

COMPORTAMIENTO POSCOSECHA DE FRUTOS DE UCHUVA (*Physalis peruviana* L.): EFECTO DE DIFERENTES DOSIS Y TIEMPOS DE EXPOSICIÓN AL 1-METILCICLOPROPENO

Helber E. Balaguera-López^{1,2}, Claudia A. Martínez-Cárdenas³ y
Aníbal Herrera-Arévalo¹

RESUMEN

El cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.) es una alternativa de producción para la economía de algunos países tropicales. El fruto es climatérico y se considera altamente perecedero con corta vida poscosecha. El objetivo fue evaluar el efecto de diferentes dosis y tiempos de exposición al 1-metilciclopropeno (1-MCP) sobre el comportamiento poscosecha de frutos de uchuva. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial de tratamientos de 3x3+1, donde el primer factor consistió en las dosis de 1-MCP (0,3; 1,0 y 3,0 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$) y el segundo factor correspondió al tiempo de tratamiento con 1-MCP (2, 12 y 24 h), más un testigo absoluto. Los frutos fueron almacenados a temperatura ambiente (16 °C) durante 15 días. Los resultados indicaron que a medida que se incrementó la dosis y el tiempo de exposición al 1-MCP, el efecto sobre la maduración de los frutos de uchuva fue mayor. La aplicación de 3 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de 1-MCP durante 24 h generó significativamente una menor producción de etileno, menor concentración interna de etileno, menor pérdida de firmeza, de peso y de acidez total titulable, en comparación con frutos testigo. El mencionado tratamiento también produjo menores cambios en el índice de color y en los sólidos solubles totales. Se concluye que el 1-MCP representa en una herramienta útil con potencial para conservar la calidad de los frutos de uchuva durante la etapa poscosecha.

Palabras clave adicionales: Inhibidor de la acción del etileno, fruto perecedero, maduración, producción de etileno

ABSTRACT

Postharvest behavior of uchuva fruits (*Physalis peruviana* L.): Effect of different doses and exposure times at 1-Methylcyclopropene

The culture of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) is a production alternative for the economy in some tropical countries. The fruit is climacteric and highly perishable with short postharvest life. The objective of this work was to evaluate the effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) at different doses and exposure times on the postharvest behavior of the fruit. A completely randomized design with treatments in a factorial arrangement 3x3 + 1 was used, where the first factor was the dose of 1-MCP (0.3, 1.0, and 3.0 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$) and the second factor the exposure time to the product (2, 12, and 24 h), plus a control (fruits without treatments). The treated fruits were stored at room temperature (16 °C) for 15 days and the results showed that as the dose and duration of exposure to 1-MCP increased the effect on ripening of cape gooseberry fruits was greater. The application of 3 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ for 24 h resulted in a significantly decrease of ethylene production and internal ethylene concentration, less loss of firmness and weight, and lower total acidity compared to control fruits. This same treatment also produced minor changes in color index and total soluble solids. We conclude that 1-MCP represents a useful tool with potential for preserving quality of cape gooseberry fruits during postharvest.

Additional key words: Ethylene production, inhibitor of ethylene action, perishable fruit, ripening

INTRODUCCIÓN

El cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.),

es una alternativa de producción para la economía de muchos países, debido a que presenta buenas perspectivas e interés en los mercados

Recibido: Junio 29, 2015

Aceptado: Diciembre 11, 2015

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Campus Universitario. Bogotá, Colombia. e-mail: hebalagueral@unal.edu.co, aoherreraa@unal.edu.co

² Grupo de Investigaciones Agrícolas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Campus Universitario Tunja, Colombia

³ Escuela de Ciencias Agrícolas y Pecuarias y del Medio Ambiente, Universidad Abierta y a Distancia, Campus Universitario. Bogotá. e-mail: andreamarca26@gmail.com

internacionales, lo cual se deriva de las características nutricionales y propiedades medicinales que posee el fruto (Gastelum, 2012), lo cual le ha permitido ser incluida en la lista de los llamados “superfrutos” (Superfruit, 2011; Fischer et al., 2011). Para el año 2013, Colombia presentó una producción de 12.873 t, en una área de 880 ha, con un rendimiento de 14,6 t·ha⁻¹ (Agronet, 2014). El ecotipo colombiano ha sobresalido en el mercado mundial por su dulce sabor, aroma y color brillante característico (Galvis et al., 2005), que son comercializados en mercados nacionales y también exportados a Norte América y Europa (Fischer et al., 2011).

El etileno tiene un papel doble en la poscosecha. Por un lado ocasiona que los frutos adquieran características organolépticas óptimas para su consumo, pero también es responsable de la senescencia de los tejidos, generando efectos desfavorables en la calidad (Bapat et al., 2010). La uchuva es un fruto con un comportamiento climatérico (Gutiérrez et al., 2008) que presenta aumento en la síntesis de etileno durante el climaterio (Valdenegro et al., 2012; Gutiérrez et al., 2008), siendo esta hormona la posible responsable de la alta perecibilidad que presenta este fruto. Una de las tecnologías más eficientes para controlar la acción del etileno es el uso del 1-metilciclopropeno (1-MCP). El 1-MCP es una olefina cíclica que ocupa los receptores del etileno de manera irreversible, bloqueando la cascada de transducción de señales que conllevan a la expresión de genes relacionados con la respuesta al etileno (In et al., 2013). La afinidad del 1-MCP por los receptores es diez veces mayor a la del etileno y actúa a más bajas concentraciones (Blankenship y Dole, 2003). A temperatura y presión estándar es un gas (Blankenship y Dole, 2003) que no presenta olor, no es tóxico, además es de fácil aplicación y altamente eficaz para proteger a muchas especies agrícolas de la acción del etileno, incluyendo, frutos, vegetales, flores cortadas y plantas en maceta (Serek et al., 2006; Watkins, 2006).

Se ha encontrado que el 1-MCP disminuye la producción de etileno (Choi et al., 2008; Cerqueira et al., 2009; Zhang et al., 2012) debido a que afecta su síntesis autocatalítica al disminuir la expresión de genes que codifican para las enzimas ACC sintasa y ACC oxidasa (Zhang et al., 2012; Yang et al., 2013). A su vez, el 1-MCP

también afecta la señalización del etileno, debido a que disminuye la expresión de genes que codifican para receptores de etileno (Yang et al., 2013). El 1-MCP puede retrasar la pérdida de firmeza (Choi et al., 2008; Villalobos et al., 2011). También se ha reportado que el 1-MCP puede disminuir el contenido de azúcares y degradación de ácidos orgánicos en diferentes frutos (Singh y Pal, 2008; Zhang et al., 2009; Deaquiz et al., 2014).

La concentración de 1-MCP necesaria para bloquear la acción del etileno varía de acuerdo con la especie, cultivar, estado de maduración, capacidad de producción de nuevos receptores, tiempo y temperatura de exposición (Watkins, 2006). Las dosis óptimas varían entre especies, pero Blankenship y Dole (2003) reportan diferentes concentraciones y temperaturas para la aplicación de 1-MCP, las cuales se encuentran entre 0,1 y 100 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ a 20-25 °C por 6 a 24 h. Sin embargo, la concentración recomendada para productos de uso comercial (EthylBloc y SmartFresh) está entre 100 y 500 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$, alrededor de 1000 veces mayor, probablemente debido a una alta posibilidad de pérdidas del 1-MCP (Serek et al., 2006). Con el propósito de alargar la vida útil de los frutos de uchuva, el objetivo de esta investigación fue evaluar su comportamiento poscosecha ante diferentes dosis y tiempos de exposición al 1-metilciclopropeno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se utilizaron frutos de uchuva ecotipo Colombia en el grado 3 de maduración según Icontec 4580 (Icontec, 1999) con base en el color, completamente sanos y con tamaño homogéneo, cuyas características fisicoquímicas, medidas al iniciar el experimento en laboratorio, fueron el índice de color (IC) = $0,58 \pm 0,2$; sólidos solubles totales (SST) = $14,15 \pm 0,3$ °Brix; acidez total titulable (ATT) = $2,98 \pm 0,1$ %. Los frutos fueron cosechados en un cultivo comercial en el municipio de Ventaquemada (departamento de Boyacá, Colombia). El experimento y los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de Poscosecha de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial de tratamientos de 3x3+1, donde el primer factor fueron las dosis de

1-MCP (0,3; 1 y 3 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$) y el segundo factor correspondió al tiempo de tratamiento con 1-MCP (2, 12 y 24 h), más un testigo absoluto; los 10 tratamientos tuvieron 4 repeticiones y las 40 UE estuvieron compuestas por 125 g de frutos empacados en cajas plásticas de polietileno tereftalato (PET). Los frutos fueron dejados a temperatura ambiente (16 °C) y humedad relativa del 70 % durante 15 días.

Semanalmente se hicieron mediciones del índice de color ($\text{IC}=1000 \times a^*/L^* \times b^*$), calculado a partir de parámetros del sistema CIELab L^* , a^* y b^* , para lo cual se realizaron tres lecturas de color en la zona ecuatorial de cada fruto con un colorímetro digital Minolta CR 410; firmeza del fruto (N): mediante la utilización de un texturómetro digital (Lloyd LS1.) con celda de carga de 1 KN, punzón cilíndrico de 3 mm y programa Nexygen plus; pérdida de peso (%) = $((P_1-P_2)/P_1) \times 100$, donde P_1 = peso de frutos a tiempo inicial y P_2 = peso de frutos a tiempo final; los sólidos solubles totales (SST) se obtuvieron a través de mediciones de grados Brix con un refractómetro digital (Hanna) de rango 0 a 85 % con precisión 0,1 °Brix; la acidez total titulable (ATT) se determinó con titulador automático Metrohm 916 Food Ti-Touch 120.

Para la producción de etileno ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) se pesaron aproximadamente 100 g de frutos de uchuva que fueron puestos en cámaras herméticas de vidrio de 500 cm^3 durante 1 hora, al cabo de este tiempo se extrajo una muestra de 0,3 mL de gas que luego fue inyectada en el cromatógrafo de gases (CG) Agilent Technologies 7890A (Agilent Technologies, Santa Clara, CA), equipado con un detector de ionización de llama (FID, por su siglas en inglés). Se utilizó una columna HP-PLOT (30 m x 0,55 mm x 40 μm). Las condiciones cromatográficas fueron las siguientes: temperatura del inyector de 70 °C, temperatura del horno de 50 °C y temperatura del detector FID de 250 °C. Se empleó helio como gas de arrastre a un flujo de 7,0 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ y los gases de combustión del detector FID fueron aire seco e hidrógeno con flujos de 300 y 40 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente. Para la cuantificación se realizó una curva de calibración con un patrón de etileno (AGA, Bogotá). Finalmente se cuantificó la concentración interna de etileno (CIE), para lo cual se tomó 1 mL de muestra del interior de los frutos e inmediatamente se inyectó en el

cromatógrafo de gases. La producción de etileno se midió cada dos días.

Se realizó un análisis de varianza factorial para determinar las diferencias estadísticas, luego se llevó a cabo la prueba de rango múltiple de Tukey utilizando el software SAS v. 9.2 (Cary, NC).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dado que el análisis de la varianza detectó la existencia de interacciones entre los dos factores bajo estudio, los resultados de las variables de poscosecha se presentan en cuadros de doble entrada (Cuadros 1 y 2).

Producción de etileno. Se observó una disminución en la producción de etileno de los 3 a los 6 días después de la cosecha (ddc), luego se presentó un aumento drástico a los 9 ddc, para luego descender hasta los 12 ddc. Se presentaron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$) desde los 3 a los 9 ddc. En general se observó que las dosis de 1 y 3 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de 1-MCP disminuyeron representativamente la producción de etileno durante todo el almacenamiento (Figura 1). Respecto a la concentración interna de etileno (CIE) se presentaron diferencias estadísticas en todos los puntos de muestreo. Se encontró que a mayor dosis de 1-MCP la CIE fue menor, por tanto, con 3 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ la CIE presentó los valores más bajos, y con 0,3 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de 1-MCP se obtuvo una CIE similar a la de los frutos testigo (Figura 1). Gutiérrez et al. (2008) también encontraron una disminución en la producción de etileno con aumento en la dosis de 1-MCP.

Similar a lo encontrado en uchuva, en frutos de ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl. cv. Tegan Blue), la aplicación de 1-MCP disminuyó la producción de etileno (Khan y Singh, 2007). Al respecto, se reporta que el 1-MCP disminuye la producción de etileno (Choi et al., 2008; Zhang et al., 2012), debido a que afecta su síntesis autocatalítica al disminuir la expresión de genes que codifican para las enzimas ACS y ACO (Yang et al., 2013; Singh et al., 2012).

Las respuestas de los frutos climatéricos al 1-MCP pueden ser muy variables; por ejemplo, aplicaciones antes del inicio de la maduración pueden resultar en una maduración incompleta o no adecuada, mientras que en otros frutos no se observan problemas. Por esta razón, se decidió seleccionar los frutos de uchuva en el estado de 3

de maduración, ya que en estados de maduración más avanzados, el 1-MCP puede no ser eficiente. Por ejemplo para banano y aguacate la aplicación de 1-MCP después del inicio de la maduración no tiene efecto favorable. Uno de los factores que influencia esto es la CIE de los frutos al momento de la aplicación (Huber et al., 2010). Zhang et al. (2009) proponen que un menor retraso de la maduración en tomate por 1-MCP se asoció con mayor CIE en el fruto en el momento de tratamiento. En frutos de uchuva, aunque hay respuesta al 1-MCP, el retraso en la maduración no es tan notorio como en frutos de tomate y aguacate, donde la producción de etileno se inhibe casi por completo (Choi et al., 2008). Esto puede ser debido al alto valor de CIE en el momento de la aplicación del 1-MCP (Figura 1), ya que según Serek et al. (2006), el etileno endógeno compite con el 1-MCP por los receptores. Resultados similares fueron encontrados en frutos de manzana (Jung y Watkins, 2014).

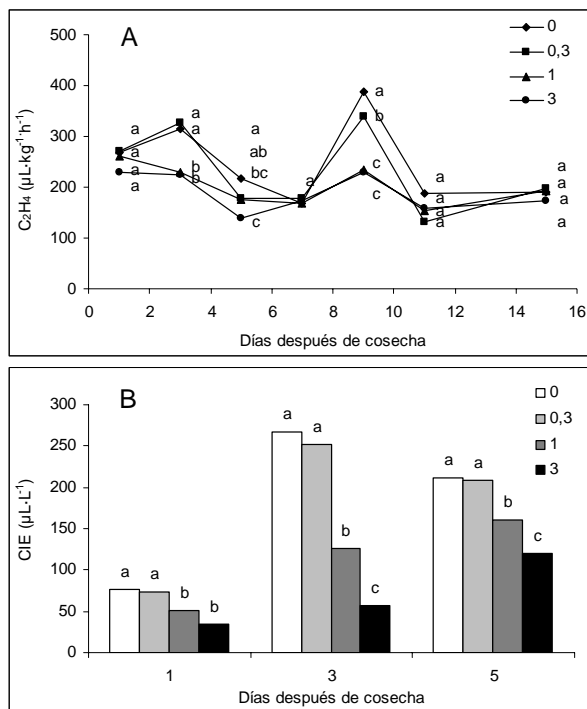


Figura 1. Efecto de diferentes dosis de 1-MCP sobre: A. Producción de etileno y B. concentración interna de etileno (CIE) de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante el almacenamiento. Promedios seguidos de letras diferentes en el mismo día de muestreo presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Por otra parte, los niveles de etileno encontrados en los frutos de uchuva son muy altos (entre 129,1 y 387,62 $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$), tal como lo reportan Trincheró et al. (1999). Esta característica puede ser un indicativo de la alta perecibilidad del fruto de uchuva y de la baja eficiencia del 1-MCP en bajas dosis y tiempos de exposición. Diferentes estudios indican que el etileno puede estar asociado a distintos procesos durante la maduración de los frutos de uchuva, como por ejemplo, el ablandamiento, la actividad antioxidante, el cambio de color, entre otros (Trincheró et al., 1999; Majumder y Mazumdar, 2002; Gutiérrez et al., 2008; Valdenegro et al., 2012). Por esta razón, varios procesos asociados con la maduración en los frutos de uchuva se ven afectados con la aplicación de 1-MCP.

Color de la epidermis. El IC aumentó en función del almacenamiento; sin embargo, este incremento fue significativamente mayor en los frutos testigo y frutos con 0,3 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ por 2 h, y menor con la aplicación de 3 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de 1-MCP durante 24 h (Cuadro 1). En los frutos de uchuva el cambio de color del fruto se debe a la degradación de clorofila y a la acumulación de carotenoides en plástidos (Trincheró et al., 1999). Como los valores de IC son positivos, el color del fruto se debe a la acumulación de carotenoides, principalmente β -caroteno (Fischer y Martínez, 1999). Además, el cambio de color en uchuva está relacionado con la presencia de etileno (Gutiérrez et al., 2008; Valdenegro et al., 2012), por lo que frutos de uchuva con 3 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de 1-MCP durante 24 h que produjeron significativamente menor cantidad de etileno presentaron también menor IC. Al respecto, frutos de tomate tratados con 1-MCP (21,7 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$, por 9 h) mostraron baja acumulación de licopeno y el cambio de color fue menor (Zhang et al., 2009). Gutiérrez et al. (2008) reportan que el 1-MCP (5 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ por 20 h) retrasó el cambio de color en frutos de uchuva, principalmente en frutos pintones, lo cual concuerda con lo encontrado en este estudio.

Pérdida de peso. Esta variable se incrementó a medida que el tiempo de almacenamiento fue mayor. Se presentaron diferencias estadísticas en todos los puntos de muestreo. El testigo presentó las mayores pérdidas de peso, mientras que con 3 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de 1-MCP durante 24 h se obtuvieron las pérdidas de peso más bajas a partir del día 8 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de diferentes dosis y tiempos de aplicación de 1-metilciclopropeno sobre el índice de color, la pérdida de peso y la firmeza de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante el almacenamiento

Tratamientos		Índice de color (1000xa*/L*b*)			Pérdida de peso (%)				Firmeza (N)		
Dosis ($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	Tiempo (h)	Días después de cosecha									
		1	8	15	1	4	8	15	1	8	15
0 (testigo)	0	0,58	5,41 a	8,32 a	0	2,59 ab	6,32 a	16,30 a	7,04	4,15 b	3,80 b
0,3	2	0,58	5,02 ab	7,78 a	0	2,40 b	5,60 ab	14,45 abc	7,04	4,59 ab	4,35 ab
0,3	12	0,58	4,75 ab	5,72 c	0	2,65 ab	5,83 ab	13,52 bc	7,04	4,87 ab	4,47 ab
0,3	24	0,58	4,76 ab	4,69 c	0	2,57 ab	5,42 ab	12,67 cd	7,04	4,77 ab	4,58 ab
1,0	2	0,58	4,66 ab	6,06 bc	0	2,46 ab	5,46 ab	13,01 c	7,04	4,90 ab	3,94 b
1,0	12	0,58	4,73 ab	5,41 c	0	2,78 ab	6,29 a	15,55 ab	7,04	4,46 ab	5,08 ab
1,0	24	0,58	4,92 ab	5,17 c	0	2,85 a	6,30 a	15,48 abc	7,04	5,02 ab	5,07 ab
3,0	2	0,58	4,41 ab	5,53 c	0	2,45 ab	5,73 ab	13,18 c	7,04	5,49 a	4,76 ab
3,0	12	0,58	4,41 ab	5,53 c	0	2,45 ab	5,73 ab	13,18 c	7,04	5,49 a	4,76 ab
3,0	24	0,58	4,25 b	4,62 c	0	2,44 ab	5,53 b	11,96 d	7,04	5,40 ab	5,29 a
Significancia		ns	**	**	ns	*	**	**	ns	*	**
CV (%)		0	5,2	10,81	0	7,17	4,79	6,18	0	10,05	16,19

Promedios seguidos de letras distintas en cada columna presentan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). ** Diferencias estadísticas al 1 %, * diferencias estadísticas al 5 %, ns: sin diferencias estadísticas

Teniendo en cuenta que las principales causas de pérdida de peso en los productos agrícolas cosechados son la respiración y la transpiración (Kader, 2002), la mayor exposición de los frutos de uchuva al 1-MCP ($3 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de 1-MCP por 24 h) estarían disminuyendo la tasa respiratoria y las pérdidas de agua por transpiración, este último proceso puede verse disminuido por el 1-MCP debido posiblemente a una menor degradación de la epidermis y la cutícula, y de esta manera se estaría alargando la vida poscosecha de los frutos, ya que según Kader (2002), la pérdida de agua es la causa principal del deterioro del fruto porque conduce a la disminución directa del peso fresco y la calidad, y se aceleran los procesos de maduración y senescencia. Chiabrando y Giacalone (2011) obtuvieron menor pérdida de peso con la aplicación de $0,3 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ por 24h de 1-MCP en frutos de arándano sin generar cambios indeseables en los atributos de calidad. De otra parte, la tasa de absorción de 1-MCP en frutos completos es muy lenta consumiendo aproximadamente el 20 % del 1-MCP después de 6 h (Huber et al., 2010); por esta razón, a medida que se aumentó el tiempo de tratamiento hasta 24 h se redujo en mayor proporción la pérdida de

peso en los frutos de uchuva. Los resultados encontrados confirman que la efectividad del 1-MCP depende de la interacción entre la concentración y el tiempo, entre otros factores (Blankenship y Dole, 2003; Watkins, 2006).

Firmeza. Con diferencias estadísticas a los 8 y 15 días después de la cosecha, los frutos de uchuva con $3 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de 1-MCP y 24 h presentaron la menor pérdida de firmeza durante los 15 días de almacenamiento, por el contrario, los frutos testigo fueron los más blandos (Cuadro 1). La mayor dosis ($600 \text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$) y el mayor tiempo de tratamiento (24 h) de 1-MCP también generaron el mejor comportamiento de la firmeza en frutos de guayaba (Singh y Pal, 2008).

En frutos de uchuva se reporta que la actividad de enzimas como la poligalacturonasa (PG), pectinmetilesterasa y algunas glicosidasas al parecer están relacionadas con la pérdida de firmeza del fruto (Trincheró et al., 1999), además, Majumder y Mazumdar (2002) encontraron que la PG correlaciona con la presencia de etileno en el fruto, esto puede indicar la posible relación que hay entre el etileno y la pérdida de firmeza de los frutos de uchuva. En este orden de ideas, el 1-MCP al unirse a los receptores de etileno bloquea

la cascada de transducción de señales que conllevan a la expresión de genes relacionados con la respuesta al etileno (In et al., 2013). En este caso las enzimas involucradas con la degradación de polisacáridos de la pared celular. Al parecer este proceso se estaría presentando cuando los frutos de uchuva se someten a la mayor dosis y tiempo de exposición al tratamiento de 1-MCP; dosis y tiempos muy bajos de exposición al 1-MCP resultan ineficientes para evitar la pérdida de firmeza. Al respecto, en frutos de guayaba, la mayor dosis de 1-MCP ($900 \text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$) generó los mayores valores de firmeza al final del almacenamiento (Cerqueira et al., 2009); en pera con $0,3 \text{ }\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de 1-MCP se disminuyó la pérdida de firmeza (Villalobos et al., 2011). Khan y Singh (2007) encontraron que con 1-MCP se retrasó la pérdida de firmeza y se disminuyó la actividad de las enzimas exo-PG, endo-PG, pectin esterasa y endo- β -1,4-glucanasa.

Sólidos solubles totales: Aumentaron durante el almacenamiento de los frutos de uchuva. Se encontró que los frutos con $3 \text{ }\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de 1-MCP y 24 h presentaron la menor acumulación de SST, la respuesta contraria fue obtenida en los frutos del

tratamiento testigo (Cuadro 2). El aumento de los SST de los frutos de uchuva también fue encontrado por Fischer y Martínez (1999), proceso que se debe a la hidrólisis del almidón y de los polisacáridos de la pared celular que dan origen a azúcares solubles (Kays, 2004), con la aplicación de altas dosis de 1-MCP estos procesos metabólicos son más lentos, al parecer porque están regulados por el etileno. Estos resultados indican que el 1-MCP en dosis de $3 \text{ }\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ por 24 h estarían retrasando el proceso de maduración de los frutos de uchuva al inhibir la acción del etileno. Singh y Pal (2008) encontraron que el tratamiento con 1-MCP disminuyó el incremento de SST en guayabas. No obstante, en uchuva, Gutiérrez et al. (2008) no encontraron efecto significativo del 1-MCP sobre los SST con dosis hasta de $5 \text{ }\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$, al parecer, factores como el estado de madurez y los niveles endógenos de etileno pueden afectar la respuesta de este retardante de madurez (Zhang et al., 2009; Valdenegro et al., 2012). Marín et al. (2009) también encontraron niveles más bajos de SST con la aplicación de 1-MCP en frutos de manzana.

Cuadro 2. Efecto de diferentes dosis y tiempos de aplicación de 1-metilciclopropeno sobre los sólidos solubles totales y la acidez total titulable de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante el almacenamiento

Tratamientos		Sólidos solubles totales (° Brix)			Acidez total titulable (%)		
Dosis ($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	Tiempo (h)	Días después de cosecha					
		1	8	15	1	8	15
0 (testigo)	0	14,15	16,37 a	18,43 a	2,98	1,91	1,68 c
0,3	2	14,15	15,18 b	17,33 ab	2,98	1,97	1,77 bc
0,3	12	14,15	15,78 b	16,17 bc	2,98	1,97	1,84 abc
0,3	24	14,15	15,88 b	15,80 bcd	2,98	1,92	1,91 abc
1,0	2	14,15	15,30 b	16,03 bcd	2,98	2,16	1,92 abc
1,0	12	14,15	15,20 b	16,47 bc	2,98	2,08	1,99 abc
1,0	24	14,15	15,28 b	15,97 bcd	2,98	2,12	2,09 abc
3,0	2	14,15	14,40 c	16,17 bc	2,98	2,24	2,13 ab
3,0	12	14,15	14,40 c	15,33 cd	2,98	2,24	2,12 ab
3,0	24	14,15	14,37 c	14,4 d	2,98	2,26	2,25 a
Significancia		ns	**	**	ns	ns	**
CV (%)		0	2,37	3,76	0	7,34	8,05

Promedios seguidos de letras distintas en cada columna presentan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). ** Diferencias estadísticas al 1%, * diferencias estadísticas al 5%, ns: sin diferencias estadísticas

Acidez total titulable. Se observó una continua disminución de la ATT con diferencias estadísticas en el día 15. Se encontró que la mayor disminución de la ATT estuvo en frutos de uchuva sin tratamiento, por el contrario, con la aplicación

de $3 \text{ }\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de 1-MCP y con un tiempo de 24 h se obtuvieron frutos con la mayor ATT (Cuadro 2).

La ATT disminuye en función del proceso de maduración, tal como se encontró para frutos de uchuva por Fischer y Martínez (1999), este

comportamiento se debe a que los ácidos orgánicos son utilizados como sustratos respiratorios (Kader, 2002) o pueden ser transformados en azúcares mediante gluconeogénesis, de esta manera el 1-MCP en altas dosis y tiempos de exposición estaría retrasando la disminución de la ATT al controlar la acción del etileno, pues esta hormona puede estar regulando la disminución del contenido de ácidos orgánicos durante la maduración (Kays, 2004). Según Marín et al. (2009) el 1-MCP puede afectar el metabolismo de carbohidratos. En frutos de tomate, Zhang et al. (2009) observaron que el 1-MCP retrasó la disminución de la ATT, resultados similares fueron encontrados en frutos de manzana (Marín et al., 2009).

CONCLUSIONES

La aplicación de $3 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ de 1-MCP durante 24 h retrasa el proceso de maduración de los frutos de uchuva, lo cual se evidenció en una menor producción de etileno, menor concentración interna de etileno, menor pérdida de firmeza, de peso y de acidez. Con este tratamiento también se retrasó el índice de color y el aumento en los sólidos solubles totales.

La concentración interna de etileno encontrada en los frutos de uchuva fue alta, lo cual disminuyó la eficiencia del 1-MCP.

LITERATURA CITADA

1. Agronet, 2014. Producción nacional por producto, Uchuva. <http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/ReportesAjax/VerReporte.aspx>. (consulta del 13/11/2014).
2. Bapat, V. P. Trivedi, A. Ghosh, V. Sane, T. Ganapathi y P. Nath. 2010. Ripening of fleshy fruit: Molecular insight and the role of ethylene. *Biotechnol. Adv.* 28: 94-107.
3. Blankenship, S. y J. Dole. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharv. Biol. Technol.* 28: 1-25.
4. Cerqueira, T., A. Jacomino, F. Sasaki y L. Amorim. 2009. Controle do amadurecimento de goiabas 'kumagai' tratadas com 1-metilciclopropeno. *Rev. Bras. Frutic.* 31(3): 687-692.
5. Chiabrando, V. y G. Giacalone. 2011. Shelf-life extension of highbush blueberry using 1-methylcyclopropene stored under air and controlled atmosphere. *Food Chemistry* 126: 1812-1816.
6. Choi, S., P. Tsouvaltzi, C. Lim y D. Hubert. 2008. Suppression of ripening and induction of asynchronous ripening in tomato and avocado fruits subjected to complete or partial exposure to aqueous solutions of 1-methylcyclopropene. *Postharv. Biol. Technol.* 48: 206-214.
7. Deaquiz, Y., J. Álvarez-Herrera y G. Fischer. 2014. Ethylene and 1-MCP affect the postharvest behavior of yellow pitahaya fruits (*Selenicereus megalanthus* Haw.). *Agron. Colomb.* 32(1): 44-51.
8. Fischer, G. y O. Martínez 1999. Calidad y madurez de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en relación con la coloración del fruto. *Agron. Colomb.* 16(1-3): 35-37.
9. Fischer, G., A. Herrera y P. Almanza. 2011. Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) In: E. Yahia (ed.). *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. Woodhead Publishing, Cambridge. pp. 374-396.
10. Galvis, J., G. Fischer y O. Gordillo 2005. Cosecha y poscosecha de la uchuva. In: G. Fischer, D. Miranda, W. Piedrahita y J. Romero (eds.). *Avances en Cultivo, Poscosecha y Exportación de la Uchuva (*Physalis peruviana* L.) en Colombia*. Unibiblos. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. pp. 165-190.
11. Gastelum, D. 2012. Demanda nutricional y manejo agronómico de *Physalis peruvianum* L. Tesis. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Texcoco. México. 74 p.
12. Gutiérrez, M., G. Trincherro, A. Cerri, F. Vilella y G. Sozzi. 2008. Different responses of goldenberry fruit treated at four maturity stages with the ethylene antagonist 1-methylcyclopropene. *Postharv. Biol. Technol.* 48: 199-205.
13. Huber, D.J., Hurr B.M., Lee J.S., Lee, J.H. 2010. 1-Methylcyclopropene sorption by tissues and cell-free extracts from fruits and vegetables: evidence for enzymatic 1-MCP metabolism. *Postharv. Biol. Technol.* 56:123-130

14. In, B.C., J. Strablea, B.M. Binder, T.G. Falbel y S.E. Patterson. 2013. Morphological and molecular characterization of ethylene binding inhibition in carnations. *Postharv. Biol. Technol.* 86: 272-279.
15. Icontec (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). 1999. Frutas frescas. Uchuva. Especificaciones. Norma Técnica Colombiana NTC 4580. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá. 15 p.
16. Jung, S. y C. Watkins. 2014. Internal ethylene concentrations in apple fruit at harvest affect persistence of inhibition of ethylene production after 1-methylcyclopropene treatment. *Postharv. Biol. Technol.* 96: 1-6.
17. Kader, A.A. y M.L. Arpaia. 2002. Postharvest handling systems: subtropical fruits. *In: A. Kader (ed.). Postharvest Technology of Horticultural Crops. The University of California, Division of Agricultural and Natural Resources, Oakland, CA.* pp. 375-384.
18. Kays, S. 2004. *Postharvest Biology*. Exon Press. Athens, GA.
19. Khan, A. y Z. Singh. 2007. 1-MCP regulates ethylene biosynthesis and fruit softening during ripening of 'Tegan Blue' plum. *Postharv. Biol. Technol.* 43: 298-306.
20. Majumder, K. y B. Mazumdar. 2002. Changes of pectic substances in developing fruits of cape-gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in relation to the enzyme activity and evolution of ethylene. *Scientia Horticulturae* 96: 91-101.
21. Marín, A., A. Colonna, K. Kudo, E. Kupferman y J. Mattheis. 2009. Measuring consumer response to "Gala" apples treated with 1-methylcyclopropene (1-MCP). *Postharv. Biol. Technol.* 51: 73-79.
22. Serek, M., E. Woltering, E. Sisler, S. Frello y S. Sriskandarajah. 2006. Controlling ethylene responses in flowers at the receptor level. *Biotechnol. Adv.* 24: 368-381.
23. Singh, S. y R. Pal. 2008. Response of climacteric-type guava (*Psidium guajava* L.) to postharvest treatment with 1-MCP. *Postharv. Biol. Technol.* 47(3): 307-314.
24. Superfruit. 2011. Uchuva - the superfruit. <http://www.uchuvasuperfruit.com> (consulta del 13/08/2011).
25. Trincherro, G., G. Sozzi, A.M. Cerri, F. Vilella y A. Fraschina. 1999. Ripening-related changes in ethylene production, respiration rate and cell-wall enzyme activity in goldenberry (*Physalis peruviana* L.), a solanaceous species. *Postharv. Biol. Technol.* 16: 139-145.
26. Valdenegro, M., L. Fuentes, R. Herrera y M.A. Moya-León. 2012. Changes in antioxidant capacity during development and ripening of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) fruit and in response to 1-methylcyclopropene treatment. *Postharv. Biol. Technol.* 67: 110-117.
27. Villalobos, M., W. Biasi, E. Mitcham y D. Holcroft. 2011. Fruit temperature and ethylene modulate 1-MCP response in Bartlee pears. *Postharv. Biol. Technol.* 60: 17-23.
28. Watkins, C. 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnol. Adv.* 24: 389-409.
29. Yang, X., J. Song, L. Campbell-Palmer, S. Fillmore y Z. Zhang. 2013. Effect of ethylene and 1-MCP on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and perception during ripening of apple fruit. *Postharv. Biol. Technol.* 78: 55-66.
30. Zhang, Z., D.J. Huber, B.M. Hurr y J. Rao. 2009. Delay of tomato fruit ripening in response to 1-methylcyclopropene is influenced by internal ethylene levels. *Postharv. Biol. Technol.* 54: 1-8.
31. Zhang, L., L. Jiang, Y. Shi, H. Luo, R. Kang y Z. Yu. 2012. Post-harvest 1-methylcyclopropene and ethephon treatments differently modify protein profiles of peach fruit during ripening. *Food. Res. Int.* 48: 609-619.