se ha comprobado que el almacenamiento refrigerado incrementa la vida poscosecha y mantiene la calidad nutricional debido a que ralentiza los procesos metabólicos como la respiración, producción de etileno y actividad enzimática, así como también mantiene por más tiempo la concentración de antioxidantes, lo cual favorece la dieta humana (Tessmer *et al.*, 2019). En el caso del lulo, se han evaluado temperaturas de almacenamiento entre 5 y 7,5 °C obteniendo diferencias significativas frente a los conservados a temperatura ambiente (Forero *et al.*, 2014).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de combinaciones de 1-MCP y temperaturas de almacenamiento en la calidad y comportamiento de frutos de lulo durante la poscosecha.

## MÉTODO

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-sede Tunja. Los frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) cv. 'Castilla' fueron recolectados de un cultivo comercial ubicado en el municipio de Jenesano, Boyacá, finca Santa Clara a 1.600 m s.n.m., latitud 05°21,3'43"N y longitud 73°22,6'43"O, con precipitación promedio anual de 1.100 mm, temperatura que oscila entre 12 y 21 °C y humedad relativa media de 85 %.

Se recolectaron 50 kg de frutos con pesos de 140 a 160 g, entre las 8:00 y 10:00 am. Estos fueron transportados en canastillas plásticas de 25 kg desde la finca al laboratorio bajo condiciones ambientales en un tiempo de 1 h 30 min. Se seleccionaron frutos en estado de madurez 3 (color de cáscara 75 % naranja y 25 % verde) según la norma técnica colombiana para lulo NTC-5093, con el fin de uniformizar la muestra.

Posteriormente, se desinfectaron con NaCl al 0,1 % (p/v) y se sumergieron en agua destilada durante 15 min para eliminar el calor de respiración. Para la aplicación de los tratamientos de 1-MCP se utilizó el producto Smartfresh™ (Agrofresh, Spring House, PA, USA), con una concentración de 0,14 % de ingrediente activo. Los frutos fueron sumergidos en las soluciones de 1-MCP durante 10 minutos en las concentraciones de los tratamientos (Rozo *et al.*, 2015). La refrigeración se realizó en neveras de 17 y 19 ft con regulación de temperatura y humidificador digital marca SuperNordico®

Se aplicó un diseño completamente al azar con estructura de tratamiento factorial de 3 x 3. El primer factor correspondió a tres dosis de 1-MCP (0, 280 o 560  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) y el segundo factor a temperaturas de almacenamiento (2, 4°C o temperatura ambiente a 14°C), para un total de 9 tratamientos con 4 repeticiones y 36 unidades experimentales (UE). Cada UE estuvo conformada por 5 frutos uniformes en color y tamaño, para un total de 180 frutos, dispuestos en bandejas de icopor con espacio suficiente para evitar el golpe entre frutos y su deterioro.

Se determinaron las variables pérdida de masa (PM), intensidad respiratoria (IR) e índice de color (IC) con la metodología adaptada de Balaguera *et al.* (2015). Las evaluaciones se realizaron cada 4 días a partir del día de inmersión mientras que el pH, acidez total titulable (ATT), sólidos solubles totales (SST) y firmeza se midieron cada 8 días. La (PM) se determinó con la ecuación 1 (Balaguera *et al.*, 2015), midiendo el peso fresco de los frutos con una balanza digital ADAM PGW2502e (Adam Equipment Inc, Oxford).

$$PM = \frac{M1 - M2}{M1} * 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde: M1= masa en tiempo inicial y M2= masa en tiempo final.

La IR se midió en una cámara hermética SEE BC-2000 (Vernier Software & Technology, LLC. Beaverton, OR) con capacidad de 250 cm<sup>3</sup> mediante un sensor infrarrojo VER CO2-BTA (Vernier Software & Technology, LLC. Beaverton, OR) conectado a un sistema de interfase Labquest2 (Vernier Software & Technology, LLC. Beaverton, OR), que registra la concentración de CO<sub>2</sub> en intervalos de 10 minutos.

El IC se calculó con las coordenadas del modelo cromático L\*, a\* y b\* (Rozo *et al.*, 2015), parámetros que fueron medidos con un colorímetro digital Konica Minolta CR-20 (Konica Minolta, Japón) tomando en cada fruto dos lecturas en el diámetro ecuatorial. "L\*" indica la luminosidad, donde 0 es negro y 100 blanco. Valores de "a\*" < 0 indican tendencia hacia el verde y >0 hacia el rojo. "b\*" < 0 indica tendencia hacia el azul y > 0 hacia el amarillo. EL pH se determinó con un potenciómetro digital Metrohm E-744 (Metrohm, Herisau, Suiza), introduciendo el sensor (electrodo) en una solución de 40 mL de agua destilada y 10 mL de jugo, agitando por 1 min. La ATT se calculó como el volumen de NaOH incorporado a la solución de 10 mL de jugo y 40 mL de agua destilada y la adición de 3 gotas de fenoltaleína en una titulación hasta el cambio de color (Balaguera *et al.*, 2015). Los SST se determinaron a través de mediciones de °Brix con un refractómetro digital Hanna HI 96803 (Hanna Instruments, Woonsocket, RI) de rango 0 a 85% con precisión 0,1 °Brix, adicionando una gota de jugo sobre el sensor. La firmeza se midió con un penetrómetro digital PCE-PTR200 (PCE Ibérica SL, Albacete, Spain) con aproximación 0,05 N. El Índice de madurez (IM) se calculó con la Ec.2.

$$M = \frac{SST}{ATT} \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde: SST= sólidos solubles totales y ATT= acidez total titulable.

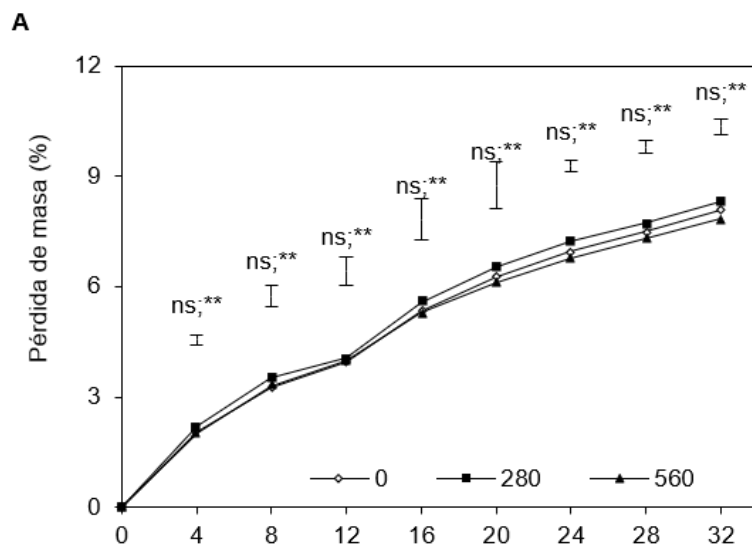
Para el análisis estadístico, se aplicaron las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk y la de homogeneidad de varianza de Bartlett con el fin de comprobar los supuestos del análisis de varianza (Anova), con el cual se establecieron las diferencias estadísticas entre tratamientos, cuyos promedios se clasificaron mediante la prueba de Duncan ( $P \leq 0,05$ ). El análisis se hizo mediante el software estadístico SAS® v. 9,2 e (SAS Institute Inc., Cary, NC).

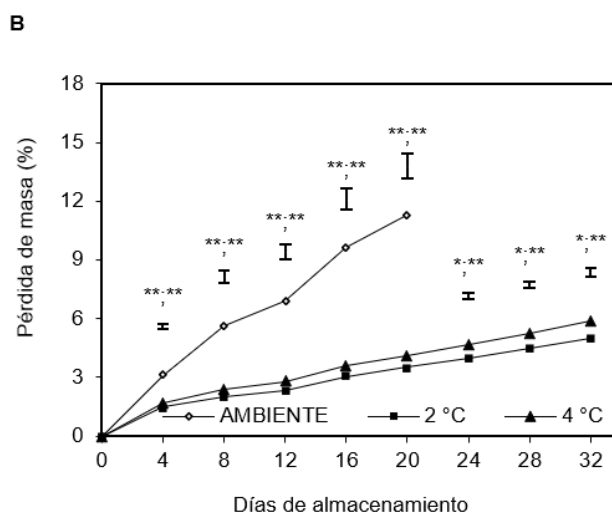
## RESULTADOS

### Pérdida de masa (PM)

Los frutos de lulo no presentaron diferencias significativas en la PM para el factor 1-MCP a lo largo del periodo poscosecha. La máxima PM se alcanzó el día 32 con un valor promedio para todas las dosis de 1-MCP de 8,33 % (figura 1A), lo que implica que el 1-MCP no afectó los valores de PM, similar a lo encontrado en arazá (Carrillo *et al.*, 2011) y contrario a lo reportado en pera (Li *et al.*, 2013) y bulbos de jaca (Vargas *et al.*, 2017).

La ausencia de efecto del 1-MCP sobre la PM en los frutos de lulo (tiempo de inmersión 10 min) también se ha observado en mangos tratados con  $625 \mu\text{g L}^{-1}$  de 1-MCP acuoso aplicado por inmersión durante 5 min (Osuna *et al.*, 2017), por lo que es probable que el tiempo de inmersión haya sido muy corto para lograr un efecto, situación que es acorde a lo encontrado por Osuna-(Osuna *et al.*, 2017), quienes afirman que la eficacia del 1-MCP varía de acuerdo a las condiciones de aplicación, tiempos de inmersión, las concentraciones e incluso la variedad a evaluar.





**Figura 1.** Efecto de A) dosis de 1-MCP, y B) temperatura de almacenamiento sobre la pérdida de masa de frutos de lulo en poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n = 36).

Los frutos de lulo mostraron diferencias significativas en la PM para las diferentes temperaturas evaluadas. La mayor PM se observó en los frutos conservados a temperatura ambiente (11,3 %), los cuales terminaron su vida útil a los 20 ddc, mientras que los frutos refrigerados a 2 y 4 °C alcanzaron 32 ddc y tan solo presentaron 4,9 y 5,8 % de PM, respectivamente (Figura 1B), con lo cual se puede afirmar que la refrigeración evita la PM y conserva la calidad de los frutos de lulo por más tiempo, similar a lo encontrado en granada con 1,0 y 6,7 % (Lufu *et al.*, 2019) y en tomate con 5,0 y 9,8 % para frutos refrigerados y al ambiente, respectivamente (Nokolisa *et al.*, 2018). Durante el periodo de almacenamiento, los frutos disminuyen el contenido de agua a través de la transpiración, proceso afectado directamente por la temperatura de almacenamiento, de ahí que las altas temperaturas generan mayor pérdida de agua lo cual se aprecia en la disminución de la masa fresca y en las características de apariencia y calidad (Díaz-Pérez, 2019). Esto explica por qué los frutos de lulo conservados a temperatura ambiente presentaron mayor PM y menor vida poscosecha, a causa de la transpiración la cual es responsable del deterioro del fruto y de hasta un 97% de la PM total (Lufu *et al.*, 2019).

## Firmeza

Los valores de firmeza de los frutos de lulo no presentaron diferencias significativas al comparar las dosis de 1-MCP evaluadas (Figura 2A), por lo que es probable que su efecto se haya visto disminuido debido a que la solubilidad del 1-MCP en el agua a condiciones normales es limitada y se deben usar altas concentraciones cuando se usa esta técnica (Pongprasert and Srilaong, 2014). La firmeza de los frutos disminuyó un 32,4 % en promedio durante los 32 ddc, valores que se asemejan a los encontrados por Vargas *et al.* (2018) y Du *et al.* (2020), quienes tampoco encontraron diferencias en la firmeza al aplicar 1-MCP en frutos de jaca y durazno, respectivamente.

No obstante, se encontraron diferencias significativas para las temperaturas de almacenamiento y la interacción ( $p \leq 0,0439$ ) en todos los tiempos de medición del periodo poscosecha, a excepción del último día en el que los frutos de los tratamientos refrigerados mostraron valores similares de firmeza (Figura 2B), lo cual permite afirmar que el factor temperatura tuvo mayor efecto que el 1-MCP sobre la firmeza. Los frutos almacenados al

ambiente tuvieron una pérdida de firmeza del 42 %, la cual fue significativamente mayor a la pérdida de firmeza en los tratamientos de 2 y 4°C con valores de 30,6 y 27,3 %, resaltando el efecto de las bajas temperaturas en la conservación de la firmeza de los frutos, ya que el almacenamiento refrigerado retrasó el ablandamiento del fruto de lulo, similar a lo ocurrido en melón (*Cucumis melo* L.) (Wu *et al.*, 2020). Este ablandamiento está asociado a la degradación de la pared celular y a la depolimerización de la hemicelulosa y pérdida de arabinosa, los cuales han sido identificados como los principales cambios de la pared celular durante la vida poscosecha (Panigua *et al.*, 2013).

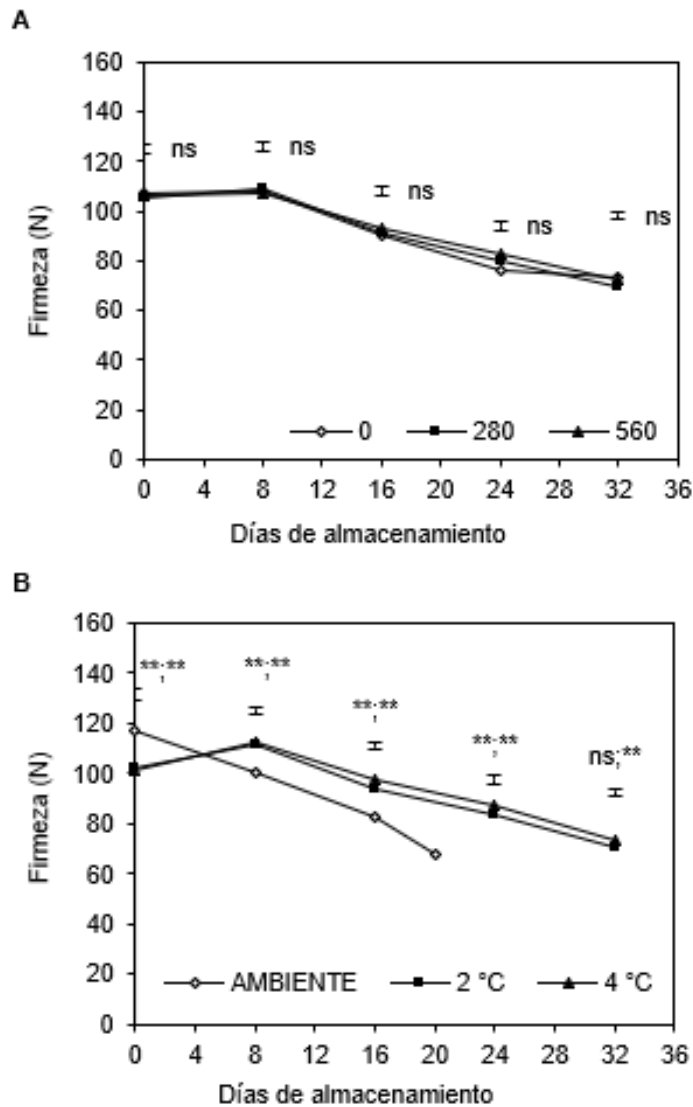


Figura 2. Efecto de A) dosis de 1-MCP, y B) temperaturas de almacenamiento sobre la firmeza de frutos de lulo en poscosecha. Las barras verticales indican el error estándar (n = 36).

## Intensidad Respiratoria (IR)

Para el factor 1-MCP no hubo diferencias significativas durante el periodo poscosecha a excepción de los 16 y 28 ddc: a los 16 ddc se presentó el pico climatórico, en este punto, los frutos de lulo de todos los tratamientos mostraron los mayores valores de IR (Figura 3A), y luego disminuyó hasta los 24 y 28 ddc, a partir de lo cual se incrementó nuevamente, ya en la etapa de senescencia del fruto. A los 16 ddc, el tratamiento de 280  $\mu\text{g L}^{-1}$  de 1-MCP mostró valores menores que el testigo y que la dosis 560  $\mu\text{g L}^{-1}$  de 1-MCP, lo anterior es acorde a Guillén *et al.* (2011), quienes encontraron que la dosis más baja de 1-MCP fue la más eficiente a la hora de disminuir los valores de IR en tomates. El efecto del 1-MCP en la disminución de la IR ha sido reportado por Vargas *et al.* (2017) quienes afirman que la aplicación de 1-MCP tuvo efecto sobre la IR de los frutos de jaca, no obstante, el efecto se vio maximizado cuando se combinó el 1-MCP con la adición de recubrimientos.

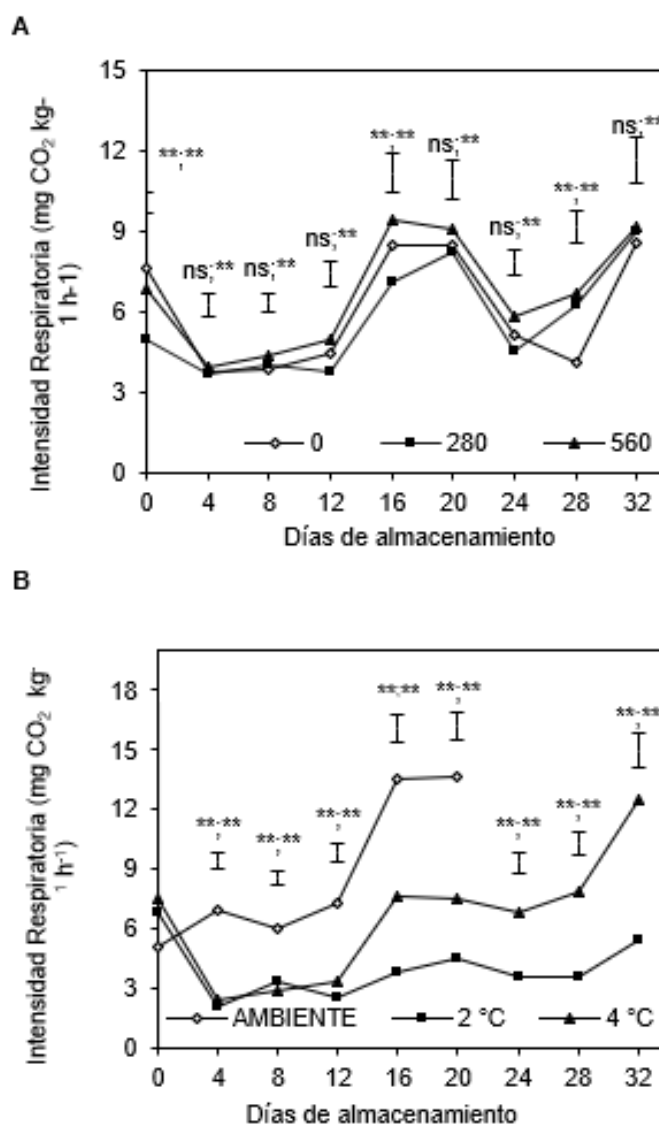


Figura 3. Efecto de A) dosis de 1-MCP, y B) temperaturas de almacenamiento sobre la intensidad respiratoria frutos de lulo en poscosecha.



La IR de los frutos de lulo presentó diferencias significativas para las temperaturas evaluadas. Los valores más bajos de IR se obtuvieron en los frutos refrigerados a 2 °C, seguidos por los almacenados a 4 °C y a temperatura ambiente (Figura 3B). La refrigeración disminuyó la IR de los frutos de lulo, similar a lo encontrado en tomate *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) (Nkolisa *et al.*, 2018), arazá *Eugenia stipitata* McVaugh (Myrtaceae) (Carriello *et al.*, 2011) y melón *Cucumis melo* L. (Cucurbitaceae) (Wu *et al.*, 2020).

Se puede apreciar que la IR permaneció constante en todas las temperaturas hasta los 12 ddc y que a partir de los 16 ddc, se incrementó levemente. Luego, hacia los 28 ddc, los frutos refrigerados a 2 y 4 °C presentaron un fuerte aumento de la IR, comportamiento en el tiempo en el cual la IR de los frutos aumentan tanto en tratamientos control como en tratamientos refrigerados se ha reportado en tomate (Nkolisa *et al.*, 2018) y banano *Musa* sp. (Musaceae) (Pongprasert and Srilaong, 2014).

### Parámetros de color

Los frutos de lulo presentaron diferencias significativas en los parámetros de  $a^*$  e índice de color (IC) todos los días de medición para las dosis de 1-MCP, a excepción del día 8 de medición. El parámetro L presentó diferencias significativas excepto a los 8 y 12 ddc para las dosis de 1-MCP mientras que  $b^*$  presentó diferencias significativas a los 4, 12, 16 y 24 ddc. Los parámetros  $a^*$  e IC tuvieron diferencias significativas solo a los 4, 12, 16 y 20 ddc para las temperaturas evaluadas (cuadro 1). Los valores de  $L^*$  mostraron diferencias significativas en toda la fase poscosecha a excepción de los días 8 y 16.

Los frutos de lulo almacenados a temperatura ambiente presentaron un L promedio de  $57,2 \pm 0,35$  durante el periodo poscosecha, el cual descendió desde los 8 ddc, presentando un leve aumento hacia los 20 ddc cuando perdieron la calidad de consumo. Para los frutos refrigerados a 2 y 4 °C, los valores de L comenzaron a descender a los 12 y 28 ddc, respectivamente, por lo que las bajas temperaturas lograron conservar la luminosidad de los frutos de lulo, similar a lo ocurrido en mango (Salazar *et al.*, 2017), descenso es atribuido a procesos de oxidación, pérdida de humedad y pardeamiento, que hace que los frutos se tornen oscuros (Alos *et al.*, 2019). Los frutos de lulo con aplicación de 1-MCP mostraron valores superiores de L respecto a los no tratados durante toda la poscosecha a excepción del día 16, lo que deja entrever el efecto del 1-MCP en el mantenimiento del color y tonalidad de los frutos, similar a lo encontrado en durazno por Du *et al.* (2020).

Los frutos de lulo sometidos a 1-MCP mostraron a lo largo de la poscosecha valores más altos de  $a^*$  que los no tratados (Cuadro 1), indicando que, una vez los frutos alcanzaron una coloración más rojiza, esta se mantuvo por más tiempo debido al efecto del 1-MCP, contrario a lo encontrado en durazno (Du *et al.*, 2020). Así mismo, los frutos de lulo almacenados al ambiente presentaron valores más altos de  $a^*$  que los refrigerados, lo que concuerda con lo reportado por Gao *et al.* (2019) quienes encontraron que los frutos refrigerados presentan menos cambios en el color durante el almacenamiento.

Los valores de  $b^*$  en los frutos de lulo fueron más bajos para la dosis de 280 que para la dosis de 560  $\mu\text{g L}^{-1}$  de 1-MCP y el testigo, similar a lo encontrado en duraznos, en donde el tratamiento control mostró los mayores promedios de  $b^*$  (Du *et al.*, 2020). Así mismo, los frutos almacenados a temperatura ambiente mostraron valores más bajos de  $b^*$ , lo que indica que la refrigeración evitó la degradación del color y la pérdida de calidad, al mantener por más tiempo la coloración amarilla, similar a lo encontrado en naranja *Citrus sinensis* L. (Rutaceae) por Gao *et al.* (2019).

El IC aumentó hasta los 16 ddc y luego permaneció estable en los frutos con aplicación de 1-MCP, mientras que en los no tratados el IC disminuyó lentamente y de forma significativa. Al respecto, se puede mencionar que la intensidad de los colores oscuros conforme aumentó el periodo poscosecha, predominó cada vez más sobre los colores claros, y luego esta relación se mantuvo constante. Del mismo modo, se confirma que el 1-MCP favorece la calidad del color en los frutos de lulo, así como también se ha reportado en durazno *Prunus persica*

(Rosaceae) Du *et al.*, 2020). Los frutos refrigerados a 2 y 4 °C mostraron un IC más bajo que los almacenados al ambiente, lo que sugiere que la refrigeración retrasa el cambio de color en la poscosecha.

**Cuadro 1.** Efectos de las dosis de 1-MCP y la temperatura de almacenamiento sobre los parámetros del color en frutos de lulo.

Parámetros	ddc	Dosis de 1-MCP ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )			Temperatura de almacenamiento ( $^{\circ}\text{C}$ )		
		0	280	560	2	4	18
L	0	54,9b;A	56,6ab;A	57,6a;A	55,7b;A	58,1a;A	55,2b;B
	4	56,6b;A	58,7a;A	58,8a;A	56,4b;A	58,8a;A	58,8a;A
	8	57,0a;A	57,9a;A	58,5a;A	56,8a;A	58,3a;A	58,2a;A
	12	57,5a;A	57,7a;A	58,3a;A	57,2b;A	58,4a;A	57,9ab;A
	16	58,2a;A	56,0b;A	57,3ab;A	56,2a;A	57,4a;A	57,9a;A
	20	57,2b;A	57,8ab;A	58,8a;A	56,6b;A	58,2a;A	59a;A
	24	56,4b;A	56,7ab;A	58,0a;A	56b;A	58,1a;A	nd
	28	56,2b;A	57,1b;A	58,6a;A	56,1b;A	58,5a;A	nd
a*	0	5,4b;C	13,3a;B	12,6a;B	12,3a;B	11,8a;B	7,2b;B
	4	14,9b;BC	23,9a;A	20,5a;AB	17,5a;AB	20,3a;A	21,4a;A
	8	22,0a;A	26,2a;A	25,5a;A	24,1a;A	24,8a;A	24,9a;A
	12	19,9b;AB	26,5a;A	23,6ab;A	22,6a;A	23,3a;A	24,0a;A
	16	20,8b;AB	26,6a;A	24,8ab;A	21,4b;A	23,8ab;A	27,0a;A
	20	19,8b;AB	25,7a;A	25,5a;A	20,9b;A	23,2b;A	26,9a;A
	24	16,5b;AB	24,7a;A	25,2a;A	20,9a;A	23,4a;A	nd
	28	19,6b;AB	24,4a;A	26,4a;A	23,2a;A	23,7a;A	nd
b*	0	46,4a;C	47,3a;AB	47,3a;B	46,0a;D	48,1a;BC	46,9a;AB
	4	50,7b;A	50,3b;A	52,9a;A	51,9a;A	53,3a;A	48,7b;A
	8	48,4a;ABC	46,2a;AB	48,1a;AB	48,5a;ABCD	49,7a;ABC	44,6b;AB
	12	49,6ab;AB	48,1b;A	51,3a;AB	50,3a;AB	52,5a;AB	46,3b;AB
	16	50,4a;A	45,0b;AB	48,0ab;AB	49,8a;ABC	50,0a;ABC	43,6b;B
	20	48,6a;ABC	47,3a;AB	49,3a;AB	49,1a;ABCD	49,8a;ABC	46,3b;AB
	24	49,7ab;ABC	48,6b;AB	50,4a;AB	49,1a;ABCD	50,0a;ABC	nd
	28	47,5a;BC	44,9a;B	47,8a;B	46,5a;CD	47,0a;C	nd
IC	0	2,1b;B	5,0a;B	4,6ab;B	4,8a;C	4,2a;B	2,8b;C
	4	5,2b;A	8,1a;A	6,6a;AB	6,0a;BC	6,5a;AB	7,5a;B
	8	8,0a;A	9,8a;A	9,1a;A	8,7a;A	8,6a;A	9,6a;AB
	12	7,0b;A	9,5a;A	7,9ab;A	7,9a;AB	7,6a;A	9,0a;AB
	16	7,1b;A	10,6a;A	9,0ab;A	7,6b;AB	8,3b;A	10,7a;A
	20	7,1b;A	9,4a;A	8,8a;A	7,5b;AB	8,0b;A	9,8a;AB
	24	5,9b;A	9,0a;A	8,6a;A	7,6a;AB	8,1a;A	nd
	28	7,3b;A	9,5a;A	9,4a;A	8,9a;A	8,6a;A	nd
32	6,6b;A	9,5a;A	9,0a;A	8,5a;AB	8,2a;A	nd	

ddc: días después de cosecha; L: Luminosidad; a\*: rango de verde a rojo; b\*: rango de azul a amarillo; IC: índice de color. nd: sin datos debido a la pérdida de calidad organoléptica de los frutos. Promedios con letras minúsculas diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre niveles del factor; letras mayúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas en el tiempo para cada factor de acuerdo con la prueba de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

## pH

No hubo diferencias significativas en el pH entre dosis de 1-MCP, pero sí entre temperaturas de almacenamiento a los 8, 16 y 32 ddc (Cuadro 2). A los 8 y 16 ddc, los frutos a temperatura ambiente presentaron mayores valores de pH, que los almacenados a 4 y 2 °C. A los 32 ddc, los frutos almacenados al ambiente habían perdido la calidad de consumo, mientras que los frutos a 4 °C mostraron un pH mayor en un 1,7 %, a los refrigerados a 2 °C.

**Cuadro 2.** Efectos de las dosis de 1-MCP y la temperatura de almacenamiento sobre los parámetros fisicoquímicos medidos en frutos de lulo.

Parámetros	ddc	Dosis de 1-MCP (µg L <sup>-1</sup> )			Temperatura de almacenamiento (°C)		
		0	280	560	2	4	14
pH	0	2,76a;B ;A	2,68b;D	2,66b;C	2,73a;D	2,69b;D	2,69b;B
	8	2,86a;B	2,87a;AB	2,86a;AB	2,87b;B	2,81c;C	2,91a;A
	16	2,84a;B	2,84a;DC	2,83a;B	2,81b;C	2,79b;C	2,90a;A
	24	2,90a;AB	2,90a;BC	2,88a;A	2,88a;B	2,91a;B	2,90a;A;*
	32	2,95a;A	2,98a;A	2,95a;A	2,93b;A	2,98a;A	nd
ATT	0	1,12a;A	1,10a;B	1,03a;A	1,06a;A	1,12a;AB	1,06a;B
	8	1,05a;A	0,98a;AB	1,14a;A	1,28a;A	0,91b;B	0,98b;B
	16	1,43a;A	1,31ab;B	1,18b;A	1,17b;A	1,28ab;A	1,47a;A
	24	1,27ab;A	1,35a;A	1,09b;A	1,37a;A	1,10b;AB	1,24ab;AB;*
	32	1,27a;A	1,32a;AB	1,14a;A	1,26a;A	1,23a;A	nd
SST	0	10,19a;AB	9,56b;AB	9,54b;B	9,63b;B	10,17a;AB	9,49b;B
	8	10,75a;A	10,59a;A	10,82a;A	11,13a;A	10,46a;A	10,57a;A
	16	9,38a;B	9,98a;AB	9,75a;B	9,35a;B	9,56a;ABC	10,20a;AB
	24	9,63a;AB	9,15a;B	9,15a;B	8,99a;B	9,18a;BC	9,78a;AB;*
	32	8,51b;B	9,23a;AB	9,17a;B	8,99a;B	8,95a;C	nd
IM	0	9,02a;AB	8,69a;a	9,26a;A	9,08a;AB	9,08a;B	8,95a;AB
	8	10,19a;A	10,81a;A	9,49a;A	8,7b;A	11,49a;A	10,71a;A
	16	6,56a;B	7,62a;A	8,26a;A	7,99a;AB	7,47a;B	6,94a;B
	24	7,58ab;AB	6,78b;B	8,39a;A	6,56b;B	8,35a;B	7,89a;B;*
	32	6,7a;B	6,99a;AB	8,04a;A	7,13a;AB	7,28a;B	nd

ddc: días después de cosecha; pH: potencial de hidrogeno; ATT: acidez total titulable; SST: sólidos solubles totales; IM: índice de madurez. nd: sin datos debido a la pérdida de calidad organoléptica de los frutos. Promedios con letras minúsculas diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre niveles del factor; letras mayúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas en el tiempo para cada factor de acuerdo con la prueba de Duncan ( $P \leq 0,05$ ). \* El valor de esta casilla fue medido en el día 20 para el nivel de este factor.

Los valores de pH se incrementaron hasta los 8 ddc, luego presentaron una leve disminución hasta los 16 ddc y, a partir de este momento, aumentó significativamente hasta el final del almacenamiento. Este comportamiento fue inverso al de la ATT durante todo el periodo de almacenamiento, similar a lo encontrado por Andrade *et al.* (2018). Es sabido que a medida que los frutos maduran, los ácidos orgánicos disminuyen ya que son sustratos importantes en el metabolismo respiratorio (Vallarino and Osorio, 2018): en consecuencia, si la ATT disminuye, el pH aumenta en los frutos de lulo.

### Sólidos solubles totales (SST)

Los SST solo mostraron diferencias significativas para las dosis de 1-MCP a los 32 ddc, en donde, los frutos con aplicación de 280 y 560  $\mu\text{g L}^{-1}$  de 1-MCP presentaron mayor cantidad de SST, con 8,4 y 7,7% respectivamente, comparados con los almacenados a temperatura ambiente. Los frutos de lulo durante la maduración aumentan los SST, situación que incluso continua en poscosecha (Ochoa *et al.*, 2016), para luego disminuir durante la senescencia (Panigua *et al.*, 2013), este descenso es atribuido a que la respiración tiende a aumentar durante el almacenamiento, en donde algunos azúcares son usados como sustrato en varios procesos metabólicos dentro de los cuales se destaca la glicólisis y la reconversión a sacarosa (Saltveit, 2019) similar a lo encontrado en arándano *Vaccinium* spp. Berkeley (Ericaceae) (Xu and Liu, 2017) y durazno (Cai *et al.*, 2018), frutos en los cuales, el 1-MCP retrasó la disminución en el contenido de SST, al igual que en lulo.

### Acidez total titulable (ATT)

La ATT de los frutos de lulo presentó diferencias significativas entre las dosis de 1-MCP (a los 16 y 24 ddc), las diferentes temperaturas evaluadas (a los 8, 16 y 24 ddc) y altamente significativas para la interacción ( $p \leq 0,0280$ ). Los frutos sin aplicación de 1-MCP mostraron una ATT 9,1 y 21,1 % mayor que los tratados con 280 y 560  $\mu\text{g L}^{-1}$  de 1-MCP a los 16 ddc (Cuadro 2). A los 8 ddc, los frutos refrigerados a 2 °C tuvieron mayor ATT que los almacenados a 4 y 14 °C, mientras que a los 16 ddc, los frutos a 14 °C mostraron mayor ATT, luego de este día, los valores disminuyeron. Este aumento de la ATT en los frutos al inicio de la poscosecha es atribuido a un incremento en la producción de ácido carbónico en el ambiente, producto del aumento en la respiración (Salazar *et al.*, 2017), mientras que la disminución posterior a los 16 ddc ocurre probablemente por el aumento del metabolismo en los frutos almacenados al ambiente, lo que resulta en la pérdida de ácidos consumidos en el ciclo del ácido tricarbóxico, el cual genera energía para la restauración celular (Vallarino and Osorio, 2018), comportamiento similar al encontrado en arándanos (Xu and Liu, 2017).

### Índice de madurez (IM)

El IM de los frutos mostró diferencias significativas entre las dosis de 1-MCP (solo a los 24 ddc), temperaturas de almacenamiento (a los 8 y 24 ddc) y la interacción ( $p \leq 0,0053$ ). El IM de los frutos sometidos a 560  $\mu\text{g L}^{-1}$  de 1-MCP obtuvo a los 24 ddc los mayores valores con un 28,3 y 15,1 % más que los frutos a los cuales se les aplicó 280  $\mu\text{g L}^{-1}$  de 1-MCP y al testigo, respectivamente. A los 8 y 24 ddc, el IM de los frutos refrigerados a 2 °C fue menor que el de los almacenados a 4 °C y al ambiente.

Conservar los frutos a 2 °C retardó la maduración debido al efecto que produce la temperatura al suprimir la actividad fisiológica y ralentizar los procesos metabólicos (An *et al.*, 2019). El comportamiento del IM a lo largo de todo el periodo de almacenamiento de los frutos de lulo presentó los mayores valores en todos los tratamientos a los 8 ddc, lo que probablemente ocurre debido al aumento de la IR (Saltveit, 2019).

## CONCLUSIONES

Los frutos refrigerados a 2 y 4 °C tuvieron menor PM e IR que los almacenados a temperatura ambiente, los cuales presentaron una menor vida poscosecha. EL 1-MCP no afectó la firmeza ni la PM de los frutos, por lo que se recomienda evaluar diferentes tiempos de inmersión y formas de aplicación en los frutos de lulo. Los frutos refrigerados mostraron un IC más bajo que los almacenados al ambiente. A medida que la ATT disminuye, el pH aumenta en los frutos de lulo. La refrigeración y el 1-MCP ayudaron a mantener las coloraciones amarillas y rojizas por más tiempo durante la poscosecha. Se recomienda conservar los frutos de lulo a 4 °C con una dosis de 560  $\mu\text{g L}^{-1}$  de 1-MCP.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Dirección de investigaciones (DIN) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por la financiación del proyecto SGI-2051 a través de la convocatoria DIN 019-2016, Estímulo económico para jóvenes Investigadores UPTC.

## DESCARGOS DE RESPONSABILIDAD

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento quienes están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

## REFERENCIAS

- ALMANZA-MERCHÁN, PEDRO; VELANDIA, JULIAN-DAVID; TOVAR, YEILY-PAOLA. Propiedades fisicoquímicas durante el crecimiento y desarrollo de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, v. 10, n. 2, 2017, p. 222-231.  
[doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5065](https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5065)
- ALÓS, ENRIQUETA; RODRIGO, MARIA-JESUS; ZACARIAS, LORENZO. Ripening and senescence. In: *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*, 2019, p. 131-155.  
[doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00007-5](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00007-5)
- AN, XIUJUAN; XU, YIN; JIANG, LI; HUAN, CHEN; YU, ZHIFANG. Effects of postharvest temperature on apoptosis-related enzyme activity and gene expression in peach fruits (*Prunus persica* L. cv. Xiahui 8). *Scientia Horticulturae*, v. 245, 2019, p. 178-184.  
[doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.020](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.020)
- ANDRADE-CUVI, MARIA-JOSE; GUIJARRO-FUERTES, MICHELLE; JARA-GÓMEZ, SAMANTHA; NARVÁEZ-LÓPEZ, PAMELA; MORENO-GUERRERO, CARLOTA; CONCELLÓN, ANALÍA. Efecto del tratamiento con ozono gaseoso sobre la calidad fisicoquímica y capacidad antioxidante de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, v. 19, n. 2, 2018, p. 167-182.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81357541004>
- BALAGUERA-LÓPEZ, HELBER-ENRIQUE; MARTÍNEZ-CÁRDENAS, CLAUDIA A.; HERRERA-ARÉVALO, ANÍBAL. Comportamiento poscosecha de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.): Efecto de diferentes dosis y tiempos de exposición al 1-Metilciclopropeno. *Bioagro*, v. 28, n. 1, 2016, p. 021-028.
- BRASIL, ISABELA; SIDDIQUI, MOHAMMED-WASIM. Postharvest Quality of Fruits and Vegetables: An Overview. In *Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable Quality*, 2018, p. 1-40.  
[doi.org/10.1016/B978-0-12-809807-3.00001-9](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809807-3.00001-9)
- CAI, HONGFANG; AN, XIUJUAN; HAN, SHUAI; JIANG, LI; YU, MINGLIANG; MA, RUIJUAN; YU, ZHIFANG. Effect of 1-MCP on the production of volatiles and biosynthesis-related gene expression in peach fruit during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, v. 141, 2018, p. 50-57.  
[doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.03.003](https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.03.003)
- CARRILLO, M.P.; HERNÁNDEZ, M.S.; BARRERA, J.; MARTÍNEZ, O.; FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J.P. 1-Methylcyclopropene delays arazá ripening and improves postharvest fruit quality. *LWT - Food Science and Technology*, v. 44, 2011, p. 250-255.  
[doi.org/10.1016/j.lwt.2010.05.029](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.05.029)
- DÍAZ-PÉREZ, JUAN-CARLOS. Transpiration. In: *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*. Queretaro (México): Elsevier 2019, p. 157-173.  
[doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00008-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00008-7)

- DU, MEIJUN; JIA, XIAOYU; LI, JIANGKUO; LI, XIHONG; JIANG, JIANAN; LI, HAIDENG; ZHENG, YANLI; LIU, ZHENYUAN; ZHANG, XIANTAO; FAN, JIANGMIN. Regulation effects of 1-MCP combined with flow microcirculation of sterilizing medium on peach shelf quality. *Scientia Horticulturae*, v. 260, 2020, p. 108867.  
doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108867
- FORERO, NATHALIA; GUTIÉRREZ, SEBASTIÁN; SANDOVAL, RAFAEL; CAMACHO, JESÚS; MENESES, MIGUEL. Evaluación poscosecha de las características del lulo (*Solanum quitoense*) cubierto con hoja de plátano. *Temas Agrarios*, v. 19, n. 1, 2014, p. 73-85.  
doi.org/10.21897/rta.v19i1.726
- GAO, YANG; LIU, YANG; KAN, CHAONAN; CHEN, MING; CHEN, JINYIN. Changes of peel color and fruit quality in navel orange fruits under different storage methods. *Scientia Horticulturae*, v. 256, 2019, p. 108522.  
doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.049
- GUILLÉN, F.; CASTILLO, S.; ZAPATA, P.J.; MARTÍNEZ-ROMERO, D.; SERRANO, M.; VALERO, D. Efficacy of 1-MCP treatment in tomato fruit 1. Duration and concentration of 1-MCP treatment to gain an effective delay of postharvest ripening. *Postharvest Biology and Technology*, v. 43, 2011, p. 23-27.  
doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.07.004
- HOFMAN, P.J.; JOBIN-DECOR, M.; MEIBURG, G.F.; MACNISH, A.J.; JOYCE D.C. Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya fruit to 1-methylcyclopropene. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v. 41, n. 4, 2001, p. 567-572.  
doi: 10.1071/EA00152.
- HU, BINGXUE; SUN, DA WEN; PU, HONGBIN; WEI, QINGYI. Recent advances in detecting and regulating ethylene concentrations for shelf-life extension and maturity control of fruit: A review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 91, 2019, p. 66-82.  
doi.org/10.1016/j.tifs.2019.06.010
- KIM, K.; YOO, J.; LEE, J.; WIN, N.M.; RYU, S.; HAN, J.S.; KANG, I.K. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and polyethylene (PE) film liner treatments on the fruit quality of cold-stored 'Gamhong' apples. *Horticulture Environment and Biotechnology*, v. 59, n. 1, 2018, p. 51-57.  
doi.org/10.1007/s13580-018-0006-2
- LI, FUJUN; ZHANG, XINHUA; SONG, BAICHENG; LI, JIAZHENG; SHANG, ZHONGLIN; GUAN, JUNFENG. Combined effects of 1-MCP and MAP on the fruit quality of pear (*Pyrus bretschneideri* Reld cv. Laiyang) during cold storage. *Scientia Horticulturae*, v. 164, 2013, p. 544-551.  
doi.org/10.1016/j.scienta.2013.10.018
- LUFU, ROBERT; AMBAW, ALEMAYEHU; OPARA, UMEZURUIKE-LINUS. The contribution of transpiration and respiration processes in the mass loss of pomegranate fruit (cv. Wonderful). *Postharvest Biology and Technology*, v. 157, 2019, p. 110982.  
doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.110982
- MONTEIRO-MATARAZZO, PEDRO-HENRIQUE; DE SIQUEIRA, DALMO-LOPES; CHAMHUM-SALOMAO, LUIZ-CARLOS; PEREIRA-DA SILVA, DANIELLE-FABÍOLA; CECON, PAULO-ROBERTO. Desenvolvimento dos frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) em Viçosa-MG. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 35, n. 1, 2013, p. 131-142.  
doi.org/10.1590/S0100-29452013000100016
- NKOLISA, NTOMBIZANDILE; MAGWAZA, LEMBE-SAMUKELO; WORKNEH, TILAHUN SEYOUM; CHIMPANGO, ANNIE. Evaluating evaporative cooling system as an energy- free and cost effective method for postharvest storage of tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) for smallholder farmers. *Scientia Horticulturae*, v. 241, 2018, p. 131-143.  
doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.079
- OCHOA-VARGAS, LINA; BALAGUERA-LÓPEZ, HELBER-ENRIQUE; ARDILA-ROA, GUSTAVO; PINZÓN-SANDOVAL, ELBERTH-HERNANDO; ÁLVAREZ-HERRERA, JAVIER-GIOVANNI. Crecimiento y desarrollo

- del fruto de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el municipio de San Antonio del Tequendama (Colombia). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, v. 17, n. 3, 2016, p. 347-359.  
doi.org/10.21930/rcta.vol17\_num3\_art:512
- OSUNA-GARCÍA, JORGE A.; NOLASCO-GONZÁLEZ, YOLANDA; PÉREZ-BARRAZA, MARIA-HILDA; GÓMEZ-JAIMES, RAFAEL; URÍAS-LÓPEZ, MARIO A. 1-metilciclopropeno (1-MCP) acuoso para retrasar maduración en frutos de mango 'Keitt' con tratamiento hidrotérmico cuarentenario. *Revista Fitotecnia Mexicana*, v. 40, n. 2, 2017, p. 199-209.  
doi.org/10.35196/rfm.2017.2.199-209
- PANIAGUA, A.C.; EAST, A.R.; HINDMARSH, J.P.; HEYES, J.A. Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry. *Postharvest Biology and Technology*, v. 79, 2013, p. 13-19.  
doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.12.016
- PONGPRASERT, N.; SRILAONG, V. A novel technique using 1-MCP microbubbles for delaying postharvest ripening of banana fruit. *Postharvest Biology and Technology*, v. 95, 2014, p. 42-45.  
doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.04.003
- RAMÍREZ, FERNANDO; KALLARACKAL, JOSE; DAVENPORT, THOMAS. Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) reproductive physiology: A review. *Scientia Horticulturae*, v. 238, 2018, p. 163-176.  
doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.046
- RED DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN DEL SECTOR AGROPECUARIO (AGRONET). Sistema de estadísticas agropecuarias. Producción nacional por producto: Lulo. 2020. <http://www.agronet.gov.co> [consultado Julio 2 de 2020].
- ROZO-ROMERO, LADY-XIMENA; ÁLVAREZ-HERRERA, JAVIER-GIOVANNI; BALAGUERA-LÓPEZ, HELBER-ENRIQUE. Ethylene and changes during ripening in 'Horvin' plum (*Prunus salicina* Lindl.) fruits. *Agronomía Colombiana*, v. 33, n. 2, 2015, p. 228-237.  
doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n2.49856
- SALAZAR, N.A.; ALVAREZ, C.; ORREGO, C.E. Optimization of freezing parameters for freeze-drying mango (*Mangifera indica* L.) slices. *Drying Technology*, v. 36, n. 2, 2017, p. 192-204.  
doi.org/10.1080/07373937.2017.1315431
- SALTVEIT, MIKAL E. Respiratory metabolism. In: *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*, 2019, p. 73-91.  
doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00004-X
- TESSMER, M.A.; APPEZZATO-DA GLÓRIA, B.; KLUGE, R.A. Evaluation of storage temperatures to astringency 'Giombo' persimmon: storage at 1 °C combined with 1-MCP is recommended to alleviate chilling injury. *Scientia Horticulturae*, v. 257, 2019, p. 108675.  
doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108675
- VALLARINO, JOSE. G.; OSORIO, SONIA. Organic acids. In: *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*. 2018. p. 207-224.  
doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00010-5
- VARGAS-TORRES, APOLONIO; BECERRA-LOZA, ANNEL S.; SAYAGO-AYERDI, SONIA G.; PALMA-RODRÍGUEZ, HEIDI-MARÍA; GARCÍA-MAGAÑA, MARÍA-DE LOURDES; MONTALVO-GONZÁLEZ, EFIGENIA. Combined effect of the application of 1-MCP and different edible coatings on the fruit quality of jackfruit bulbs (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) during cold storage. *Scientia Horticulturae*, v. 214, 2017, p. 221-227.  
doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.045
- WU, ZHANGFEI; TU, MINGMEI; YANG, XINGPING; XU, JINHUA; YU, ZHIFANG. Effect of cutting and storage temperature on sucrose and organic acids metabolism in postharvest melon fruit. *Postharvest Biology and Technology*, v. 161, 2020,  
doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111081
- XU, FANGXU; LIU, SHIYANG. Control of postharvest quality in blueberry fruit by combined 1-methylcyclopropene (1-MCP) and UV-C Irradiation. *Food and Bioprocess Technology*, v. 10, n. 9, 2017, 1695-1703.  
doi.org/10.1007/s11947-017-1935-y

YANG, X.; ZHANG, X.; FU, M.; CHEN, Q.; MUZAMMIL, J.M. Chlorine dioxide fumigation generated by a solid releasing agent enhanced the efficiency of 1-MCP treatment on the storage quality of strawberry. *Journal of Food Science and Technology*, v. 55, n. 6, 2018, p. 2003-2010.  
[doi.org/10.1007/s13197-018-3114-1](https://doi.org/10.1007/s13197-018-3114-1)

ZHAO, Q.; JIN, M.; GUO, L.; PEI, H.; NAN, Y.; RAO, J. Modified atmosphere packaging and 1-methylcyclopropene alleviate chilling injury of 'Youhou' sweet persimmon during cold storage. *Food Packaging and Shelf Life*, v. 24, 2020, 100479.  
[doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100479](https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100479).