

EFECTO DEL EMPAQUE Y DEL 1-MCPSOBRE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y FISIOLÓGICAS DE PITAHAYA AMARILLA

EFFECT OF PACKAGING AND 1-MCP ON PHYSICAL, CHEMICAL AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF PITAHAYA YELLOW

EFEITO DA EMBALAGEM E DO 1-MCPSOB AS PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E FISIOLÓGICAS DA PITAHAYA AMARELA

LILIANA SERNA C.^{1*}, LAURA SOFIA TORRES V.², ALFREDO ADOLFO AYALA A.³

RESUMEN

En pitahaya amarilla entera con grado de madurez 3, se evaluó el efecto del empaque (canastillas plásticas y cajas de cartón tipo exportación) y la aplicación de soluciones acuosas de 1-Metilciclopropeno (200 y 400 μgL^{-1}), sobre la pérdida de peso, firmeza, color, sólidos solubles, acidez titulable, tasa respiratoria y tiempo de vida comercial. Se encontró que en los dos empaques, la aplicación de soluciones acuosas de 200 y 400 μgL^{-1} de 1-Metilciclopropeno (1-MCP) disminuyó los cambios en acidez, tasa respiratoria y color, sin embargo, aumentó la pérdida de peso durante el almacenamiento. El tipo de empaque afectó significativamente la pérdida de peso, los sólidos solubles y el color. La aplicación de 200 μgL^{-1} de 1-MCP generó menor variación en la luminosidad y en la coloración verde-amarilla en la fruta. Concentraciones de 200 y 400 μgL^{-1} de 1-MCP y el empaque en ca-

Recibido para evaluación: 23/02/2011. **Aprobado para publicación:** 15/8/2011

1. Bacterióloga, Esp. Ciencia y Tecnología de Alimentos. Doctora en Ingeniería de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Palmira-Colombia.
2. Ingeniera Agrícola. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. Cali-Colombia
3. Ingeniero Agrícola. Doctor Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. Cali-Colombia.

Correspondencia: lserna@unal.edu.co

nastillas plásticas para mercado local permitieron prolongar el tiempo de vida comercial de la pitahaya amarilla 3 días. Los resultados de este estudio confirman además que la pitahaya amarilla es una fruta climatérica.

ABSTRACT

In yellow pitahaya in stage maturity 3, were evaluated the effect of packaging (plastic baskets and cardboard boxes export type) and the application of aqueous solutions of 1-methylcyclopropene (200 and 400 μgL^{-1}) on weight loss, firmness, color, soluble solids, acidity, respiratory rate and commercial shelf-life. In the two packages, the application of aqueous solutions of 200 and 400 μgL^{-1} 1- methylcyclopropene (1-MCP) reduced changes in acidity, respiratory rate and color, however, it increased weight loss during storage. The type of packing affected significantly the weight loss, soluble solids and color. The application 200 μgL^{-1} of 1-MCP had less variation in brightness and the color green-yellow fruit. Concentrations of 200 and 400 μgL^{-1} 1-MCP and packing in plastic baskets for local market allowed prolong shelf life of three days the yellow pitahaya. The results of this study further confirm that the yellow pitahaya is a climacteric fruit.

RESUMO

Na pitahaya amarela inteira com grau três de maduras, foi avaliado os efeitos da embalagem (cestos de plástico e caixas de papelão tipo exportação) e a aplicação de soluções aquosas de 1-metilciclopropeno (200 e 400 μgL^{-1}) sobre a perda de peso, firmeza, cor, teor de sólidos solúveis totais, acidez, taxa de respiração e tempo de vida comercial. Foi observado que nas duas embalagens, a aplicação de soluções aquosas de 200 e 400 μgL^{-1} de 1-Metilciclopropeno (1-MCP) reduziu as variações na acidez, taxa de respiração e cor, no entanto, aumentou a perda de peso durante o armazenamento. O tipo da embalagem afetou significativamente a perda de peso, o teor de sólidos solúveis totais, e a cor. A aplicação de 200 μgL^{-1} de 1-MCP gerou menor variação na luminosidade e na cor verde-amarela no fruto. Concentrações de 200 e 400 μgL^{-1} de 1-MCP e a embalagem em cestos de plástico para o mercado local permitiram prolongar três dias o tempo de vida comercial da pitahaya amarela. Os resultados deste estudo mostraram que a pitahaya amarela é um fruto climatérico.

PALABRAS CLAVE:

Selenicerus megalanthus Haw, Frutas tropicales, Maduración, Etileno, 1-Metilciclopropeno.

KEYWORDS:

Selenicerus megalanthus Haw, Tropical fruits, Ripening, Ethylene, 1-methylcyclopropene.

PALAVRAS-CHAVE:

Selenicerus megalanthus Haw, Frutas tropicais, Amadurecimento, Etileno, 1-metilciclopropeno

INTRODUCCIÓN

La pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) es un cactus perenne y epifito nativo del trópico Sudamericano, ha sido cultivada en América e Israel. Es un fruto exótico, de pulpa blanca, oblongo, con semillas de color negro y con espinas en su corteza, y dentro de su Familia, es la fruta que obtiene los mejores precios de venta [1]. Para Colombia, la pitahaya amarilla es una fruta considerada producto promisorio exportable [2]. Aunque algunos autores catalogan la pitahaya amarilla como una fruta no climatérica debido a su baja producción de etileno [3, 4], la fruta presenta un pico en su tasa respiratoria por lo cual es considerada por otros autores como una fruta climatérica [5, 6, 7], lo que lleva a pensar que en su maduración y procesos de senescencia está involucrada la producción de etileno endógeno [8]. La producción endógena y/o exógena de esta hormona genera cambios en el contenido de sólidos solubles, acidez titulable, peso, azúcares totales, ácido ascórbico, entre otras [9]; los principales factores de deterioro de la pitahaya amarilla son pardeamiento enzimático, la necrosis y el ablandamiento de su corteza [10].

Dentro de las tecnologías utilizadas para controlar la producción y/o acción del etileno, se encuentra el uso del 1-Metilciclopropeno (1-MCP), el cual dentro de los análogos competitivos del etileno, es el que ha presentado las mejores propiedades de estabilidad y efectividad e impide los efectos negativos del etileno en el tejido de la planta [11, 12]. El 1-MCP reprime la unión del etileno con su receptor de membrana, lo que reprime la acción del etileno. El compuesto ha sido estudiado en una gran variedad de frutas climatéricas y no climatéricas [12, 13, 14, 15, 16, 17], con resultados variables, desde retardo exitoso de la maduración hasta ausencia de la misma.

Las respuestas al 1-MCP son dependientes de la concentración y del tiempo de exposición, la especie, las características morfológicas y fisiológicas de la fruta, la variedad, el grado de madurez, las condiciones del cultivo y las condiciones de almacenamiento [18]. Los efectos son, principalmente, retardo en el ablandamiento y desarrollo del color, reducción en la actividad respiratoria, producción de etileno, pérdida de peso, ataque de hongos, y retraso de otros procesos relacionados a la maduración y senescencia [19].

Por lo anterior el objetivo de esta investigación fue eva-

luar el efecto del empaque y de la aplicación de 200 y 400 μgL^{-1} de 1-MCP en pitahaya amarilla entera sobre sus propiedades físicas y fisiológicas, como la pérdida de peso, firmeza, color, sólidos solubles, tasa respiratoria y tiempo de vida comercial.

MÉTODOS

Material vegetal

Se utilizó pitahaya amarilla en estado de madurez tres [20], proveniente de Roldanillo Valle, Colombia. Las frutas cosechadas se clasificaron, se lavaron con agua corriente, se higienizaron con agua clorada (200 μgL^{-1}), se enjuagaron con agua destilada y se secaron al aire libre.

Preparación y aplicación de 1-MCP

Se utilizó 1-MCP comercial obtenido de la firma Rohm and Haas Química Ltda. (Philadelphia, Pennsylvania). Se prepararon soluciones de 40 L de 1-MCP a concentración de 200 y 400 μgL^{-1} utilizando agua destilada. Las frutas se sumergieron durante 10 minutos, posteriormente se retiraron de la solución y se enjuagaron por 5 minutos en agua destilada para eliminar el exceso de 1-MCP, finalmente se secaron al aire libre y se empacaron.

Empaque

Las frutas se empacaron en cajas de cartón tipo exportación (caja de cartón corrugado calibre 930 con alveolo de 24 compartimentos de polipropileno - 24 frutas en una sola capa), y en canastillas plásticas perforadas (60*40*20 cm, dos capas de 27 frutas cada una). Las frutas empacadas se almacenaron en una cámara ambiental (1000L, Dies, Colombia) a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ y 85% de humedad relativa.

Determinación de pérdida de peso

Se tomó el peso fresco de 9 pitahayas por tratamiento, utilizando una balanza de precisión de tres cifras decimales (Mettler Toledo 1200, Columbus, Ohio) y se realizó un seguimiento de peso diario, durante los primeros seis días de almacenamiento, posteriormente se registró el peso de la fruta cada tres días. Las medidas de peso se analizaron mediante el porcentaje de variación relativa (ΔY) respecto al tiempo cero (Ec. 1).

$$\Delta Y = \left(\frac{Y_j - Y_i}{Y_i} \right) * 100 \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

Y = Peso de la fruta

i = muestra inicial

j = muestra final.

Determinación de firmeza

Se evaluó midiendo la fuerza máxima requerida para penetrar las frutas 10,0 mm, a una velocidad de penetración de 10 mm/min, empleando un penetrómetro cilíndrico de 2,0 mm de diámetro adaptado a un texturómetro (model EZ-Test, Shimadzu, Somerset, New Jersey). La medición de firmeza se realizó cada 3 días, se tomaron tres frutas por tratamiento.

Determinación de Color

Se midió a través del espectro de reflexión entre 400-700 nm, mediante un colorímetro Colorflex (HunterLab, Reston, Virginia). Se obtuvieron coordenadas de color $L^*a^*b^*$ en cinco puntos distribuidos (separados aproximadamente 72°) en la zona ecuatorial de la cáscara de cada fruto, utilizando como referencia el iluminante D65 y el observador 10° . Los parámetros de color se analizaron mediante el cambio total de color (ΔE) respecto al tiempo cero, empleando la ecuación 2 [21].

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

L^* : Luminosidad

a^* : Coloración verde

b^* : Coloración amarilla

Sólidos solubles totales (°Brix)

Se realizó mediante un refractómetro (Hand Held 500 HRS, Atago, Bellevue, Washington), de forma directa con el jugo de la pulpa homogenizada de 3 pitahayas utilizando el método AOAC 932.12 [22].

Medición de la tasa respiratoria

La intensidad respiratoria se midió por titulación y se expresó en $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, utilizando una modificación al método reportado por Montes y Arévalo [23]. Se

utilizó una cabina refrigerada dotada de un compresor y de trampas de CO_2 (50 ml de KOH al 2N), y en su parte interna, de tres recipientes herméticamente cerrados provistos con mangueras de entrada y de salida. Cada recipiente contenía tres pitahayas las cuales fueron previamente pesadas. Con el compresor se generó el paso de aire libre de CO_2 (previo flujo por la trampa) sobre los recipientes herméticamente cerrados durante 30 minutos. El aire expulsado del desecador (que contenía CO_2 resultante de la respiración de las frutas) se recogió en trampas de CO_2 que contenían 50 ml de NaOH 0,1 N. Las trampas se retiraron del equipo y se taparon inmediatamente. En un Beaker de 50 ml se adicionaron 15 ml de BaCl_2 al 10% p/v (para formar BaCO_3), 20 ml de alícuota de la muestra y 4 gotas de fenolftaleína. La mezcla se tituló inmediatamente con solución de HCl 0,1 N (a la cual se le verificó la normalidad estándar). La tasa respiratoria (IR) se calculó mediante las ecuaciones 3 y 4. La determinación de la tasa respiratoria se realizó diariamente durante los seis primeros días de almacenamiento, posteriormente cada 3 días.

$$\text{IR} \left(\frac{\text{mgCO}_2}{\text{kg}^* \text{h}} \right) = \frac{(V_b - V_m) * N_{\text{HCl}} * 22 * f}{w * t} \quad (\text{Ec.3})$$

$$f = \frac{V_{\text{NaOH en frasco}}}{V_{\text{alícuota}}} \quad (\text{Ec.4})$$

Donde:

V_b = Volumen (ml) del HCl empleado en la titulación del blanco.

V_m = Volumen (ml) del HCl empleado en la titulación de la muestra.

NHCl = Normalidad estándar del HCl

w = Peso de la muestra (Kg)

t = tiempo (horas)

22 = peso meq equivalente del CO_2 (g-meq)

f = factor de muestra (relación entre volumen del NaOH utilizado en la experimentación y volumen tomado para la muestra).

Tiempo de vida comercial

Se realizó valoración diaria del aspecto físico de las frutas y se cuantificó el porcentaje de pérdida de vida comercial. El tiempo de vida comercial se determinó como el tiempo en el cual se presentó pardeamiento, necrosis de mamilas y ablandamiento de la corteza.

Diseño de experimentos

Se utilizó un diseño factorial completamente al azar de $3 \times 2 \times 10$ con tres factores así:

Concentración de la solución de 1-MCP con tres niveles: 0, 200 y $400 \mu\text{gL}^{-1}$.

Tipo de empaque con dos niveles: canastilla plástica para mercado local y caja de cartón tipo exportación.

Tiempo de almacenamiento con 10 niveles así: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12 y 15 días.

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. Los resultados se analizaron utilizando análisis de varianza a un nivel de significancia del 95%, utilizando el software Minitab versión 15.1. La comparación entre medias se realizó a través del ensayo de Tukey al 5% de probabilidad.

RESULTADOS

Pérdida de peso

El porcentaje de pérdida de peso (ΔY) registrado durante el tiempo de almacenamiento para todos los tratamientos se presenta en la Figura 1. En fruta empacada en canastillas plásticas (Figura 1a) la menor pérdida de peso fue 15,02% y se presentó sin aplicación de 1-MCP y la mayor pérdida de peso se obtuvo con aplicación de $400 \mu\text{gL}^{-1}$ de 1-MCP (16,30%). Para el tratamiento LC-200 la pérdida de peso fue del 15,56%.

Un comportamiento similar se presentó para empaque en cajas de cartón tipo exportación (Figura 1b), donde la menor pérdida de peso se logró para el control con 14,80%, seguido de EX-200 con 16,17% y la mayor pérdida de peso se obtuvo en el tratamiento EX-400 (17,03%). Durante los primeros días de almacenamiento el tratamiento control mostró mayor pérdida de peso, con respecto a los otros tratamientos.

Las diferencias en las pérdidas de peso entre los tratamientos estuvieron influenciadas por la concentración de 1-MCP, el empaque y el tiempo de almacenamiento ($p < 0,05$), con interacción entre concentración-empaque y empaque-tiempo.

Una de las mayores causas de disminución de la calidad de un fruto es la pérdida de peso, según Nerd, cuando la pitahaya amarilla se cosecha en estado de madurez temprana pierde mayor peso que cuando se cosecha en estado de madurez avanzado [4], lo que explicaría las mayores pérdidas registradas en la fruta tratada con 1-MCP, dado su efecto sobre la maduración.

Resultados similares se encontraron en guayaba, donde se reportaron mayores pérdidas de peso por efecto de la aplicación 1-MCP [19], sin embargo, los resultados obtenidos en pitahaya son contradictorios a los obtenidos en cebollino chino [24], tomate [25] y ciruela [9] donde el tratamiento con 1-MCP retrasó significativamente la pérdida de peso durante el almacenamiento. Otros autores no observaron cambios de esta variable cuando evaluaron albaricoques tratados con 1-MCP [26].

Figura 1. Pérdida de peso en pitahaya amarilla entera tratada con 200 y $400 \mu\text{gL}^{-1}$ de 1-MCP y empacada en canastilla plástica de mercado local (a) y en caja cartón tipo exportación (b)

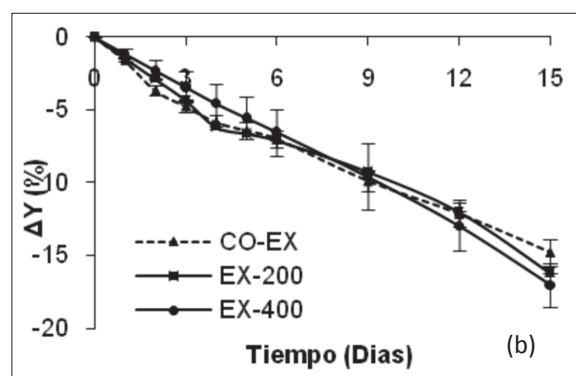
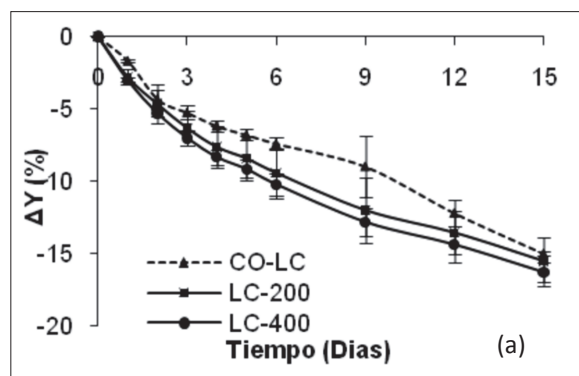
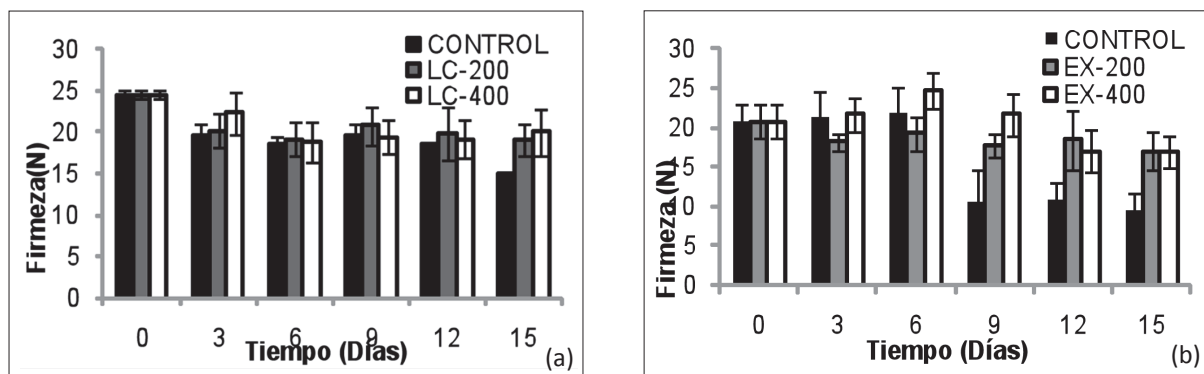


Figura 2. Cambios en la firmeza de pitahaya amarilla entera tratada con 200 y 400 μgL^{-1} de 1-MCP

Firmeza

Los cambios en la firmeza de la pitahaya amarilla entera se presentan en la Figura 2. La firmeza de todas las frutas disminuyó durante el almacenamiento, esta disminución fue mayor en la fruta control. Las pérdidas de firmeza al final del almacenamiento para el tratamiento control fueron mayores en el empaque tipo exportación que en las canastillas de mercado local con valores de 54,11 y 38,77%, respectivamente.

En la fruta empacada en canastillas de mercado local se dio una mayor disminución en la firmeza durante los primeros 9 días, comparada con la fruta empacada en cajas tipo exportación, sin embargo, al final del almacenamiento se presentó menor porcentaje de pérdida de firmeza en fruta empacada en canastillas de mercado local.

En la fruta empacada en cajas tipo exportación, durante la mayor parte del almacenamiento, la aplicación de 400 μgL^{-1} de 1-MCP retrasó las pérdidas de firmeza respecto a la concentración de 200 μgL^{-1} , sin embargo, al final del almacenamiento no se presentaron diferencias significativas entre estas dos concentraciones.

Se presentó un efecto significativo de la concentración de 1-MCP ($p=0,015$), del tipo de empaque ($p=0,018$) y del tiempo de almacenamiento ($p=0,003$) sobre la firmeza de la pitahaya amarilla.

Resultados similares se obtuvieron en tomate [27], banano [28] y ciruelas [9], donde la aplicación de 1-MCP redujo el ablandamiento de la pulpa de la fruta.

La firmeza de las frutas es un atributo que influye significativamente en la percepción de calidad de los productos [11] y se relaciona con características

celulares, como la adhesión entre células vecinas, la fragilidad de la célula y la presión de turgencia interna [29]. La pared celular está compuesta principalmente por hemicelulosas, pectinas, proteínas estructurales y compuestos aromáticos [30, 31]. Durante la maduración de la fruta, los polisacáridos de la pared celular son modificados por una variedad de enzimas, generando degradación de las pectinas y matrices glicánicas que afectan la estructura de la pared celular [32]. El 1-MCP disminuye la actividad enzimática que genera la degradación de las pectinas y hemicelulosas disminuyendo así los cambios en la firmeza [15].

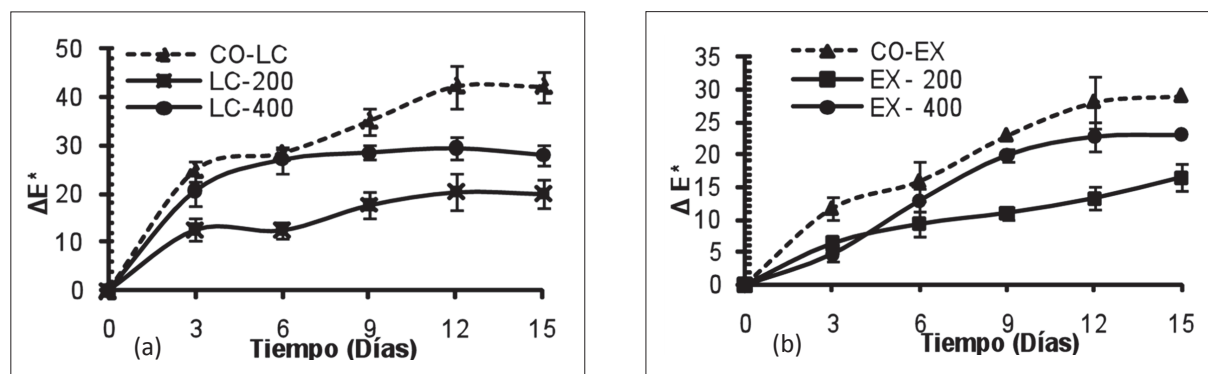
Color

El cambio en el color de la fruta, expresado como cambio total de color (ΔE) se presenta en la Figura 3. El tratamiento con 1-MCP redujo los cambios de color en fruta empacada en canastillas plásticas para mercado local durante el almacenamiento (Figura 3a). Los cambios totales de color en los tratamientos CONTROL-LC, LC-200 y LC-400 al final del almacenamiento fueron 42,15, 20,1 y 28,12%, respectivamente.

En la fruta empacada en cajas de cartón tipo exportación (Figura 3b) se presentaron menores ΔE con respecto a la fruta empacada en canastillas plásticas.

La aplicación de 1-MCP disminuyó los ΔE en la fruta durante todo el almacenamiento y la concentración de 200 μgL^{-1} generó las menores variaciones de este atributo, conservando condiciones similares de la fruta fresca y prolongando su vida comercial. El cambio total de color al final del almacenamiento para los tratamientos CONTROL-EX, EX-200 y EX-400 fue 29,03, 16,5 y 23,5 respectivamente.

Figura 3. Variación de color en pitahaya amarilla entera tratada con 200 y 400 $\mu\text{g/L}$ de 1-MCP



A un nivel de significancia del 95% se presentaron diferencias estadísticas en el cambio de color por efecto de la concentración de 1-MCP, el tipo de empaque y el tiempo de almacenamiento ($p < 0,005$), además se presentó un efecto significativo ($p < 0,005$) en la interacción entre los factores de estudio. La fruta tratada con $200 \mu\text{g/L}$ de 1-MCP presentó los mejores resultados, se disminuyó el cambio total de color y por lo tanto se prolongó el tiempo de vida comercial de las mismas.

El 1-MCP disminuye el cambio de color de las frutas debido a que reduce el metabolismo de los pigmentos, el cual provoca que se desenmascaren los pigmentos ocultos tras las coloraciones verdes características presentes en la mayoría de frutas en estado de madurez temprana [16].

Sólidos solubles

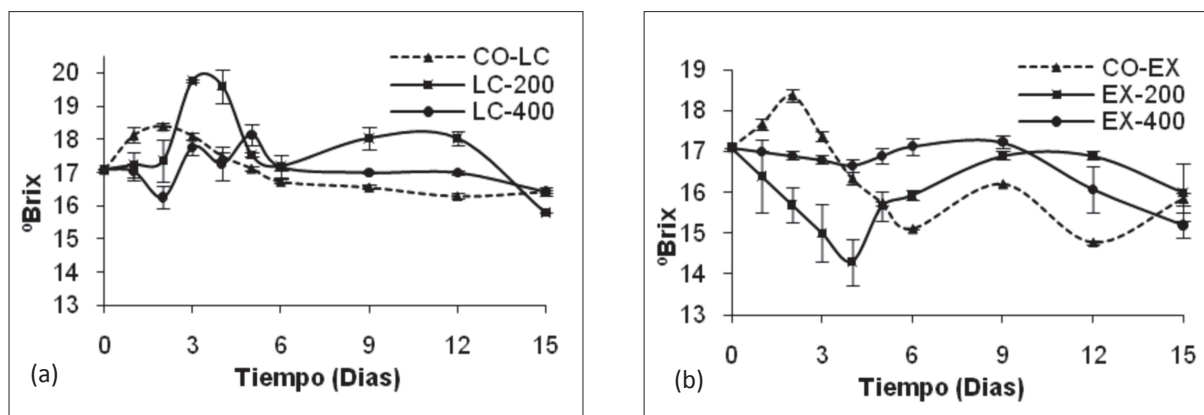
En la Figura 4 se presentan los cambios de los sólidos solubles durante el almacenamiento de pitahaya en todos los tratamientos. En el tratamiento control realizado con canastilla plástica el contenido de sólidos solubles varió desde $17,1$ hasta $16,4$ °Brix obteniendo un pico notable en el día 2 de $18,4$ °Brix. Para el tratamiento LC-200 se observó un comportamiento oscilatorio con un rango de valores entre $15,8$ y $19,8$ °Brix, donde se pudieron apreciar picos en el día 3 ($19,8$ °Brix) y 12 (17 °Brix) de almacenamiento. En el tratamiento LC-400 se obtuvieron los menores valores de °Brix, excepto en el día 15, este tratamiento presentó también comportamiento oscilatorio (Figura 4a).

En cajas de exportación el tratamiento control fue oscilatorio durante los 15 días de almacenamiento, en los cuales se apreciaron tres picos en los días 2 ($18,4$ °Brix), 9 ($16,2$ °Brix) y 15 ($15,8$ °Brix) (Figura 4b).

Para el tratamiento EX-200 el contenido de sólidos solubles varió desde $17,1$ hasta $14,3$ °Brix, obteniendo un incremento en el día 9 con un valor a $16,9$ °Brix. Para el tratamiento EX-400 se obtuvo una variación de $17,2$ a $15,2$ °Brix y no se presentaron picos pronunciados. Estos resultados difieren de los reportados por Nerd y Mizrahi, quienes encontraron que la pitahaya amarilla recolectada verde y madura y almacenada a 10 y 20°C presenta contenidos de sólidos solubles que oscilan entre 19 y 21% y no cambian durante el almacenamiento [4].

En la Figura 4a se observa en los tratamientos LC-200 y LC 400 un descenso en los sólidos solubles en los días 2 y 6, los cuales coinciden con el primer pico en las respectivas curvas de respiración y con el pico climático. De igual manera en el tratamiento control se obtuvo un descenso a partir del día 2 que concuerda con incremento en la tasa respiratoria. La aplicación de 1-MCP y el empaque en cajas de cartón tipo exportación generó una disminución de los sólidos solubles desde el primer día de almacenamiento, que puede ser generado por la tasa respiratoria. Las variaciones oscilantes de los sólidos solubles puede deberse a la existencia de una reserva separada de azúcares disponible para la respiración [3]. La disminución de los azúcares puede generarse por su uso como sustrato para la respiración, principalmente aquellos atrapados dentro de la vacuola, que posteriormente son liberados de manera controlada, por medio de la glicólisis, por la vía de la pentosa fosfato y la vía de los ácidos tricarbóxicos [33].

Estos resultados son acordes a los obtenidos por Rodríguez et al. [5], quienes evaluaron el contenido de °Brix de pitahaya amarilla almacenada a 8 y 19°C en estado de madurez 3 y 5, encontraron que la pitahaya cosechada en estado de madurez 3 y almacenada a

Figura 4. Sólidos solubles en pitahaya amarilla entera tratada con 200 y 400 $\mu\text{g/L}$ de 1-MCP.

8°C mostró valores fluctuantes de °Brix (entre 12 y 18) y a 19°C los valores fueron más estables variando de 14 a 16 °Brix. Estadísticamente, el tipo de empaque afectó significativamente la variable °Brix ($p=0,001$), mientras que la concentración del 1-MCP y el tiempo de almacenamiento no influenciaron las variaciones de °Brix ($p>0,05$), además se evidenció una interacción significativa entre concentración-empaque, lo que indica que los factores influyen entre sí sobre la variable de sólidos solubles expresados en °Brix.

Tasa respiratoria

La tasa respiratoria para todos los tratamientos con 1-MCP y control se muestran en la Figura 7. El tratamiento control en canastilla plástica presentó la mayor tasa respiratoria en el quinto día de almacenamiento (54 $\text{mg CO}_2\text{Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$), se presentaron descensos marcados en el día 4 y 9 con valores correspondientes a 9,87 y 6,7 $\text{mg CO}_2\text{Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$. Para el tratamiento LC-200 se pudo apreciar un descenso en la respiración desde el inicio del almacenamiento hasta el día 5 (1,74 $\text{mg CO}_2\text{Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$), un pico respiratorio en el día 6 (26,9 $\text{mg CO}_2\text{Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$), y un descenso hasta el final del almacenamiento (10,96 $\text{mg CO}_2\text{Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$). El tratamiento LC-400 mostró pico respiratorio entre los días 2 y 6 (4,65 $\text{mg CO}_2\text{Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$), posteriormente se presentaron valores constantes hasta el día 15 de almacenamiento (6,67 $\text{mg CO}_2\text{Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) (Figura 7a).

Los tratamientos realizados en cajas de cartón tipo exportación presentaron comportamiento oscilatorio. El tratamiento control presentó en el día 5 un pico respiratorio correspondiente a 32,91 $\text{mg CO}_2\text{Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ y al finalizar el almacenamiento la curva de respiración

decreció hasta 5 $\text{mg CO}_2\text{Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$. El tratamiento EX-200 presentó 2 picos marcados en el día 3 y 12 con 22,12 y 24,04 $\text{mg CO}_2\text{Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$, respectivamente, y descenso en el día 15 hasta 12,89 $\text{mg CO}_2\text{Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$. El tratamiento EX-400 mostró un incremento en los valores de respiración los primeros dos días de almacenamiento (15,63 $\text{mg CO}_2\text{Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$), posteriormente la curva de respiración decreció (Figura 7b).

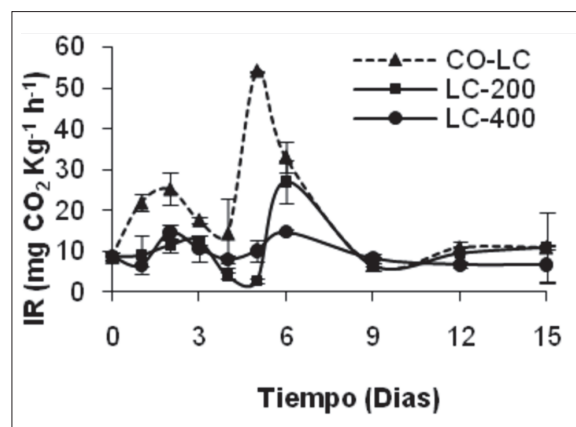
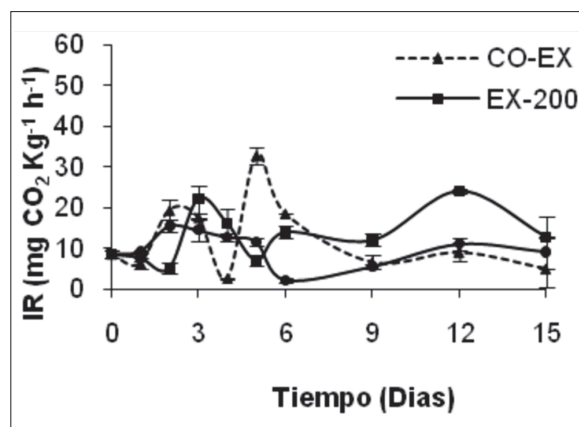
El tipo de empaque no afectó estadísticamente la tasa de respiración ($p=0,062$), esta variable se vio afectada por la concentración utilizada de 1-MCP y por el tiempo de almacenamiento ($p=0,001$). Adicionalmente se evidenció una interacción significativa ($p>0,05$) entre la concentración de 1-MCP y el tipo de empaque. Estos resultados son similares a los reportados en peras [11], ciruelas [9] y cebollín [24] donde la aplicación de 1-MCP disminuyó la tasa de respiración.

Teniendo en cuenta que las frutas climatéricas son aquellas en las cuales la tasa respiratoria presenta un ascenso o pico climatérico durante su maduración [34, 35], se confirma que la pitahaya amarilla es una fruta climatérica que presenta un pico marcado en su tasa respiratoria durante el almacenamiento, conforme a los resultados reportados por Rodríguez et ál. [5]; Chavez y Stevenson [6] y Rudas [7] y contrario a lo reportado por Nerd [4].

Tiempo de vida comercial

La fruta control se conservó sus propiedades físicas durante 12 días (en los dos empaques), a partir de este día la fruta presentó pudrición basal con coloraciones pardas y caída de pedúnculos. La aplicación

Figura 5. Tasa respiratoria en pitahaya amarilla entera tratada con 200 y 400 μgL^{-1} de 1-MCP y empacada en canastilla plástica de mercado local (a) y en caja cartón tipo exportación (b)



de 200 μgL^{-1} de 1-MCP y el empaque en canastillas de mercado local retrasó en tres días la aparición de signos de envejecimiento de la fruta. A los quince días de almacenamiento el 47,3% de la fruta tratada con 200 μgL^{-1} perdió su vida comercial, mientras que en la fruta control para el mismo tiempo se reportaron pérdidas de 84,2%. La fruta tratada con 400 μgL^{-1} de 1-MCP presentó signos de envejecimiento a los 12 días de almacenamiento y a los 15 días el 50% de la fruta había perdido su vida comercial.

En la fruta empacada en cajas tipo exportación, las pérdidas fueron mayores, los porcentajes de pérdida a los doce días fueron 50 y 60% con aplicación de 400 y 200 μgL^{-1} de 1-MCP, respectivamente.

Aunque el empaque de cartón brinda mayor soporte a la fruta y la protege contra daños en su cáscara, este empaque disminuye la aireación lo cual provoca aumento en la temperatura, favoreciendo la acción enzimática y la concentración de etileno. Lo anterior explica las diferencias en el tiempo de aparición de los signos de envejecimiento en los empaques evaluados. La fruta tratada con 1-MCP, en los dos empaques valorados, presentó signos de envejecimiento a partir del día 15.

Otros autores reportan que es posible conservar pitahaya amarilla hasta por 15 días [5], pero a temperaturas menores de almacenamiento a las utilizadas en esta investigación.

La cosecha y manipulación de las frutas genera una serie de cambios asociados con aumento en las enzimas hidrolíticas que metabolizan los componentes de la fruta [36]. La aplicación de 1-MCP inhibe la producción

del etileno [37, 38] y la unión de la molécula con los receptores [11, 12], disminuyendo los cambios a nivel del ADN y los niveles de enzimas hidrolíticas, generando mayor vida en almacenamiento [16].

CONCLUSIONES

La aplicación de soluciones acuosas de 1-MCP en pitahaya amarilla entera en estado de madurez 3, por un tiempo de exposición de 10 minutos, empacada en cajas tipo exportación ó en cajas para mercado local, representa una alternativa para prolongar en 3 días la vida comercial de la fruta, sin requerimiento de refrigeración.

La aplicación de soluciones acuosas de 200 y 400 μgL^{-1} de 1-MCP influyen cambios en pérdida de peso, tasa respiratoria y color durante el almacenamiento de pitahaya amarilla entera almacenada a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ y 85% de HR.

El tipo de empaque afectó significativamente la pérdida de peso, los sólidos solubles y el color. La aplicación de 1-MCP y el empaque en cajas tipo exportación disminuyeron los cambios de color; la aplicación de 200 μgL^{-1} de 1-MCP generó la menor variación en la luminosidad y coloración verde-amarilla en la fruta, prolongando en 3 días la vida comercial de la fruta.

El tratamiento de la pitahaya amarilla con 200 y 400 μgL^{-1} de 1-MCP y el empaque en canastillas plásticas para mercado local incrementaron el tiempo de vida comercial, sin embargo, la aplicación de 1-MCP produjo mayor pérdida de peso durante el almacenamiento.

Los resultados de este estudio confirmaron además que la pitahaya amarilla es una fruta climatérica que presentó un pico climatérico en su curva respiratoria.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan los agradecimientos al Ministerio de agricultura y Desarrollo Rural y a la Asociación de productores de pitahaya, Universidad del Valle y Universidad Nacional de Colombia por la financiación de ésta investigación.

REFERENCIAS

- [1] NERD, A., et al. High summer temperatures inhibit flowering in vine pitaya crops (*Hylocereus* spp). *Sci. Hortic-Amsterdam* 96, 343-350, 2002.
- [2] ESPINAL, C.F., MARTINEZ-COVALEDA, H.J. y PEÑA-MARIN, Y. La cadena de los frutales de exportación en Colombia: Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Observatorio Agrocadenas Colombia Documento de Trabajo N° 67, 2005.
- [3] NERD, A. y MIZRAHI, Y. Reproductive biology of cactus fruit crops. *Horticultural Reviews*. 18, 321– 346, 1997.
- [4] NERD, A. y MIZRAHI, Y. The effect of ripening stage on fruit quality after storage of yellow pitaya. *Postharvest Biol. Tec.*, 15 (2), 99-105, 1999.
- [5] RODRÍGUEZ, D., et al. Efecto de dos índices de madurez y dos temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento en poscosecha de la pitahaya amarilla. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 58 (2), 2837-2857, 2005.
- [6] CHAVEZ, S. y STEVENSON, Y. Estudio del comportamiento de algunos parámetros, durante el curso de maduración de la pitaya amarilla (*Cereus triangularis* Haw). [Tesis Magister en Ciencias - Farmacología], Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1992.
- [7] RUDAS, O.L. Contribución al estudio de las condiciones de almacenamiento en frío de la pitaya amarilla (*Acanthocereus pitahaya*). [MSc Tesis], Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1995.
- [8] PORAT, R., et al. Droby S. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on the postharvest qualities of 'Shamouti' oranges. *Postharvest Biol. Tec.*, 15, 155–163, 1999.
- [9] VALERO D., et al. Quality improvement and extension of shelf life by 1-methylcyclopropene in plum as affected by ripening stage at harvest. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 4 (3), 339–348, 2003.
- [10] CASTRO, J.A., BAQUERO, L.E. y NARVÁEZ, C.E. Catalase, peroxidase and polyphenoloxidase from pitahaya amarilla fruits (*Acanthocereus pitajaya*). *Rev.Colomb.Quim.*, 35 (1), 91-100, 2006.
- [11] TRINCHERO, G.D., et al. Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene extends postharvest life of "Bartlett" pears. *Postharvest Biol. Tec.*, 32 (2), 193–204, 2004.
- [12] SISLER, E.C. The discovery and development of compounds counteracting ethylene at the receptor level. *Biotechnol. Adv.*, 24 (4), 357–367, 2006.
- [13] SISLER, E.C., DUPILLE, E. y SEREK, M. Effect of 1-methylcyclopropene and methylenecyclopropane on ethylene binding and ethylene action on cut carnations. *Plant growth regul.*, 18 (1-2), 79–86, 1996.
- [14] SISLER, E.C. y SEREK, M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent development. *Physiol Plantarum*, 100 (3), 577–582, 1997.
- [15] BLANKENSHIP, S.M. y DOLE, J.M. 1-methylcyclopropene: a review. *Postharv. Biol. Technol.*, 28 (1), 1–24, 2003.
- [16] WATKINS, C.B. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnol. Adv.*, 24 (4), 389–409, 2006.
- [17] HUBER, D.J. Suppression of ethylene responses through application of 1-methylcyclopropene: a powerful tool for elucidating ripening and senescence mechanisms in climacteric and non-climacteric fruits and vegetables. *HortScience.*, 43 (1), 106–111, 2008.
- [18] WATKINS, C.B., NOCK, J.F. y WHITAKER, B.D. Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) under air and controlled atmosphere storage conditions. *Postharvest Biol. Tec.*, 19 (1), 17–32, 2000.
- [19] BASSETTO, E., et al. Delay of ripening of 'Pedro Sato' guava with 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol. Tec.*, 35 (3), 303–308, 2005.

- [20] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION - NTC 3554. Bogotá: ICONTEC. 1996.
- [21] MANRESA, A. y VICENTE, I. El color en la industria de alimentos. Editorial Universitaria, Cuba, 2007.
- [22] AOAC - Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists: Fruits and fruit products. Solids (Soluble) in Fruits and Fruit Product: Refractometer Method. Arlington, Virginia, USA. AOAC 932.12, 2000.
- [23] MONTES, J. y AREVALO, S. Determinación del calor de respiración de frutas por el método de titulación. *RAIA*. 2 (1), 27-37, 2001.
- [24] WU, C., et al. Effect of 1-methylcyclopropene on postharvest quality of Chinese chive scapes. *Postharvest Biol. Tec.*, 51 (3), 431-433, 2009.
- [25] GUILLÉN, F., et al. Efficacy of 1-MCP treatment in tomato fruit: Duration and concentration of 1-MCP treatment to gain an effective delay of postharvest ripening. *Postharvest Biol. Tec.*, 43 (1), 23-27, 2007.
- [26] FAN, X., ARGENTA, L. y MATTHEIS, J.P. Inhibition of ethylene action by 1- methylcyclopropene prolongs storage life of apricots. *Postharvest Biol. Tec.*, 20 (2), 135-142, 2000.
- [27] MOSTOFI, Y., et al. Effects of 1-methylcyclopropene on ripening of greenhouse tomatoes at three storage temperaturas. *Postharvest Biol. Tec.*, 27 (3), 285-292, 2003.
- [28] CHANG-YUEN, K. y SÁENZ M.V. Efecto del 1-metil-ciclopropeno (1-MCP) en la maduración de banano. *Agron Costarric.*, 29 (3), 211-220, 2005.
- [29] HARKER, F.R., et al. Physical and mechanical changes in strawberry fruit after high carbon dioxide treatments. *Postharvest Biol. Tec.*, 19 (2), 139-146, 2000.
- [30] McCANN, M.C., et al. Approaches to understanding the functional architecture of the plant cell wall. *Phytochemistry*, 57 (6), 811-821, 2001.
- [31] McCANN, M.C. y CARPITA N.C. Designing the deconstruction of plant cell walls. *Curr. Opin. Plant. Biol.*, 11 (3), 314-320, 2008.
- [32] BRUMMELL, D.A. Cell wall disassembly in ripening fruit. *Funct. Plant Biol.*, 33 (2), 103-119, 2006.
- [33] PALIYATH, G., et al. *Postharvest Biology and Technology of Fruits, Vegetables, and Flowers*. Blackwell scientific publications, 1, 31 - 38, 2008.
- [34] WILLS, R. et al. *Postharvest, an introduction to the physiology and handling of fruits and vegetables*. Kensington, Australia, 1998.
- [35] CHITARRA, A.B. y CHITARRA, M.I.F. Pós-colheita de frutas e hortaliças. *Fisiologia e manuseio*. UFLA, 2ª ed. Lavras, MG, Brasil, 2005.
- [36] LEONARDI, C., BAILLE, A. y GUICHARD, S. Predicting transpiration of shaded and non-shaded tomato fruits under greenhouse environments. *Sci Hortic-Amsterdam.*, 84 (3-4), 297-307, 2000.
- [37] CIN, V.D., et al. The ethylene biosynthetic and signal transduction pathways are differently affected by 1-MCP in apple and peach fruit. *Postharvest Biol. Tec.*, 42 (2): 124-133, 2006.
- [38] KHAN, A.S. y SINGH, Z. 1-MCP application suppresses ethylene biosynthesis and retards fruit softening during cold storage of 'Tegan Blue' Japanese plum. *Plant Sci.*, 176 (4): 539-544. 200.