

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**Efectos del 1-metilciclopropeno y atmósferas
modificadas en la calidad poscosecha de
albahaca (*Ocimum basilicum* L.)**

Liz Stephanie Patiño Cáceres

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá D.C., Colombia

2017

Efectos del 1-metilciclopropeno y atmósferas modificadas en la calidad poscosecha de albahaca (*Ocimum basilicum* L.)

Liz Stephanie Patiño Cáceres

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Director

Aníbal Herrera Arévalo

Codirector

Diego Alberto Castellanos

Línea de profundización:

Calidad de alimentos

Grupo de Investigación:

Horticultura, Área Poscosecha

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá D.C., Colombia

2017

*A papá Dios
A mis padres y hermana*

*“Bienaventurado el hombre que persevera bajo la
prueba, porque una vez que ha sido aprobado,
recibirá la mejor de las recompensas...”
(Santiago 1:12)*

Agradecimientos

A Colciencias y a la Universidad Nacional de Colombia por el programa de Jóvenes Investigadores, convocatoria 645 de 2014.

Al profesor Aníbal Herrera (PhD), director de tesis, por su valiosa orientación académica y científica durante el desarrollo de la investigación. A Diego Castellanos (PhD), codirector de tesis, por su valioso aporte científico en temas de empaque en atmósfera modificada.

Al profesor Aquiles Darghan por su guía y continuo acompañamiento en diseño y análisis estadístico. A las Profesoras María Soledad Hernández y Claudia Patricia Pérez, Jurados de la tesis, por sus aportes y sugerencias.

A la empresa Morenos LTDA y jefes de fresco, Rubiel Moncada y Elizabeth Pinzón, por el suministro del material vegetal y por su valiosa colaboración en la entrega del mismo.

A Dios, a mis padres y hermana por el apoyo incondicional. A los compañeros de Laboratorio, Juan Camilo García, Helber Balaguera, Rolando Mendoza, Fernanda Trujillo, Miguel Mendieta y Wilson Polania por su apoyo y colaboración.

Al personal de los diferentes laboratorios, ICTA (Wilson Castro, Jorge Sandoval, Dora Uribe, Paola Hernández); Laboratorio de Poscosecha y Calidad de Productos Agrícolas (Yanet Rojas); Laboratorio de Biotecnología (I.A. Diana Zabala y Rubén Cruz); Laboratorio de Fisiología vegetal (Julio Soler y Fabio Rincón), y demás personas que directa o indirectamente colaboraron para que se desarrollara este trabajo de investigación.

Resumen

La albahaca es una de las hierbas aromáticas más producidas (7.235 toneladas) y exportadas por Colombia (1.200 toneladas), pero su potencial de comercialización se ve limitada por ser un producto perecedero. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) y empaque en atmósferas modificadas (MAP) en el comportamiento poscosecha de la albahaca (*Ocimum basilicum* L.) a nivel de calidad fisicoquímica, fisiológica y sensorial, durante su vida útil. En una primera etapa se evaluó el efecto del 1-MCP a través de diferentes dosis y tiempos de tratamientos (tiempo de exposición al 1-MCP), a partir de estos resultados se seleccionó el tratamiento que mantuvo por mayor tiempo la vida útil de la albahaca y posteriormente, en una segunda etapa se determinó el efecto de ésta dosis de 1-MCP, del MAP y de la interacción de las dos tecnologías de conservación. Los resultados indicaron que la interacción entre la dosis de $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP y el tiempo de tratamiento de 24 h fue eficaz en la prolongación de la vida útil de la albahaca (por 8 días) almacenada a 17°C . Así mismo, el método combinado de 1-MCP y MAP como tecnología de conservación fue eficaz en extender la vida útil de la albahaca (por 18 días) almacenada a 11°C , manteniendo una calidad comercializable.

Palabras clave: Poscosecha, tecnologías de conservación, parámetros de calidad, vida útil.

Abstract

Basil is one of the herbs more produced (7.235 Tons) and exported (1.200 Tons) by Colombia, but its potential marketing has been limited by a perishable product. The objective of this study was to evaluate the effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and Modified Atmosphere Packaging (MAP) on the postharvest behavior of basil (*Ocimum basilicum* L.) a level of physicochemical, physiological and sensorial quality, during its shelf life. In a first stage the effect of the 1-MCP was evaluated through different doses and treatment times (exposure time), from these results we selected the treatment that maintained for a longer time the shelf life of the Basil and later in a second stage, the effect of the dose of 1-MCP, the MAP and the interaction of the two conservation technologies were determined. The results indicated that the interaction between 0.3 μL L-1 dose of 1-MCP and 24 h treatment time was effective on prolonging the shelf life of basil (for 8 days) stored at 17 °C. Also, the combined method of 1-MCP and MAP as conservation technology was effective on extending the shelf life of basil (for 18 days) stored at 11 ° C, maintaining a marketable quality of the basil.

Keywords: Postharvest, conservation technologies, quality parameters, shelf life.

Contenido

	Pág.
Resumen y Abstract	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XV
Lista de Símbolos y abreviaturas	XVI
1. Introducción	1
1.1 Generalidades de la albahaca	1
1.1.1 Origen y proceso poscosecha	1
1.1.2 Propiedades nutricionales de la albahaca	1
1.1.3 Importancia económica y social	2
1.2 Fisiología de la senescencia en hojas.....	3
1.2.1 Generalidades	3
1.2.2 Etileno.....	4
1.3 <i>Tecnologías de conservación poscosecha de los vegetales</i>	10
1.3.1 1-metilciclopropeno (1-MCP)	11
1.3.2 Empaque en atmosfera modificada (MAP).....	15
1.4 Literatura Citada	18
2. Planteamiento del problema y objetivos	31
2.1 Planteamiento del problema.....	31
2.2 Objetivos	32
2.2.1 Objetivo general.....	32
2.2.2 Objetivos específicos.....	32
3. Metodología general	33
3.1 Ubicación	33
3.2 Material vegetal.....	33
3.3 Tratamiento con 1-metilciclopropeno.....	33
3.4 Tratamiento con 1-metilciclopropeno (1-MCP) y empaque en atmosfera modificada (MAP)	35
Parámetros evaluados	37
4. Resultados objetivo específico 1: Efecto de la concentración y del tiempo de tratamiento con 1-metilciclopropeno (1-MCP) en la poscosecha de albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	41
4.1 Introducción.....	42

4.2	Resultados y discusión	44
4.3	Conclusiones	56
4.4	Literatura citada	57
5.	Resultados objetivo específico 2: Evaluación de 1-MCP y empaque en atmósfera modificada en la calidad poscosecha de la albahaca	65
5.1	Introducción	66
5.2	<i>Resultados y discusiones</i>	68
5.3	Conclusiones	84
5.4	Literatura citada	84
6.	Conclusiones y recomendaciones	91
6.1	Conclusiones.....	91
6.2	Recomendaciones.....	92
A.	Anexo: Publicación en la revista Agronomía Colombiana.....	93
B.	Anexo: Resumen ponencia realizada en el III Congreso Internacional en Investigación e Innovación en Ciencia y Tecnología de Alimentos	95

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Efecto de diferentes concentraciones (A) y tiempos de tratamiento (B) con 1-MCP en la pérdida de peso de la albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de $n= 12$ de cada punto de muestreo y la barra representa el error estándar. Un asterisco (*), dos asteriscos (**), tres asteriscos (***) indican un nivel de significancia del 0,05, 0,01 y 0,001, respectivamente, y acorde con ANOVA.	45
Figura 2. Efecto de diferentes concentraciones (A) y tiempos de tratamiento (B) con 1-MCP en la intensidad respiratoria de la albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de $n= 12$ en cada punto de muestreo y la barra representa el error estándar. Un asterisco (*), dos asteriscos (**), indican un nivel de significancia del 0,05 y 0,01, respectivamente, y acorde con ANOVA.	47
Figura 3. Efecto de diferentes concentraciones (A) y tiempos de tratamiento (B) con 1-MCP en la fuga de electrolitos de la albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de $n= 12$ en cada punto de muestreo y la barra representa el error estándar. Un asterisco (*), dos asteriscos (**), tres asteriscos (***) indican un nivel de significancia del 0,05, 0,01 y 0,001, respectivamente, acorde con ANOVA.	48
Figura 4. Efecto de la interacción de diferentes concentraciones (0,3, 0,6 y 0,9 $\mu\text{L L}^{-1}$) y tiempos de tratamiento (12, 16 y 24 h) con 1-MCP en la luminosidad de la albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de $n= 4$ en cada punto de muestreo y la barra representa el error estándar.	50
Figura 5. Efecto de la interacción de diferentes concentraciones (0,3, 0,6 y 0,9 $\mu\text{L L}^{-1}$) y tiempos de tratamiento (12, 16 y 24 h) con 1-MCP en las coordenadas cromáticas a^* y b^* de la albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de $n= 4$ en cada punto de muestreo y la barra representa el error estándar.	51
Figura 6. Efecto de la interacción de diferentes concentraciones (0,3, 0,6 y 0,9 $\mu\text{L L}^{-1}$) y tiempos de tratamiento (12, 16 y 24 h) con 1-MCP en el contenido de clorofilas totales de la albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de $n= 4$ en cada punto de muestreo y la barra representa el error estándar.	53
Figura 7. Efecto de la interacción de diferentes concentraciones (0,3, 0,6 y 0,9 $\mu\text{L L}^{-1}$) y tiempos de tratamiento (12, 16 y 24 h) con 1-MCP en la calidad visual de la albahaca. Las barras representan el error estándar para $n = 4$. Un asterisco (*), indica un nivel de significancia del 0,05 según la prueba de Kruskal-Wallis.	55

- Figura 8.** Efecto de la interacción de diferentes concentraciones (0,3, 0,6 y 0,9 $\mu\text{L L}^{-1}$) y tiempos de tratamiento (12, 16 y 24 h) con 1-MCP en la vida útil (escala generada) la de albahaca. Las barras representan el error estándar para $n = 4$. Se realizó el test de Kruskal-Wallis seguido del test de Wilcoxon para la comparación de medias. Valores con la misma letra no muestran diferencias significativas a $P < 0.05$. 55
- Figura 9.** Efecto de los tratamientos que presentaron una vida útil de 5 (0,3 y 0,6 $\mu\text{L L}^{-1}$ – 16 h, 0,9 $\mu\text{L L}^{-1}$ – 24 h) y 8 días (0,3 $\mu\text{L L}^{-1}$ – 24 h) en la calidad visual, a los 8 dda. 56
- Figura 10.** Efecto de 1-MCP, MAP y su interacción en la pérdida de peso de la albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de $n=4$ en cada punto de muestreo y la barra representa el error estándar. Tres asteriscos (***) indican un nivel de significancia de 0,001 acorde con ANOVA. 70
- Figura 11.** Efecto de 1-MCP, MAP y su interacción en la intensidad respiratoria de la albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de $n=4$ en cada punto de muestreo y la barra representa el error estándar. Un asterisco (*) y dos asteriscos (**) indican un nivel de significancia de 0,05 y 0,01, respectivamente, y acorde a ANOVA. 72
- Figura 12.** Efecto de 1-MCP, MAP y su interacción en la fuga de electrolitos de la albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de $n=4$ en cada punto de muestreo y la barra representa el error estándar. Un asterisco (*) y dos asteriscos (**) indican un nivel de significancia de 0,05 y 0,01, respectivamente, y acorde a ANOVA. 73
- Figura 13.** Efecto de MAP en la concentración de gases de O_2 y CO_2 (%) de muestras de albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de $n=4$ en cada punto de muestreo y la barra representa el error estándar. Un asterisco (*) y dos asteriscos (**) indican un nivel de significancia de 0,05 y 0,01, respectivamente, y acorde a ANOVA. 74
- Figura 14.** Efecto de 1-MCP, MAP y su interacción en la producción de etileno ($\text{cm}^3 \text{kg}^{-1} \text{d}^{-1}$) de muestras de albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de $n=4$ en cada punto de muestreo y la barra representa el error estándar. Un asterisco (*) y dos asteriscos (**) indican un nivel de significancia de 0,05 y 0,01, respectivamente, y acorde a ANOVA. 75
- Figura 15.** Efecto de 1-MCP, MAP y su interacción en la Luminosidad (L) de muestras de albahaca. Las barras representan el Error estándar para $n = 4$. ***, nivel de significancia de <0.001 . **, nivel de significancia de <0.01 acorde con ANOVA. 77
- Figura 16.** Efecto de 1-MCP, MAP y su interacción en la coordenada cromática a^* y b^* de muestras de albahaca. Las barras representan el Error estándar para $n = 4$. ***, nivel de significancia de <0.001 . **, nivel de significancia de <0.01 . *, nivel de significancia de <0.05 acorde a ANOVA. 79

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Producción de etileno y sensibilidad a daños por etileno en diversas hortalizas y hierbas culinarias.	5
Tabla 2. Efecto de la exposición al etileno de algunos vegetales.	7
Tabla 3. atamientos del objetivo 1 aplicados a las muestras de albahaca	35
Tabla 4. Tratamientos del objetivo 2 aplicados a las muestras de albahaca	36

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>1-MCP</i>	1-methylciclopropene
<i>MAP</i>	Packing Modified atmosphere
<i>SAM</i>	S-adenosyl methionine
<i>ACC</i>	1-aminociclopropane-1-carboxylic acid
<i>ACS</i>	1-aminociclopropane-1-carboxylate synthase
<i>ACO</i>	Amino cyclopropane carboxylate oxidase
<i>MTA</i>	5'-Methylthioadenosine Nucleosidase
<i>MTR</i>	5-Methylthioribose Kinase
<i>ETR</i>	Ethylene response/ethylene receptor
<i>ERS</i>	Ethylene response sensor
<i>EIN</i>	Ethylene insensitive
<i>CTR1</i>	Constitutive triple response1
<i>EIL1</i>	EIN-Like1
<i>SAGs</i>	Senescence Associated Genes
<i>AVG</i>	Aminoethoxy vinyl glycine
<i>AOA</i>	Amino oxyacetic acid
<i>GRAS</i>	Generally recognized as safe
<i>FDA</i>	Food and Drug Administration
<i>EPA</i>	Environmental Protection Agency
<i>PAs</i>	Polyamines
<i>STS</i>	Silver thiosulfate
<i>DACP</i>	Diazocyclopentadiene
<i>NBD</i>	2,5-norboARNdiene
<i>SOD</i>	Superoxide dismutase
<i>CAT</i>	Catalase
<i>POX</i>	Peroxidase

<i>SS-S</i>	Sucrose synthase-synthesis
<i>SS-C</i>	Sucrose synthase-cleavage
<i>GK</i>	Glucokinase
<i>UGPasa</i>	UDP-glucose pyrophosphorylase
<i>GST</i>	Glutathione s-transferase
<i>LDPE</i>	Low Density Polyethylene
<i>HDPE</i>	Low Density Polyethylene
<i>PP</i>	Polypropylene
<i>OPP</i>	Oriented polypropylene
<i>PVC</i>	Polyvinyl chloride
<i>PA</i>	Polyamide
<i>ROS</i>	Reactive oxygen species
<i>PPO</i>	Polyphenol oxidase

1. Introducción

1.1 Generalidades de la albahaca

1.1.1 Origen y proceso poscosecha

Albahaca (*Ocimum basilicum* Linnaeus, Lamieaceae), es originaria de la India, existen más de 150 variedades (Shen et al., 2015) que se distribuyen extensamente en áreas tropicales (Mahajan et al., 2013). La cosecha en albahaca puede darse entre 90 y 110 días después de la siembra. Los tallos se cortan entre 10 y 15 cm, según requerimientos del comprador. Posterior a su cosecha se recomienda que al producto se le retire el calor de campo, lo cual consiste en realizar un preenfriado a temperatura de 12 °C en cuartos fríos, de igual manera se recomienda mantener esta temperatura durante toda la cadena de poscosecha (Jaramillo et al., 2010). En el almacenamiento no se manejan bajas temperaturas porque la albahaca es sensible al daño por frío (Costa et al., 2013), de tal manera, las temperaturas no pueden ser menores a 10°C (Hassan y Mahfouz, 2010).

1.1.2 Propiedades nutricionales de la albahaca

La albahaca es apetecida por su importancia nutricional, industrial, aromática, ornamental, culinaria y médica (Patel et al., 2016). Las hojas son muy apetecidas por su aroma característico, aroma que imparten aceites esenciales (Calín-Sánchez et al 2012; Klimankova et al., 2008). Las hojas de albahaca se pueden utilizar frescas o secas. (Filip et al., 2016). Dos de los compuestos fenólicos más importantes que imparte el aroma en la albahaca son *metil chavicol* y *linalol* (Klimankova et al., 2008; Singh et al., 2014; Filip et al., 2016). Estos aceites esenciales poseen propiedades antioxidantes (Filip et al., 2016), ideales para prolongar la vida útil de los alimentos y reducción de los riesgos de enfermedades relacionadas con la oxidación de lípidos en el cuerpo humano, sin que cause riesgos potenciales para la salud a largo plazo como posiblemente lo realizan los antioxidantes sintéticos (Shen et al., 2015). Es así como *Ocimum basilicum* es catalogada como una de las especias más importantes y utilizadas ampliamente por sus propiedades antioxidantes,

antibacterianas (Lu *et al.* 2014), antiinflamatorias y cardioprotectoras, (Mahajan *et al.*, 2013), otorgadas por sus compuestos fitoquímicos (Synowiec *et al.*, 2014). Por sus propiedades medicinales se utiliza para tratamientos de dolores de cabeza, tos, diarrea, estreñimiento, verrugas, mal funcionamiento del riñón (Klimankova *et al.*, 2008) y afecciones dermatológicas (Marshall, 2012).

1.1.3 Importancia económica y social

Las plantas aromáticas además de tener un papel importante a nivel medicinal y nutricional para los seres humanos lo tienen también a nivel económico y social. Los principales países productores y exportadores de plantas medicinales son China, Nepal, Sri Lanka, Bulgaria, Alemania, Chile y Argentina. La producción de hierbas aromáticas en Colombia para el 2012 fue de 7.235 toneladas, siendo albahaca, cebollín, eneldo, laurel, mejorana, menta, orégano, romero, tomillo, cilantro, salvia y cardamomo las especies más producidas, principalmente en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca, Valle del Cauca y eje cafetero (La República 2012).

Para el 2012 Colombia exportó cerca de 1.200 toneladas de hierbas aromáticas en fresco por un valor de US\$2,6 millones, siendo Estados Unidos, Canadá y la Unión Europea los principales destinos (La República 2012). La albahaca y menta entre otras hierbas aromáticas en el 2013 formaron parte de los productos agrícolas más comercializados en el 2013, ocupando el segundo y quinto puesto, con un valor de 4,99 y 1,98 millones de dólares respectivamente, mientras que bananos y plátanos ocuparon el primer y segundo puesto, con un valor de 213 y 42 millones de dólares, respectivamente (Procolombia, 2015). La mayor participación en volumen de exportación corresponde a albahaca (36%), seguida de romero, tomillo y menta, cada una con el 12% (Bareño y Clavijo 2006; Procolombia, 2015). Colombia es el tercer proveedor de albahaca para EE.UU. con el 15.3% del mercado, después de México y Egipto. El crecimiento del mercado mundial de plantas aromáticas y medicinales oscila entre 3% y el 12% anual (De la Torre y López, 2010). En síntesis, se puede decir que la cadena productiva de plantas medicinales y aromáticas en Colombia presenta una dinámica creciente. (Agronet, 2006).

A nivel nacional la comercialización de hierbas aromáticas se realiza principalmente en las plazas de mercado a pequeña escala, allí las pérdidas del producto pueden alcanzar un 50 % debido a los precios fluctuantes, a la falta de demanda y al inadecuado manejo poscosecha (Cardona y Barrientos, 2011; Díaz, 2003). De igual manera, las pérdidas pueden

aumentar en un 30% dependiendo de la calidad del material adquirido (Díaz, 2003). Adicionalmente, en Colombia han existido limitaciones para la producción de plantas aromáticas bajo estándares de calidad de exportación por falta de conocimiento sobre el manejo tecnológico del cultivo (Cubides, 2008), ocasionando un alto porcentaje de pérdidas en poscosecha, en procesamiento y comercialización, hasta del 40% en cada uno de los eslabones (FAO 1989; FAO, 2012). Por último, a nivel social, el 54% de los laboratorios utiliza como materia prima vegetal plantas medicinales (Castro *et al.*, 2013).

En promedio el sector genera 8200 empleos directos en laboratorios, que alcanzan cerca de 100 empresas y más de 2500 establecimientos comercializadores (Agronet, 2006).

1.2 Fisiología de la senescencia en hojas

1.2.1 Generalidades

Se plantean tres fases en el proceso de senescencia foliar, la primera, fase de iniciación, que puede ser inducida por las hormonas, el medio ambiente, la edad de la planta o los patógenos. A nivel fisiológico, se cruzan los umbrales metabólicos, se altera el estado Redox y se activa la cascada de señalización; en la segunda fase o fase intermedia está influenciada por las hormonas y el medio ambiente, durante esta etapa, las células de la hoja se reorganizan para responder a la degeneración, desplazando el metabolismo de autotrófico a heterotrófico y por destoxificación; y la tercera, fase de la senescencia foliar, la cual se caracteriza por la acumulación de antibióticos, la liberación de radicales libres, la eliminación de los metabolitos restantes y la pérdida irreversible de integridad celular y viabilidad. (Ferrante y Francini, 2006).

La recolección de productos hortofrutícolas genera estrés, el cual desencadena un incremento en la respiración, una maduración acelerada y una muerte del producto de manera rápida (Hernández *et al.*, 2010). Durante la senescencia, los tejidos de las plantas suelen sufrir deterioro y daño (Lemoine *et al.*, 2009), esto puede ser causado por la disminución de la capacidad antioxidante y un aumento en la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Hassan y Mahfouz, 2012). Los síntomas de daño a nivel celular se dan a causa de la pérdida de la integridad de la membrana plasmática, que conduce a la descompartimentación celular y a la liberación de solutos del citosol (Lemoine *et al.*, 2009).

La albahaca se caracteriza por ser un producto perecedero que presenta una vida útil de 1 a 2 semanas, dependiendo de la temperatura de almacenamiento (Cantwell y Reid 2001). La calidad poscosecha de los productos perecederos puede verse influenciada por factores que pueden acelerar los procesos fisiológicos, principalmente la transpiración y la respiración, procesos por los cuales se pierde agua en productos cosechados (Sudheer y Indira 2007); lo que se ve reflejado en la pérdida de peso y en la pérdida de la calidad del producto comercializado (Cantwell y Reid 2001; Sudheer y Indira 2007). De igual forma, el estrés causado por altas o bajas temperaturas, daños mecánicos, inadecuada manipulación, entre otros factores, pueden promover la producción de etileno e inducir el aumento del metabolismo del producto (Saltveit, 1999). Lo cual se ve reflejado en el aumento de la tasa respiratoria, debido a que la respiración produce calor, CO₂ y agua (Rees *et al.*, 2012). En el caso de la albahaca, se pueden presentar daños por frío cuando se almacenan a bajas temperaturas (<10°C) lo cual hace que se acelere el proceso de senescencia, tal como lo indica Karakas y Yildiz, (2007).

1.2.2 Etileno

El etileno (C₂H₄) es una hormona vegetal gaseosa que regula una gama de procesos fisiológicos durante el crecimiento y desarrollo de las plantas, incluyendo la germinación de semillas, la formación de meristemas apicales, el desarrollo floral (Yoo *et al.*, 2009), la maduración de frutos climatéricos, abscisión de diferentes órganos, senescencia de hojas, flores y frutos (Caprioli y Quercia, 2014; Laurentiu *et al.*, 2015), además de diferentes respuestas al estrés biótico y abiótico (Fluhr, 1998; O 'Donnell *et al.*, 2003; Yoo *et al.*, 2009). Todas las partes de las plantas superiores pueden sintetizar etileno (Taiz y Zeiger, 2006), pero la cantidad producida varía significativamente dependiendo de la especie, órgano y edad del órgano (Salisbury y Ross, 2000; Ferrante y Francini, 2006), sin embargo, los niveles más altos corresponden a los producidos por frutos maduros y tejidos senescentes (Taiz y Zeiger, 2006). De igual manera, situaciones de estrés biótico y abiótico, o daños causados a los tejidos también pueden desencadenar la producción de etileno (Rinaldi *et al.*, 2010; Gross *et al.*, 2016). En la mayoría de los tejidos vegetativos, C₂H₄ sólo se produce en cantidades biológicamente activas durante las primeras etapas de desarrollo (Saltveit, 1999) o en respuesta al estrés biótico o abiótico (O 'Donnell *et al.*, 2003).

El etileno es biológicamente activo a concentraciones bajas, menos de 0,1 µL L⁻¹, (Martínez-

Romero et al., 2007; Taiz y Zeiger, 2006), pero la cantidad producida y la cantidad necesaria para inducir la maduración o senescencia varía entre especies (Tabla 1), cultivar y etapa de desarrollo (Saltveit, 1999). Para el caso de hortalizas de hojas se encuentra información limitada de las cantidades referentes a producción y a sensibilidad, de tal manera Ferrante y Francini (2006), plantean una clasificación de cuatro grandes grupos (incluyen hojas, frutos u otros órganos), considerando su sensibilidad al etileno y su producción endógena: 1). Plantas sensibles que producen una alta cantidad de etileno; 2). Plantas sensibles que producen una baja cantidad de etileno; 3). Plantas insensibles que producen una alta cantidad de etileno y 4). Plantas insensibles que producen una baja cantidad de etileno. Para el caso de hierbas aromáticas frescas, podrían clasificarse en el numeral 2, de acuerdo a lo planteado por Cantwell (1997) citado por Gross *et al.* (2016), que indica que las hierbas culinarias (incluyendo la albahaca) presentan una producción de etileno (PE) baja ($< 0,1 \mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$), pero la sensibilidad al mismo es alta. Es así como las bajas concentraciones de etileno ($0,03$ y $0,1 \mu\text{L L}^{-1}$) pueden ser suficientes para inducir la maduración y senescencia en las variedades que presentan una sensibilidad alta a la hormona (Martínez-Romero *et al.*, 2007). De tal manera, la mayoría de efectos del etileno en tejido vegetativo son resultado de la respuesta del tejido a un estrés o a la exposición intencional o no intencional de tejido a niveles activos de C_2H_4 (Gross et al., 2016).

Tabla 1. Producción de etileno y sensibilidad a daños por etileno en diversas hortalizas y hierbas culinarias.

Producto	Etileno	
	Producción ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)	Sensibilidad ($\mu\text{L L}^{-1}$)
Frutos climatéricos		
Chirimoya	(>10) ***	($0,03-0,1$) ***
Aguacate, Melón, Maracuyá, Uchuva, Pera, Manzana, Kiwi	***	($>0,4$) **
Albaricocque, Banano, Plátano, Mango	($1-10$) **	($0,03-0,1$) ***
Nectarina, Papaya, Melocotón, Ciruela, Tomate	**	($>0,4$) **
Vegetables y frutos no climatéricos		
Brócoli, Coles de bruselas, Repollo, Zanahoria	($<0,1$) *	($0,01-0,02$) ***
Coliflor, Pepino cohombro, Lechuga	*	***
Papa, Espinaca, Fresa	*	***
Esparrago, Frijol, Apio, Cítricos, Berejena	*	($>0,04-0,2$) **
Alcachofa, Cereza, Uva, Piña	*	($>0,2$) *
Hierbas aromáticas y culinarias		
Albahaca, Menta	($< 0,1$)*	***
Mejorana, Orégano, Tomillo, Estragón	*	-

*bajo, ** medio, *** alto, producción de etileno y sensibilidad. Adaptado de Martínez-

Romero et al. (2007) y Gross *et al.* (2016).

En estudios realizados por Hassan y Mahfouz (2010) se reportan producciones promedios mínimos y máximos de 0,15 y 0,24 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectivamente, durante el tiempo de almacenamiento, mientras que en estudios realizados por Aharoni *et al.* (2010) las producciones fueron de 0,1 y 0,6 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectivamente, es así como las variaciones de PE pueden estar sujetas entre especies, variedades y cultivares. Los mayores valores de PE (0,24 y 0,6 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$) podrían ser catalogados como picos de producción, los cuales han sido referenciados como punto climatérico (término utilizado en frutos), tal y como mencionan Hassan y Mahfouz (2010).

En la poscosecha de productos agrícolas el etileno juega un papel importante en la regulación de la maduración de los frutos, etapa en la cual se desarrollan las características organolépticas (Bapat et al., 2010), y en la senescencia de los tejidos, proceso en el cual se disminuye el valor del producto debido a la pérdida de la calidad (Valdenegro y Sanchez, 2002). Los síntomas por exposición de etileno en los vegetales es variable (Bower y Mitcham 2001) (Tabla 2), en lo que corresponde a productos de hoja, se ha observado que el etileno en el proceso de senescencia promueve la degradación de proteínas (Hassan y Mahfouz, 2010; Costa et al., 2013), el incremento de la respiración, degradación de clorofilas (amarillamiento de los tejidos), caída de hojas (Koukounaras et al., 2007, 2009; Valdenegro y Sanchez, 2002; Watkins, 2006), e incremento de especies reactivas del oxígeno (ROS) (Ferrante y Francini, 2006; Hassan y Mahfouz, 2012).

En síntesis, el papel del etileno en la agricultura es doble; por un lado, es necesario para la maduración de frutos y el consecuente desarrollo de características sensoriales requeridas para el consumo, pero su efecto puede llegar a ser negativo, debido a la aceleración de la senescencia, ocasionando problemas relacionados con el almacenamiento y transporte de productos agrícolas (Martínez-Romero et al., 2007).

A pesar de los diferentes efectos del etileno en los vegetales y en los productos agrícolas, se puede decir de forma generalizada que los procesos regulados por etileno en la maduración y la senescencia son resultado de cambios a nivel fisiológico, bioquímico y molecular (Kesari *et al.*, 2007), de esta manera, el proceso de biosíntesis de etileno es similar en los diferentes productos, el cual comienza con la unión a un

receptor, seguido de la señalización (activación de una o más vías de transducción de señales), que conduce a la respuesta celular, y posterior a esto, el etileno ejerce sus efectos principalmente alterando el patrón de expresión génica que codifican para las enzimas que participan en la maduración y senescencia (Zeiger, 2006; Bapat *et al.*, 2010).

Tabla 2. Efecto de la exposición al etileno de algunos vegetales.

Producto	Efecto de exposición a etileno
Esparrago	Endurecimiento de tallos, amarillamiento de las puntas
Frijol	Amarillamiento
Brócoli	Amarillamiento de los floretes, decaimiento
Col de Bruselas	Amarillamiento de las hojas exteriores
Repollo	Abscisión de hojas
Zanahoria	Formación de compuestos amargos que resulta en pérdida de sabor
Coliflor	Pérdida de color de la pella, distorsión del vástago.
Pepino	Acelera el amarillamiento y decaimiento
Hierbas	Amarillamiento de hojas, distorsión de tallo, abscisión de hojas (solo en algunas hierbas)
lechuga	Manchas rojizas a lo largo de la nervadura media
Cebolla	Aumento de brotes durante el almacenamiento
Guisante	Amarillamiento del tejido del cáliz
Espinaca	Amarillamiento de las hojas
Papa dulce	Pérdida de flavor
Tomate	Maduración de verde a rojo, ablandamiento.

Información toma de Bower y Mitcham (2001).

1.2.2.1 Biosíntesis del etileno

El etileno se sintetiza a partir del aminoácido metionina, el cual pasa a S-adenosil-L-metionina (SAM) en una reacción catalizada por la enzima SAM sintetasa, luego, SAM se convierte en 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC) por la enzima ACC sintasa (ACS), por último, la ACC pasa a etileno en una reacción catalizada por la ACC oxidasa (ACO). (Woo *et al.*, 2013; Taiz y Zeiger, 2006). Estas dos últimas enzimas (ACS y ACO) son consideradas como enzimas limitadoras de velocidad, cuya regulación depende de las señales ambientales y endógenas (Laurentiu *et al.*, 2015).

En adición, en la síntesis de etileno la metionina puede ser reciclada a través del ciclo de Yang; el ciclo comienza con la transformación de la ACC a 5'-metiltioadenosina (MTA), que mediante la enzima MTA nucleosidasa se convierte a 5'-metiltioribosa (MTR), luego MTR se fosforila por MTR quinasa para formar 5-metiltioribosa 1-fosfato, a partir del cual se produce α -keto- α ácido metiltiobutírico y metionina nuevamente (Bradford, 2008; Taiz y Zeiger, 2006). De esta manera, a través del ciclo de Yang se pueden obtener altas tasas de producción de etileno cuando se tienen niveles bajos de metionina intracelular (Barry y Giovannoni, 2005).

Existen reportes de dos sistemas de biosíntesis de etileno en plantas angiospermas, sistema autoinhibitorio (sistema I) que hace referencia al mecanismo de retroalimentación negativo (el etileno inhibe su propia síntesis) y sistema autocatalítico (sistema II) que hace referencia al mecanismo de retroalimentación positivo (el etileno estimula su propia síntesis) (Ferrante y Francini, 2006). El mecanismo de retroalimentación negativo es el encargado de producir niveles basales de etileno en los tejidos y se expresa en respuesta al estrés, durante el crecimiento de las plantas, en el estado preclimático de frutos climatéricos y durante el desarrollo de frutos no climatéricos, mientras que el mecanismo de retroalimentación positivo, ocurre en la senescencia floral y la maduración de frutos climatéricos (Bouzayen *et al.*, 2010; Bapat *et al.*, 2010).

1.2.2.2 Señalización celular

La señalización inicia por la unión del etileno a un grupo de receptores proteicos (los cuales pueden variar entre especies), ETR1 (ETHYLENE RESPONSE 1); ETR2 (ETHYLENE RESPONSE 2); ERS1 (ETHYLENE RESPONSE SENSOR); ERS2 (ETHYLENE RESPONSE SENSOR) y EIN4 (ETHYLENE INSENSITIVE 4), localizados en la membrana del retículo endoplasmático (Shigenaga y Argueso, 2016).

El siguiente componente en la vía de señalización es CTR1 (CONSTITUTIVE-TRIPLERESPONSE1). Esta proteína quinasa Raf-like ser/thr interactúa con el dominio quinasa de los receptores, de esta manera, en ausencia de etileno, los receptores mantendrían el extremo N-terminal de CTR1 en una conformación tal que CTR1 es activo y capaz de reprimir las respuestas de etileno aguas abajo, mientras que cuando se da el enlace con etileno se induciría un cambio conformacional tal que el extremo N de CTR1 autoinhibiría su actividad quinasa y de esta manera se daría la activación del factor dme

transcripción EIN2 (Chen *et al.*, 2005). CTR1 también es activado mediante una cascada de fosforilaciones (Chen *et al.*, 2005; Yang *et al.*, 2015). Indistintamente de cómo se dé la activación de CTR1 esta proteína se considera un regulador negativo de la señalización de etileno.

EIN2 (ETHYLENE INSENSITIVE2), regulador positivo de la vía, regula la disponibilidad del factor de transcripción EIN3 mediante un mecanismo hasta el momento desconocido (Chen *et al.*, 2005). Lo que resulta en la estabilización y activación de los factores de transcripción ETHYLENE INSENSITIVE 3 EIN3 y diversas proteínas de tipo EIN3 (EIL1) (Chen *et al.*, 2005; Shigenaga y Argueso, 2016), lo que induce el inicio a la respuesta transcripcional al etileno (Golden *et al.*, 2014).

La familia EIN3/EIL estimula la transcripción de otros factores de transcripción tales como ERF1 (ETHYLENE-RESPONSE-FACTOR1), considerado factor de respuesta de etileno (Alonso *et al.*, 2003; Taiz y Zeiger, 2006), que inducen la expresión de varios genes relacionados con los procesos de crecimiento, desarrollo, maduración y senescencia. Entre los genes de respuesta se encuentran diferentes isoformas de ACS, lo que quiere decir que ACS está codificado por familias de genes, de tal manera que se dan diferentes regulaciones de expresión entre los miembros de la familia (Chen *et al.*, 2005).

En plantas de *Arabidopsis* fueron aislados 12 genes ACS (ACS1 a ACS12) y todos ellos muestran diferentes patrones de expresión a lo largo del crecimiento y desarrollo, y durante diversas condiciones de estrés (Li *et al.*, 2013). Dentro de los genes relacionados con la maduración, LeACS2 y 4, en conjunción con LeACO1 y 4 se identificaron como los responsables de la alta producción de etileno en el sistema II en tomate (Cara y Giovannoni, 2008), en brócoli el gen ACS2 fue relacionado con el proceso de maduración (Gang *et al.*, 2009).

De igual manera, existen genes afectados por el etileno denominados genes asociados a la senescencia (SAGs), los cuales se activan o reprimen durante la etapa de la senescencia (Ferrante y Francini, 2006; Woo *et al.*, 2013). Algunos SAGs asociados a la degradación de la clorofila son gen Chlase (codifica la clorofilasa) y gen SPG31 (codifica para proteinasas cisteína), el cual parece estar implicado en la proteólisis y remobilización del nitrógeno durante el proceso de senescencia foliar, entre otros

(Ferrante y Francini, 2006). De esta manera, se puede afirmar que los procesos de maduración y senescencia son inducidos por una variedad de genes que pueden formar parte de una familia como en el caso de ACS.

1.3 Tecnologías de conservación poscosecha de los vegetales

El principal reto de la poscosecha a nivel de ciencia y tecnología, es disminuir las pérdidas de alimentos, lo cual se ha logrado por medio de diferentes estrategias que permiten prolongar el tiempo de almacenamiento de los productos agrícolas, manteniendo unos niveles de calidad adecuados. Lo anterior se ha logrado mediante el manejo del etileno, principalmente, de tal forma que su actividad fisiológica sea baja o nula (Ayoub *et al.*, 1976).

Existen una serie de compuestos que disminuyen los efectos del etileno a diferentes niveles. Por ejemplo, (1) a nivel de la biosíntesis, se han reportado inhibidores de la enzima ACC sintasa (ACS), como el AVG (aminoetoxi vinil glicina) y el AOA (ácido aminooxiacético), además de compuestos que afectan la actividad de la enzima ACC oxidasa (ACO) como el Co^{2+} , el AIB (ácido indolbutírico), el etanol, el acetaldehído y el CO_2 . En este mismo grupo, se han reportado compuestos que compiten por el precursor del etileno S-adenosil metionina (SAM) como diferentes poliaminas (PAs). Otro grupo de compuestos (2) inhiben la acción elicitora del etileno, dentro de los cuales se encuentran el ion plata, el tiosulfato de plata (STS), el DACP (diazociclopentadieno irradiado), el NBD (2,5-norbornadieno), las olefinas cíclicas y los ciclopropenos sintéticos. Finalmente se encuentran los compuestos que remueven el etileno de la atmósfera (3), donde se pueden citar absorbedores (carbono activado y zeolita) y oxidantes del etileno (KMnO_4) (Arora, 2008; Martínez-Romero *et al.*, 2007).

Algunos problemas con los anteriores compuestos es su alta toxicidad para el ambiente y los humanos, como el STS, DACP, NBD y el KMnO_4 (Reid y Staby, 2008). Por el contrario el 1-MCP presenta un modo de acción que no es tóxico para el ser humano ni para el ambiente, siendo registrado como un químico GRAS (*generally recognized as safe*) por la FDA en 2004 y como un “safer” por la EPA en 2002 (Blankenship y Dole 2003).

Otra de las tecnologías de conservación que ha sido eficaz en la conservación de los productos agrícolas en poscosecha consiste en la modificación del ambiente de almacenamiento, generalmente por la disminución de la concentración de oxígeno, a veces asociado con un aumento en la concentración de dióxido de carbono. En algunos casos, las concentraciones atmosféricas se controlan estrechamente durante el período de almacenamiento (almacenamiento en atmósfera controlada), y en otros casos, después de un período de modificación inicial, se puede permitir que la atmósfera se altere mediante la respiración del propio producto (almacenamiento de atmósfera modificada). (Rees et al., 2012). Estos mismos autores indican que las atmósferas controladas se manejan principalmente para grandes cantidades de producto (100-1000 kg), mientras que en las cantidades pequeñas (<500 g) o unitarias, como paquetes de consumo, son utilizadas las atmósferas modificadas.

En atmósferas modificadas, también suele hablarse de empaque de atmósfera modificada (MAP), la cual hace referencia al desarrollo de una atmósfera modificada alrededor del producto mediante el uso de empaques construido de película polimérica semipermeable o con difusión restringida a través de uno o más poros (Kader et al., 1989). El MAP también puede ser clasificado como MAP activo y pasivo. En el MAP pasivo el empaque es sellado bajo condiciones de aire normales, mientras que en el activo el empaque contiene una mezcla de gases (Sinha et al., 2011). La aplicación de la tecnología MAP activo implica costos adicionales, por la aplicación de gases como O_2 , CO_2 y N_2 . Sin embargo, sin incurrir en aplicaciones de gases, se ha logrado prolongar la vida útil de productos agrícolas (Ospina y Cartagena, 2008; Mangaraj et al., 2009), de esta manera el MAP pasivo ha sido eficaz.

1.3.1 1-metilciclopropeno (1-MCP)

El 1-MCP (C_4H_6) hace parte de un grupo de moléculas desarrolladas sintéticamente, conocidas como olefinas cíclicas que funcionan como antagonistas del etileno (Sisler et al., 2003). Dentro de las moléculas reportadas, el 1-MCP ha presentado la mayor eficacia en controlar los efectos inducidos por esta hormona en productos agrícolas (Sisler y Serek, 1997), lo cual está relacionado con su capacidad de unirse a los receptores del etileno ubicados en las membranas del retículo endoplasmático y así bloquear la vía de señalización celular (Sisler et al., 2003). Sisler et al. (1996) reportaron que el 1-MCP se

une de manera irreversible a los receptores con al menos 10 veces mayor afinidad (K_i de $10,7 \text{ nL L}^{-1}$) comparado con el etileno (K_d de 36 nL L^{-1}) (Serek et al. 1995; Hall et al., 2007).

Si bien la unión del 1-MCP a los receptores es irreversible, los frutos y otros productos agrícolas recuperan la sensibilidad al etileno debido a la síntesis de nuevos receptores (Cameron y Reid, 2001), con lo cual pueden continuar el proceso de maduración o senescencia. Por otro lado, también se ha planteado la hipótesis de que el 1-MCP pueda ser alterado enzimática o químicamente y por tanto liberarse de los receptores (Choi y Huber, 2008). Con base en lo anterior, se puede afirmar que el 1-MCP bloquea temporalmente el desarrollo de la maduración y senescencia, aunque se han reportado estudios en donde la aplicación de esta molécula en altas concentraciones o en frutos inmaduros, inhiben el desarrollo normal de la maduración (Harris et al., 2000). El tiempo en el que se recupera la sensibilidad al etileno varía considerablemente entre especies, tipo de órgano, tipo de tejido, condiciones de almacenamiento (Jiang et al., 2002b), entre otros factores, lo cual parece ser debido, al menos en parte, a la capacidad de síntesis de nuevos receptores (Blankenship y Dole, 2003; In et al., 2013).

Factores de diferente naturaleza afectan la eficacia del 1-MCP en retardar el proceso de maduración y/o senescencia. Paul y Pandey (2013) clasificaron dichos factores en dos grandes grupos: (1) aquellos relacionados directamente con el producto agrícola, dentro de los cuales se pueden citar: especie, variedad, cultivar, estado de madurez, características morfo-anatómicas, sensibilidad al etileno, unión a otros blancos biológicos (Choi y Huber, 2009) entre otros; y (2) aquellos relacionados con las condiciones de la aplicación, como concentración, tiempo de tratamiento, temperatura, etc. Sobre la base de los factores que influyen en la respuesta de 1-MCP, se puede concluir que la variabilidad de estos factores y la interacción entre ellos son los responsables de las diferencias observadas en los resultados y la eficacia del tratamiento con 1-MCP (Paul y Pandey, 2013).

Dentro de dichos factores, los más estudiados en la poscosecha son el efecto de la concentración de 1-MCP y el tiempo de exposición del producto, los cuales varían entre 100 nL L^{-1} a $100 \mu\text{L L}^{-1}$ y entre 6 a 24 horas, respectivamente (Blankenship y Dole, 2003; Watkins et al., 2006). Sisler y Serek (1997) reportaron una relación inversa entre estos

dos factores, donde a mayor concentración de 1-MCP, menor será el tiempo de tratamiento. Se ha encontrado que el tiempo de absorción del 1-MCP es variable entre productos agrícolas dependiendo de las características anatómicas y morfológicas (Nanthachai et al., 2007), siendo más rápida en hojas comparado con frutos, debido a la rápida difusión por los estomas y los espacios intercelulares (Dong et al., 2013).

El 1-MCP ha mostrado eficacia en la conservación de hortalizas, frutas y flores de corte (Serek et al., 1995). La mayoría de estudios se han realizado en frutos y flores de corte, mientras que pocos se han llevado a cabo en hortalizas (Bower y Mitcham, 2001), lo cual limita su aplicación a nivel comercial. De hecho, para el 2006, el único vegetal que tenía registro para uso del 1-MCP a nivel comercial en Estados Unidos era el brócoli (Watkins, 2008). De acuerdo a Bower y Mitcham (2001), las posibles razones por las que el 1-MCP en hortalizas no ha sido estudiado extensamente son: (1) la mayoría de hortalizas tienen un periodo corto entre la cosecha y el consumo, por lo cual no son almacenados por largos periodos de tiempo; (2) muchas hortalizas, especialmente aquellas de hoja verde, no son sensibles a sufrir daños por frío, por lo cual se pueden almacenar a temperaturas cercanas a los 0°C (temperaturas a las cuales el etileno no tiene un efecto significativo en los vegetales). Sin embargo, en el caso de la albahaca, estas razones podrían no ser aplicables debido a que es un producto exportable y sensible a daños por frío, lo cual demanda periodos de tiempo mayor en el almacenamiento y temperaturas de almacenamiento mayores de 10°C.

Si bien la información del efecto del 1-MCP en las hortalizas es limitada, se han reportado resultados benéficos en diversos aspectos relacionados con la calidad y el almacenamiento. De manera general, el 1-MCP retrasa la senescencia y aumenta el periodo de almacenamiento en diferentes hortalizas como albahaca (Hassan y Mahfouz, 2010), cilantro (Jiang et al., 2002a; Hassan y Mahfouz, 2012), espinaca (Grozzeff et al., 2010), brócoli (Cefola et al., 2010; Ma et al., 2009; Xu et al., 2016), entre otras. Lo cual puede ser atribuido a múltiples aspectos, entre los cuales se pueden citar: menor degradación de clorofilas y proteínas, lo que a su vez, se atribuye al bloqueo de la expresión de genes relacionados con enzimas que degradan clorofilas (Cefola et al., 2010). No obstante, los efectos benéficos del 1-MCP en vegetales, no solo se limitan a su papel antagónico del etileno. Estudios en albahaca han mostrado que el 1-MCP incrementa la actividad antioxidante en las hojas, debido al aumento de la actividad de

las enzimas superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y peroxidasa (POX) (Hassan y Mahfouz, 2012). Además, en espinaca se reportó que el 1-MCP mantiene los niveles de ácido ascórbico y glutatión elevados (Grozzeff et al., 2010). Ma et al. (2010) encontraron que los cambios en la actividad antioxidante con la aplicación de 1-MCP están relacionados con cambios en los niveles de expresión de diversos genes que codifican para enzimas del ciclo antioxidante.

Por otro lado, en brócoli se ha reportado que el retraso de la senescencia con la aplicación de 1-MCP, está correlacionado con el metabolismo de azúcares, de tal forma que el 1-MCP mantiene altos los niveles de azúcares en las inflorescencias, debido al aumento de la actividad de la enzima sacarosa sintasa (SS-S: *sucrose synthase-synthesis*) y disminución de la enzimas de escisión de sacarosa sintasa (SS-C: *sucrose synthase-cleavage*), glucokinasa (GK: *glucokinase*) y UDP-glucosa pirofosforilasa (UGPasa: *UDP-glucose pyrophosphorylase*) (Xu et al., 2016). Además, Wang et al. (2014) reportaron que el 1-MCP retrasa la senescencia en las hojas de *Brassica chinensis*, debido al mantenimiento de la capacidad de asimilación de carbono, inhibición el ciclo de los ácidos tricarboxílico, inducción de la biosíntesis de giberelinas, reducción de los niveles de ROS e inhibición de la peroxidación de lípidos (bloqueo de la enzima GST: *Glutathione s-transferase*).

Como se observó anteriormente, existen múltiples procesos fisiológicos y moleculares afectados por el 1-MCP que permiten retrasar la senescencia de vegetales de hoja, algunos de los cuales están relacionados directamente con el bloqueo de la vía de señalización de etileno. No obstante, el efecto de la aplicación de 1-MCP en la misma producción de etileno es un poco más complejo, encontrándose resultados contradictorios dependiendo del tipo de hortaliza, por ejemplo, la aplicación de 1-MCP incrementa la producción de etileno en cilantro (Hassan y Mahfouz 2012; Jiang et al., 2002a), espinaca (Grozzeff et al., 2010), perejil (Ella et al., 2003); mientras que en albahaca (Hassan y Mahfouz, 2010) y brócoli (Ma et al., 2009; Ma et al., 2010) reduce o inhibe dicho proceso. Lo anterior puede ser atribuido (al menos en parte) a diferencias en los mecanismos de retroalimentación en la síntesis de etileno (sistema I ó autoinhibitorio y sistema II ó autocatalítico) (Mcmurchie et al., 1972), con lo cual, en las tres primeras plantas es posible que predomine el sistema I, donde la aplicación de inhibidores de etileno incrementa la producción de éste; mientras que

en albahaca y brócoli, predomina el sistema II.

En Colombia, hasta la fecha no se han reportado estudios del uso de 1-MCP en aromáticas, por lo cual se hace necesaria la investigación del efecto de esta molécula en la poscosecha de albahaca, debido a su alta percibibilidad y difícil almacenamiento bajo condiciones de refrigeración.

1.3.2 Empaque en atmosfera modificada (MAP)

El O_2 y el CO_2 son moléculas fundamentales en el metabolismo de frutas y hortalizas. Su influencia radica en la modificación del comportamiento de la planta que se traduce en la prolongación de la vida comercial (Hernández et al., 2010). Basados en esta información, se han desarrollado tecnologías en pro de mejorar la calidad de productos perecederos. Este es el caso del empaque en atmósferas modificadas (MAP por sus siglas en inglés), el cual es definido como “la envoltura de productos alimenticios, en una película que sirve como barrera, en la cual el ambiente gaseoso ha sido modificado para disminuir las tasas de respiración, el crecimiento microbiano y retardar el deterioro enzimático con el propósito de extender su vida útil” (Chakraverty *et al.*, 2003).

Los bajos niveles de O_2 retardan la respiración y el metabolismo de carbohidratos, y los altos niveles de CO_2 empleados en la atmósfera de almacenamiento actúan eficientemente en retardar los mecanismos dependientes de la síntesis de etileno como la degradación de la pared celular y los cambios de color (Hernández et al., 2010). A través de la tecnología MAP también se ha conseguido equilibrar la respiración del producto, la transpiración, la producción de etileno (Castellanos, et al., 2016a, Domínguez et al., 2016), y reducir la pérdida de humedad y el crecimiento microbiano durante el almacenamiento y manipulación comercial de productos perecederos (Domínguez *et al.*, 2016; Rojas et al., 2009; Sinha et al., 2011). De esta manera si se logra disminuir o ralentizar el proceso metabólico de los productos alimenticios, en especial la intensidad respiratoria se puede llegar a conservar por más tiempo los sustratos respiratorios como carbohidratos y ácidos orgánicos principalmente (Gontard and Guillaume, 2010).

Las diferentes películas plásticas usadas en el MAP para frutas y vegetales son permeables a los gases. (Gross *et al.*, 2016; Rees *et al.*, 2012). La permeabilidad al O_2 y CO_2 está en función del grosor y densidad del material, presencia de aditivos,

modificaciones en el gradiente de concentración y de la temperatura (Thompson, 2010; Gross *et al.*, 2016; Belay *et al.*, 2016). Generalmente las películas son cuatro a seis veces más permeables al CO₂ que al O₂. Esta permeabilidad se da por difusión activa, proceso en el que los gases se disuelven en la matriz de la película y se difunde a través de ésta, en respuesta al gradiente de concentración (Thompson, 2010; Gross *et al.*, 2016; Belay *et al.*, 2016). Los niveles de CO₂ y O₂ toman un tiempo en cambiar dentro del MAP, de tal manera que para acelerar este proceso en algunos casos el empaque es conectado a una bomba de vacío para remover el aire (Thompson, 2010; Gross *et al.*, 2016; Belay *et al.*, 2016). Se ha demostrado experimentalmente que ésta tecnología tiene efectos similares al almacenamiento en atmósferas controladas en la vida de poscosecha (Rees *et al.*, 2012).

El intercambio de gas a través del sistema de envasado conduce a bajos niveles de O₂ y niveles moderados de CO₂ en el espacio de cabeza del envase que son favorables para preservar las propiedades de calidad en el producto envasado (Mendoza, *et al.*, 2016; Sandhya, 2010). Se ha observado que cuando se alcanza un equilibrio de gases (entre 2-5% de O₂ y 3-8% de CO₂) alrededor del producto, se amplía la vida útil de una gama de frutas y hortalizas, retrasando los procesos de maduración y de senescencia, tales como degradación de la clorofila, ablandamiento, oscurecimiento enzimático y disminución de los síntomas de daño por frío (Ospina y Cartagena, 2008). La supresión de la actividad enzimática en frutos empacados con el sistema MAP parece que contribuye en aumentar la tolerancia a los daños causados por las bajas temperaturas (Thompson, 2010; Rees *et al.*, 2012), de igual manera se puede dar una reducción de los hidroperóxidos lipídicos en los tejidos en los tratamientos con MAP (Kou *et al.*, 2014).

Los niveles apropiados de CO₂ y O₂ pueden ser alcanzados para frutas y vegetales con tasas medias y bajas de respiración usando películas como LDPE (polietileno de baja densidad), PP (polipropileno), OPP (polipropileno orientado) y PVC (cloruro de polivinilo), sin embargo, también se ha demostrado que el empaque con estas películas puede causar procesos de fermentación durante el almacenamiento de los productos (Thompson, 2010; Gross *et al.*, 2016; Belay *et al.*, 2016). Lo que ha llevado a que se realicen agujeros en los empaques y así evitar este proceso, sin embargo, se ha observado menos eficacia en detener la maduración y/o senescencia, debido a que no

tiene el mismo efecto en las concentraciones del CO₂ y O₂ de la atmósfera dentro del empaque. Estos agujeros pueden ser muy pequeños (microperforaciones) o muy grandes (macroperforaciones), en general el uso de estas perforaciones ha tenido efectos positivos y negativos cuando se utilizan con el objetivo de disminuir la respiración. (Thompson, 2010; Gross *et al.*, 2016; Belay *et al.*, 2016). En comparación con otros materiales de embalaje ampliamente utilizados como polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP) o poliamida (PA), las bolsas de polietileno de baja densidad (LDPE) permiten mayores concentraciones de equilibrio de O₂ (y menor CO₂) sin necesidad de perforaciones en el sistema de envasado (Castellanos *et al.*, 2016b, Mangaraj *et al.*, 2009, Sandhya, 2010).

Adicional a las características del empaque, la concentración de los gases dentro de la bolsa puede variar dependiendo del producto, peso, temperatura y madurez del fruto o vegetal que se va a guardar, así como también de la actividad de los microorganismos (Gross *et al.*, 2016; Rees *et al.*, 2012). El número de frutos empacados en cada bolsa plástica puede alterar el MAP, por ejemplo, en plátano, donde empaques de seis frutos por bolsa maduraron en 14,6 días, en comparación con un tiempo de 18,5 días para frutos empacados individualmente en cada bolsa. (Thompson, 2010; Gross *et al.*, 2016; Belay *et al.*, 2016). Por otro lado, dependiendo de la naturaleza del producto, el MAP reduce la difusión de los gases que entran al interior y salen al exterior, controlando la tasa metabólica (Rees *et al.*, 2012; Belay *et al.*, 2016).

Los beneficios del MAP también están sujetos al tiempo de almacenamiento y a las condiciones óptimas de composición de la atmósfera, temperatura y humedad. (Domínguez *et al.*, 2016). Las concentraciones de gases en general para la conservación de los productos agrícolas no deben ser inferiores a 1,5 % de O₂ debido a que se presentan procesos anaeróbicos que generan cambios indeseables (Mangaraj & Goswami, 2009; Sandhya, 2010).

El CO₂ como antagonista natural de la acción de etileno (hormona de la senescencia) tiene capacidad de regular la actividad de etileno en las plantas (Saltveit, 1999). En el caso de manejar niveles de CO₂ y O₂ no adecuados, puede ocurrir una maduración irregular que causa la aparición de olores y sabores indeseables y desórdenes fisiológicos, así como también un incremento en la pudrición causada por hongos

patógenos (Domínguez *et al.*, 2016; Rees *et al.*, 2012). La temperatura afecta procesos metabólicos como la respiración y las tasas de maduración debido a que las reacciones biológicas generalmente aumentan de dos a tres veces por cada 10 °C de temperatura (Sandhya, 2010). La permeabilidad de la película también aumenta a medida que aumenta la temperatura (Thompson, 2010; Rees *et al.*, 2012), con mayor respuesta a la permeabilidad al CO₂ que permeabilidad al O₂. (Sandhya, 2010).

Por otro lado, la humedad es importante para extender la vida útil de frutas y vegetales frescos, de tal manera, si no se controla, el agua liberada a través del proceso de transpiración se convierte en una pérdida de masa directa y condensación de humedad dentro del MAP, ya que el agua puede acumularse en la superficie del sistema de envasado, causando defectos en la apariencia externa y promoviendo el crecimiento de microorganismos de descomposición. (Bovi *et al.*, 2016). De esta manera, se ha reportado que el efecto del MAP no solo se debe a la reducción de O₂ e incremento de CO₂, sino también al mantenimiento de una alta humedad, pese a esto, se debe tener cuidado porque puede que la humedad se condense dentro del empaque, lo que es un problema especialmente donde se presentan fluctuaciones en temperatura (Thompson, 2010; Gross *et al.*, 2016).

En estudios realizados con albahaca, se pudo extender su vida útil hasta 15 días utilizando una atmósfera de 5% de O₂ y 5% de CO₂ con bolsas de polietileno de baja densidad (LDPE) a 10 °C (Camargo, 2008). En otro estudio, se pudo conservar el producto hasta 9 días utilizando diferentes bolsas de polipropileno macroperforadas con concentraciones de O₂ entre 11 y 18% y CO₂ entre 0,7 y 1,8% a 10 °C (Niamthong, et Al., 2007). De igual manera, donde se evaluó el efecto de la luz y del empaque (microperforado con atmósferas normales y modificadas) a 12 °C de almacenamiento, por 9 días, en la vida útil de albahaca (*O. basilicum*), se concluyó que el uso de atmósferas modificadas generó la mejor calidad, especialmente con el uso de empaques microperforados (Anderson *et al.*, 2011).

1.4 Literatura Citada

Agronet. 2006. Exportaciones con aroma. Extraído en Febrero de 2014 de: http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/20061031123247_Exportacionesconaroma.pdf

Aharoni, N., D. Kenigsbuch, D. Chalupowicz, M. Faura-Mlinski, Z. Aharon, D. Maurer, A. Ovadia, y A. Lers. 2010. Reducing chilling injury and decay in stored sweet basil. *Israel Journal of Plant Sciences*, 58, 167–181.

Alonso, J.M., A.N. Stepanova, T.J. Leisse, C.J. Kim, H. Chen, P. Shinn, D.K. Stevenson, J. Zimmerman, P. Barajas y R. Cheuk. 2003. Genome-Wide Insertional Mutagenesis of *Arabidopsis thaliana*. *Science*, 301(1), 653-657.

Anderson, R., J. Bower y I. Bertling. 2011. Effect of light and packaging on shelf-life of fresh-cut sweet basil (*Ocimum basilicum*) and rosemary (*Rosmarinus officinalis*). *Acta Horticulturae*, 911, 573-578.

Arora, A. 2008. Biochemistry of Flower Senescence. En: Paliyath, G., D. Murr., A. Handa y S. Lurie. 2008. Postharvest Biology and Technology of fruits, vegetables, and flowers. Ed: Wiley-Blackwell Publishing. New Delhi, India. 51-85.

Ayoub, J., M. Driver, H. Kim, A. Barret y I. Taub. 1976. Use of ethylene absorbers in extending produce shelf life.

Bareño, R. y J. Clavijo. 2006. Últimas tendencias en hierbas aromáticas culinarias para exportación en fresco. Produmedios, Bogotá, Colombia.

Bapat, V., P. Trivedi, A. Gosh, V. Sane, T. Ganapathi y P. Nath. 2010. Ripening of fleshy fruit: Molecular insight and the role of ethylene. *Biotechnology Advances*. 28, 94–107.

Barry, C y J. Giovannoni. 2005. Ethylene and fruit ripening. *Journal Plant Growth Regulation*, 26, 143-159.

Belay, Z., O. Caleb y U. Opara. 2016. Modelling approaches for designing and evaluating the performance of modified atmosphere packaging (MAP) systems for fresh produce: A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 10, 1–15.

Binder, B. 2008. The ethylene receptors: complex perception for a simple gas. *Plant science*, 175, 8-17.

Blankenship, S y J. Dole. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and*

Technology, 28, 1-25.

Bouzayen, M., A. Latché, P. Nath y J. Pech. 2010. Mechanism of Fruit Ripening. Capitulo 16. En: Pua, E y M. Davey. 2010. *Plant Developmental Biology – Biotechnological Perspectives*. Volume 1. Ed: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 319-339p.

Bovi, G.G., O.J. Caleb, M. Linke, C. Rauh y P.V. Mahajan. 2016. Transpiration and moisture evolution in packaged fresh horticultural produce and the role of integrated mathematical models: A review. *Biosystemns Engineering*, 150, 25-39.

Bower, J. y B. Mitcham. 2001. Application of 1-MCP to Vegetable Crops. *Perishables Handling Quarterly*, 108. 26-27.

Bradford, K. 2008. Shang Fa Yang: Pioneer in plant ethylene biochemistry. *Plant Science*, 175, 2–7.

Calín-Sánchez, Á., K. Lech, A. Szumny, A. Figiel y Á. Carbonell-Barrachina. 2012. Volatile composition of sweet basil essential oil (*Ocimum basilicum* L.) as affected by drying method. *Food Research International*, 48 (1), 217-25.

Camargo, N. 2008. Conservación de la albahaca (*Ocimum basilicum*) fresca en refrigeración, empacada en películas plásticas con atmósferas modificadas. Trabajo final de Especialización en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Cameron, A.C. y M.S. Reid. 2001. 1-MCP blocks ethylene-induced petal abscission of *Pelargonium peltatum* but the effect is transient. *Postharvest Biology Technology*, 22, 169–177.

Cantwell, M. y M. Reid. 2001. Herbs (Fresh Culinary): Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. Postharvest Technology Research & Information Center. University of California. Davis.

Caprioli, F. y L. Quercia. 2014. Ethylene detection methods in post-harvest technology: A review. *Sensors and Actuators*, B203, 187–196.

Cara, B. y J. Giovannoni. 2008. Molecular biology of ethylene during tomato fruit

development and maturation. *Plant Science*, 175, 106–113.

Cardona, J.O. y J.C. Barrientos. 2011. Producción, uso y comercialización de especies aromáticas en la región Sumapaz, Cundinamarca. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 5 (1), 114-129.

Castellanos, D.A., W. Polanía, y A.O. Herrera. 2016a. Development of an equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for feijoa fruits and modeling firmness and color evolution. *Postharvest Biology and Technology*, 120, 193-203.

Castellanos, D.A., J.P. Cerisuelo, P. Hernández-Muñoz, A.O. Herrera y R. Gavara. 2016b. Modelling the evolution of O₂ and CO₂ concentrations in MAP of a fresh product: application to tomato. *Journal Food Engineering*, 168, 84-95.

Castro, D., J. Díaz, R. Serna, D. Martínez, M. Urrea, K. Muñoz y E. Osorio. 2013. Cultivo y producción de plantas aromáticas. 2 ed. Rionegro. Universidad católica del oriente. 98 p.

Cefola, M., M. Amodio, R. Rinaldi, S. Vanadia y G. Colelli. 2010. Exposure to 1-methylcyclopropene (1-MCP) delays the effects of ethylene on fresh-cut broccoli raab (*Brassica rapa* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 58, 29–35.

Chakraverty, A., A. Mujundar y V. Ramaswamy. 2003. Handbook of Postharvest Technology. Cereals, Fruits, Vegetables, Tea, and Spices. Marcel Dekker Inc. New York. 884.

Chen, Y.F., M.D. Randlett, J.L. Findell y G.E. Schaller. 2002. Localization of the ethylene receptor ETR1 to the endoplasmic reticulum of *Arabidopsis*. *Journal of Biological Chemistry*. 277, 19861–19866.

Chen, Y.F., N. Etheridge y G.E. Schaller. 2005. Ethylene Signal Transduction. *Annual of Botanic*. 95, 901–915.

Choi, S.T. y D.J. Huber. 2008. Influence of aqueous 1-methylcyclopropene concentration, immersion duration, and solution longevity on the postharvest ripening of breaker-turning tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology Technology*, 49, 147–154.

Choi, S.T. y D.J. Huber. 2009. Differential sorption of 1-methylcyclopropene to fruit and vegetable tissues, storage and cell wall polysaccharides, oils, and lignins. *Postharvest Biology Technology*, 52, 62–70.

Costa, L., Y.M. Montano, C. Carrión, N. Rolny y J.J. Guiamet. 2013. Application of low intensity light pulses to delay postharvest senescence of *Ocimum basilicum* leaves. *Postharvest Biology and Technology*, 86p.

Cubides, M. 2008. Diagnostico nutricional en Romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y tomillo (*Thymus vulgaris* L.) a partir del análisis foliar. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Bogotá. Colombia.

De la Torre, R. y J. López. 2010. Las plantas aromáticas y medicinales. Futuro y potencialidad en Extremadura. *La Agricultura y la ganadería extremas en 2010*. 139-152.

Díaz, J.A. 2003. Informe Técnico. Caracterización del mercado Colombiano de plantas medicinales y aromáticas. Primera edición. Instituto Alexander von Humboldt-El ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 111. Bogotá, Colombia.

Domínguez, I., M. Lafuente, P. Hernández y R. Gavara. 2016. Influence of modified atmosphere and ethylene levels on quality attributes of fresh tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Food Chemistry*, 209, 211–219.

Dong, X., M. Ramírez-Sánchez, D. Huber, J. Rao, Z. Zhang, S. Choi y J. Lee. 2013. Diffusivity of 1-methylcyclopropene in spinach and bok choy leaf tissue, disks of tomato and avocado fruit tissue, and whole tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 78, 40-47.

Ella, L., A. Zion, A. Nehemia y L. Amnon. 2003. Effect of the ethylene action inhibitor 1-methylcyclopropene on parsley leaf senescence and ethylene biosynthesis. *Postharvest Biology and Technology*. 30, 67-74.

FAO. 1989. Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas. Santiago, Chile. 87.

FAO. 2012. Pérdidas y desperdicios de alimentos en el mundo. Düsseldorf, Alemania. 33.

Ferrante, A. y A. Francini. 2006. Chapter: Ethylene and Leaf Senescence. In book: Ethylene Action in Plants Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 51-67.

Filip, S., S. Vidovi, J. Vladi, B. Pavli, D. Adamovi y Z. Zekovic. 2016. Chemical composition and antioxidant properties of *Ocimum basilicum* L. extracts obtained by supercritical carbon dioxide extraction: Drug exhausting method. *Journal of Supercritical Fluids*, 109, 20–25.

Fluhr, R., 1998. Ethylene perception: from two-component signal transducers to gene induction. *Trends Plant Science*, 3, 141–146.

Fonseca, J.M. y D.N. Njie. 2014. Análisis de las pérdidas de frutas y hortalizas frescas de la región de Latinoamérica y el caribe debido al incumplimiento con requisitos de calidad en los mercados de exportación. *Acta Horticulturae*, 1016, 179-185.

Gang, M., W. Ran, W. Cheng-Rong, K. Masaya, Y. Kazuki, Q. Fei-fei y X. Hui-Lian,. 2009. Effect of 1-methylcyclopropene on expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors in post-harvest broccoli. *Plant Growth Regulation*, 57, 223–232.

Golden, K.D., O.J. Williams y H.M. Dunkley. 2014. Ethylene in Postharvest Technology: A Review. *Asian Journal of Biological Sciences*, 7: 135-143.

Gross, K., M. Saltveit y C. Yi-wang. 2016. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. Agriculture Handbook 66, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, DC. 780.

Grozzef, G., M. Micieli, F. Gómez, L. Fernández, J. Guiamet, A. Chaves y C. Bartoli. 2010. 1-Methyl cyclopropene extends postharvest life of spinach leaves. *Postharvest Biology and Technology*, 55, 182–185.

Hall, B., S. Shakeel y G. Shaller. 2007. Ethylene receptors: Ethylene perception and signal transduction. *Journal plant Growth Regulation*, 26, 118-130.

Harris, D.R., Seberry, J.A, Wills y L.J. Spohr. 2000. Effect of fruit maturity on efficiency of 1-methylcyclopropene to delay the ripening of bananas. *Postharvest Biology Technology*, 20, 303–308.

Hassan, F y S. Mahfouz. 2010. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on sweet basil leaf senescence and ethylene production during shelf-life. *Postharvest Biology and Technology*, 55, 61–65.

Hassan, F y S. Mahfouz. 2012. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on the postharvest senescence of coriander leaves during storage and its relation to antioxidant enzyme activity. *Scientia Horticulturae*, 141, 69–75.

Hernández, M., J. Barrera y L. Melgarejo. 2010. Fisiología poscosecha. En: Melgarejo, L. 2010. Experimentos en Fisiología Vegetal. ISBN: 978-958-719-668-9. 167-186p.

Hussain, A., F. Anwar, S. Hussain y R. Przybylski. 2008. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of basil (*Ocimum basilicum*) essential oils depends on seasonal variations. *Food Chemistry*, 108 (3), 986-95.

In, B.C., J. Strable, B.M. Binder, T.G. Falbel y S.E. Patterson. 2013. Morphological and molecular characterization of ethylene binding inhibition in carnations. *Postharvest Biology Technology*, 86, 272–279.

Jaramillo, J.M., J. Fabio, G. García y R. Galindo. 2010. Protocolo técnico y logístico, Hierbas aromáticas. Proyecto Merlin. 28p.

Jiang, W., Q. Sheng, X. Zhou, M. Zhang y X. Liu. 2002a. Regulation of detached coriander leaf senescence by 1-methylcyclopropene and Ethylene. *Postharvest Biology and Technology*, 26, 339-345.

Jiang, Y., D.C. Joyce y A.J. Macnish. 2002b. Softening response of banana fruit treated with 1-methylcyclopropene to high temperature exposure. *Plant Growth Regulation*, 36, 7–11.

Karakas, B. y F. Yildiz. 2007. Peroxidation of membrane lipids in minimally processed

- cucumbers packaged under modified atmospheres. *Food Chemistry*, 100, 1011–1018.
- Kesari, R., P. Trivedi y P. Nath. 2007. Ethylene-induced ripening in banana evokes expression of defense and stress related genes in fruit tissue. *Postharvest Biology and Technology*, 46, 136–143.
- Klimankova E., K. Holadova, J. Hajslova, T. Cajka, J. Poustka y M. Koudela. 2008. Aroma profiles of five basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars grown under conventional and organic conditions. *Food Chemistry*, 107, 464–472.
- Kou, L., Y. Luo, E. Parka, E.R. Turner, A. Barczak y W.M. Jurick II. 2014. Temperature abuse timing affects the rate of quality deterioration of commercially packaged ready-to-eat baby spinach. Part I: Sensory analysis and selected quality attributes. *Postharvest Biology and Technology*, 91, 96–103.
- Koukounaras, A., A.S. Siomos y E. Sfakiotakis. 2007. Postharvest CO₂ and ethylene production and quality of rocket (*Eruca sativa* Mill.) leaves as affected by leaf age and storage temperature. *Postharvest Biology and Technology*, 46, 167–173.
- Koukounaras, A., A.S. Siomos y E. Sfakiotakis. 2009. Impact of heat treatment on ethylene production and yellowing of modified atmosphere packaged rocket leaves. *Postharvest Biology and Technology*, 54(3), 172–176.
- Lang, D.D. y A.C. Cameron. 1994. Postharvest shelf-life of sweet basil (*Ocimum basilicum*). *HortScience*, 29 (2), 102-103.
- Laurentius, A.C., J. Voeselek, R. Pierik, y R. Sasidharan. 2015. Vida vegetal sin etileno. *Trends in Plant Science*, 20, 12.
- La República. 2012. Las hierbas aromáticas producidas en Colombia consolidan su fortaleza exportadora. En: FAO, AGRO Noticias.
- Lemoine, M.L., P. Civello, A. Chaves y G. Martínez. 2009. Hot air treatment delays senescence and maintains quality of fresh-cut broccoli florets during refrigerated storage. *LWT - Food Science and Technology*, 42, 1076–1081.

Li, T., D. Tan, X. Yang y A. Wang. 2013. Exploring the apple genome reveals six ACC synthase genes expressed during fruit ripening. *Scientia Horticulturae*, 157, 119–123.

Lu, Y., B. Gao, P. Chen, D. Charles y L. Yu. 2014. Characterization of organic and conventional sweet basil leaves using chromatographic and flow-injection mass spectrometric (FIMS) fingerprints combined with principal component analysis. *Food Chemistry*, 154, 262-68.

Ma, G., L. Zhang, M. Kato, K. Yamawaki, T. Asai, F. Nishiwaka, Y. Ikoma y H. Matsumoto. 2010. Effect of 1-methylcyclopropene on the expression of genes for ascorbate metabolism in postharvest broccoli. *Postharvest Biology and Technology*, 58, 121–128.

Ma, G., R. Wang, C. Wang, M. Kato, K. Yamawaki, F. Qin y H. Xu. 2009. Effect of 1-methylcyclopropene on expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors in post-harvest broccoli. *Plant Growth Regulation*, 57, 223-232.

Mahajan, N., S. Rawal, M. Verma, M. Poddar y S. Alok. 2013. A phytopharmacological overview on *Ocimum* species with special emphasis on *Ocimum sanctum*. *Biomedicine & Preventive Nutrition*, 3, 185–192.

Mangaraj, S. y Goswami, T. 2009. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables for extending shelf-life. A review. *Fresh Produce*, 3(1), 1-31.

Mangaraj, S., T.K. Goswami y P. Mahajan. 2009. Applications of Plastic Films for Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables: A Review. *Food Engineering Reviews*, 1, 133-158.

Marshall, E. 2012. Health and wealth from Medicinal Aromatic Plants. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Martínez-Romero, D., G. Bailén, M. Serrano, F. Guillén, J.M. Valverde, P. Zapata, S. Castillo y D. Valero. 2007. Tools to Maintain Postharvest Fruit and Vegetable Quality through the Inhibition of Ethylene Action: A Review. *Critical Reviews in Food Science and*

Nutrition, 47, 543–560.

Mcmurchie, E.J., W.B. Mcglasson, y I.L. Eaks. 1972. Treatment of Fruit with Propylene gives Information about the Biogenesis of Ethylene. *Nature*. 237, 235–236.

Mendoza, R., D.A. Castellanos, J.C. García, J.C. Vargas. y A.O. Herrera. 2016. Ethylene production, respiration and gas exchange modelling in modified atmosphere packaging for banana fruits. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(3), 777-788.

Mitcham, E., C.H. Crisosto, y Kader, A. 2001. Herbs (Fresh Culinary): Recommendations for Maintaining Postharvest Quality.

http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/

Nanthachai, N., B. Ratanachinakorn,, M. Kosittrakun y R.M. Beaudry. 2007. Absorption of 1-MCP by fresh produce. *Postharvest Biology Technology*, 43, 291–297.

Niamthong, T., S. Sittipod y V. Chonhenchob. 2007. Development of Holy Basil Storage Using Low Temperatures and Modified Atmosphere Packaging. *Kasetsart Journal Natural Science*, 41,286 – 293.

Ospina, S. y J. Cartagena. 2008. La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista la Sallista de Investigación*, 5(2), 112-123.

O'Donnell, P.J., E. Schmelz, A. Block, O. Miersch, C. Wasternack, J.B. Jones y H.J. Klee. 2003. Multiple hormones act sequentially to mediate a susceptible tomato pathogen defense response. *Plant Physiology*, 133, 1181–1189.

Pandey, V., A. Patel, y D.D. Patra. 2016. Integrated nutrient regimes ameliorate crop productivity, nutritive value, antioxidant activity and volatiles in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Industrial Crops and Products*, 87, 124-131.

Patel, R.P., R. Singh, B.R. Rajeswara, R.R. Singh, A. Srivastava y R.K. Lal. 2016. Differential response of genotype × environment on phenology, essential oil yield and quality of natural aroma chemicals of five *Ocimum* species. *Industrial Crops and Products*, 87, 210–217.

Paul, V y R. Pandey. 2013. Delaying tomato fruit ripening by using 1-methylcyclopropene (1-MCP) for better postharvest management: current status and prospects in India. *Indian Journal Plant Physiology*, 18, 195–207.

Paul, V., R. Pandey y G.C. Srivastava. 2012. The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene—An overview. *Journal Food Science Technology*, 49(1).

ProColombia, 2015. Guía para la exportación de frutas y vegetales en fresco a los Estados Unidos desde Colombia. ProColombia; Oficina Estados Unidos; Luis Forero SPS Representative. Bogotá.

Rees, D., G. Farrell y J. Orchard. 2012. *Crop Post-Harvest: Science and Technology Perishables*. Blackwell Publishing Ltd. Primera ed. 464.

Reid, M y G. Staby. 2008. A Brief History of 1-Methylcyclopropene. *Hortscience*, 43(1), 83-85.

Rinaldi, R., M.L. Amodio y G. Colelli. 2010. Effect of temperature and exogenous ethylene on the physiological and quality traits of purslane (*Portulaca oleracea* L.) leaves during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 58, 147–156.

Rojas, M., G. Oms, R. Soliva y O. Martín. 2009. The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 875–889.

Saltveit, M. 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15, 279–292.

Salisbury F.B. y C.W. Ross. 2000. "Fisiología de las Plantas". Tomo 2. Bioquímica Vegetal. Ed. Thomson-Paraninfo.

Sandhya, K.V. 2010. Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *LWT - Food Science and Technology*, 43, 381-392.

Serek, M., E. Sisler y M. Reid. 1995. Effects of I-MCP on the base life and ethylene

response of cut flowers. *Plant Growth Regulation*, 16, 93-91.

Shen, Y., W. Prinyawiwatkul, P. Lotrakul y Z. Xu. 2015. Comparison of phenolic profiles and antioxidant potentials of the leaves and seeds of Thai holy and sweet basil. *International Journal of Food Science and Technology*, 50, 1651–1657

Shigenaga, A.M. y C.T. Argueso. 2016. No hormone to rule them all: Interactions of plant hormones during the responses of plants to pathogens. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 56, 174–189.

Sinha, N.K., Y.H. Hui, E. Evranuz, M.Siddiq y J. Ahmed. 2011. Handbook of Vegetables and Vegetable Processing. New Delhi: Blackwell Publishing Ltd. Primera ed. 788p

Sisler, E., E. Dupille y M. Serek. 1996. Effect of 1-methylcyclopropene and methylene cyclopropane on ethylene binding and ethylene action on cut carnations. *Plant Growth Regulation*, 18, 79-86.

Sisler, E.C. y M. Serek. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: Recent developments. *Physiology Plant*, 100, 577–582.

Sisler, E.C., T. Alwan, R. Goren, M. Serek y A. Apelbaum. 2003. 1-substituted cyclopropenes: Effective Blocking Agents for Ethylene Action in Plants. *Plant Growth Regulation*, 223–228.

Sudheer, K.P. y V. Indira. 2007. Postharvest Technology of horticultural crops. Horticulture Science Series-7. Editorial. Nueva India Jai Bharat Printing Press. Delhi. 300.

Synowiec, A., M. Gniewosz, K. Kraśniewska, J. L. Przybył, K. Bączek, y Z. Węglarz. 2014. Antimicrobial and antioxidant properties of pullulan film containing sweet basil extract and an evaluation of coating effectiveness in the prolongation of the shelf life of apples stored in refrigeration conditions. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 23, 171-81.

Taiz, L. y E. Zeiger. 2006. Plant physiology. Cuarta ed. Sinauer Associates Publishers, Sunderland.

Thomson, K. 2010. Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. Segunda ed. CABI. UK. 272.

Valdenegro, D. y P. Sanchez, 2002. Etileno: biología y biotecnología de la hormona. Tecnología de la poscosecha. *Horticultura internacional*.

Wang, Y., L. Zhang y S. Zhu. 2014. 1-Methylcyclopropene (1-MCP)-induced protein expression associated with changes in Tsai Tai (*Brassica chinensis*) leaves during low temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*, 87, 120–125.

Watkins, C.B. 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnol. Adv.*, Ethylene biology: A tribute to Edward C. Sisler, 24, 389–409.

Watkins, C.B. 2008. Overview of 1-Methylcyclopropene Trials and Uses for Edible Horticultural Crops. *HortScience*, 43(1), 86-94.

Woo H.R., H.J. Kim, H.G. Nam y P.O. Lim. 2013. Plant leaf senescence and death – regulation by multiple layers of control and implications for aging in general. *Journal of Cell Science*, 126, 4823–4833.

Xu, F., H. Wang, Y. Tang, S. Dong, X. Qiao, X. Chen y Y. Zheng. 2016. Effect of 1-methylcyclopropene on senescence and sugar metabolism in harvested broccoli florets. *Postharvest Biology and Technology*, 116, 45-49.

Yang, C., X. Lu, B. Ma, S.Y. Chen y J.S. Zhang. 2015. Ethylene Signaling in Rice and Arabidopsis: Conserved and Diverged Aspects. *Molecular Plant*. *Molecular Plant*, 8, 495–505.

Yoo, S.D., Y. Cho y J. Sheen. 2009. Emerging connections in the ethylene signaling network. *Trends Plant Science*, 14, 270–279.

2.Planteamiento del problema y objetivos

2.1 Planteamiento del problema

Las plantas aromáticas juegan un papel importante a nivel económico y social, debido a que son fuente de alimento y de componentes que tienen efectos positivos en la salud de los seres humanos. Sin embargo, la albahaca se caracteriza por ser un producto perecedero el cual tiene una vida útil de aproximadamente 4 días, pero esta puede llegar a ser menor si no se realiza un manejo poscosecha adecuado, en la que se logre disminuir el metabolismo del producto, reduciendo de esta forma la intensidad respiratoria y la producción de etileno, principalmente. Es así como el mal manejo poscosecha de hierbas aromáticas limita el crecimiento del mercado (Fonseca y Njie, 2014) y genera pérdidas de hasta el 40% (FAO 1989; FAO, 2012). La tecnología de conservación más utilizada es el almacenamiento a 11°C, que logra prolongar la vida útil de la albahaca por 8 días, sin embargo, los tiempos en almacenamiento pueden llegar a ser mayores cuando el producto es exportable, de tal manera se han realizado estudios de otras tecnologías de conservación como son 1-MCP y empaque en atmósferas modificadas. Pese a esto en Colombia no se han desarrollado estudios con el compuesto antagonista del etileno 1-MCP y mucho menos la interacción entre 1-MCP y empaque en atmósferas modificadas, las cuales pueden ser tecnologías promisorias para prolongar la calidad de la albahaca. Por tal motivo se hace necesario conocer el comportamiento poscosecha de tecnologías aplicadas a productos perecederos como la albahaca, en pro de maximizar la vida útil y minimizar las pérdidas de calidad de plantas aromáticas.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) y empaque en atmósferas modificadas (MAP) en el comportamiento poscosecha de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) a nivel de calidad fisicoquímica, sensorial y fisiológica, durante su vida útil.

2.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de diferentes concentraciones y tiempos de tratamiento con el 1-MCP en la poscosecha de la albahaca, con el propósito de seleccionar el tratamiento óptimo de conservación.
- Determinar el efecto del 1-MCP, del empaque en atmósfera modificada y de la interacción de las dos técnicas de conservación en la calidad poscosecha de la albahaca.

3. Metodología general

3.1 Ubicación

Este estudio se realizó en el Laboratorio de Poscosecha y Control de Calidad de productos agrícolas de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. El producto vegetal fue suministrado por la empresa Morenos LTDA de Bogotá. Las muestras de albahaca provinieron del Espinal, Tolima, Finca San Jerónimo (324 m.s.n.m.).

3.2 Material vegetal

Se utilizaron tallos frescos con hojas de albahaca (*Ocimum basilicum* L.), variedad Nufar, quienes tenían una longitud entre los 15 y 20 cm de longitud. Cosechados entre el 3 y 4 mes después de siembra, en los meses de agosto y septiembre de 2015 (objetivo 1) y Julio de 2016 (objetivo 2). Se seleccionó material sin presencia de síntomas de enfermedades o daño mecánico. No se realizó desinfección porque existen referentes de que el material es sensible a la excesiva manipulación, lo cual podría perjudicar la calidad del material y alterar los resultados de los tratamientos. La aplicación de los tratamientos fue hecha un día después de la cosecha.

3.3 Tratamiento con 1-metilciclopropeno

Aplicación 1-MCP

El 1-metilciclopropeno utilizado fue EthylBloc® Floralife Inc (Con 0,43 % de 1-MCP) en polvo. La aplicación del 1-MCP en el primer objetivo se realizó en cámaras herméticas de 2L, según la metodología propuesta por Herrera (2007). El producto fue pesado en vasos de precipitado, según el tratamiento y se ubicó dentro de la cámara hermética de 2L donde se encontraba una muestra de albahaca de aproximadamente 50g, después de sellada la cámara y por medio de una septa se inyectaron 40 mL de agua destilada caliente (45°C) para disolver y volatilizar el producto.

Diseño experimental

En el diseño experimental se utilizó un diseño factorial completo en arreglo completamente aleatorizado (DCAFC) de dos factores. El primer factor correspondió a las concentraciones de 1-MCP, con 3 niveles: 0,3 $\mu\text{L L}^{-1}$; 0,6 $\mu\text{L L}^{-1}$; 0,9 $\mu\text{L L}^{-1}$ y el segundo factor fue el tiempo de exposición al 1-MCP, con 3 niveles, 12, 16 y 24 h, y un control, para un total de 10 tratamientos. Cada tratamiento tuvo 4 repeticiones y cada unidad experimental fue constituida aproximadamente por 50g de albahaca. Continuo a la aplicación de los tratamientos las muestras fueron colocadas dentro de una bolsa de polipropileno perforada, calibre de 0,025 mm, el número de perforaciones era de 18 y el diámetro de cada perforación era de 5 mm, el tamaño de la bolsa fue de 23,2 x 36,4 cm de ancho*largo, respectivamente, así mismo, el interior de la bolsa en la parte inferior fue depositado papel absorbente. Posterior al empaqueo las muestras tratadas fueron almacenadas 17 ± 2 °C y humedad relativa del 75 ± 2 %. Los muestreos realizados se llevaron a cabo a los 0, 3, 5 y 8 días después de aplicación (dda).

Variables evaluadas: pérdida de peso; intensidad respiratoria; fuga de electrolitos, color; contenido de clorofilas, calidad visual y vida útil.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño factorial completo en arreglo completamente aleatorizado (DCAFC) 3x3. El primer factor correspondió a las concentraciones de 1-MCP, con 3 niveles, 0,3 $\mu\text{L L}^{-1}$; 0,6 $\mu\text{L L}^{-1}$ y 0,9 $\mu\text{L L}^{-1}$ y el segundo factor fue el tiempo de exposición al 1-MCP, con 3 niveles, 12, 16 y 24 h, para un total de 10 tratamientos incluyendo el control (sin tratamiento) (Tabla 3). Cada tratamiento tuvo 4 repeticiones. Los datos que cumplieron los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene), se les realizó un análisis de varianzas de dos vías (ANOVA) para determinar los efectos principales e interacciones de los factores. Para determinar diferencias entre los tratamientos de las interacciones se realizó la prueba de contraste y para los efectos principales la prueba de Tukey ($P < 0.05$), teniendo en cuenta la corrección de Bonferroni. Para el análisis de las variables categóricas se realizó la prueba de Kruskal-Wallis, posteriormente se realizó una prueba de Wilcoxon ($p < 0.05$). El análisis estadístico se realizó con el software RStudio® (version 1.0.44).

Tabla 3. Tratamientos del objetivo 1 aplicados a las muestras de albahaca

Factores	Concentración 1-MCP ($\mu\text{L L}^{-1}$)		
	0,3	0,6	0,9
Tiempo(h)	Número del Tratamiento		
12	1	2	3
16	4	5	6
24	7	8	9
+ Control	= 10		

Tratamiento 1: Concentración de $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP por 12 h

Tratamiento 2: Concentración de $0,6 \mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP por 12 h

Tratamiento 3: Concentración de $0,9 \mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP por 12 h

Tratamiento 4: Concentración de $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP por 16 h

Tratamiento 5: Concentración de $0,6 \mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP por 16 h

Tratamiento 6: Concentración de $0,9 \mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP por 16 h

Tratamiento 7: Concentración de $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP por 24 h

Tratamiento 8: Concentración de $0,6 \mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP por 24 h

Tratamiento 9: Concentración de $0,9 \mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP por 24 h

Tratamiento 10: Control

3.4 Tratamiento con 1-metilciclopropeno (1-MCP) y empaque en atmosfera modificada (MAP)

La aplicación del 1-MCP se realizó en cámaras herméticas de 30L, las cuales contenían un peso promedio de 1250 g de albahaca, la inyección de los 50 mL de agua caliente (45°C) se realizó por medio de una manguera la cual fue retirada y el orificio de la cámara fue sellado herméticamente con una septa.

Diseño experimental

El diseño experimental establecido fue un diseño factorial simple en arreglo completamente aleatorizado (DCAFS). Después de seleccionado el material vegetal se procedió a establecer los siguientes tratamientos: 1). Aplicación de $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP por 24 h y MAP; 2). No aplicación y MAP; 3). Aplicación de $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP por 24 h

y sin MAP, 4). No aplicación de 1-MCP y sin MAP. para un total de 4 tratamientos, cada tratamiento contenía 4 repeticiones. Cada unidad experimental era de 50g de albahaca. Continuo a la aplicación de los tratamientos las muestras fueron colocadas en su respectivo empaque. Las bolsas utilizadas para MAP fueron de polietileno de 41,3 x 30,8 cm, de ancho*largo, respectivamente, calibre 0,051 mm, y para los tratamientos restantes se utilizaron bolsas de polietileno perforadas de 23,2 x 36,4 cm, respectivamente, calibre de 0,025 mm, 18 perforaciones, el diámetro de cada perforación era de 5 mm. Después de la aplicación de los tratamientos, la albahaca fue almacenada a $11 \pm 1^\circ\text{C}$ y $85 \pm 2\%$ HR. Los muestreos fueron realizados a los 0, 4, 8,12, 15 y 18 días después de aplicación (dda).

Variables evaluadas: pérdida de peso; intensidad respiratoria; fuga de electrólitos; producción de etileno; concentraciones de gases en los MAP; color; contenido de clorofilas totales; calidad visual y vida útil.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño factorial simple en arreglo completamente aleatorizado (DCAFS). Después de seleccionado el material vegetal se procedió a establecer los siguientes tratamientos: 1). Aplicación de $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP por 24 h y MAP; 2). No aplicación y MAP; 3). Aplicación de $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP por 24 h y sin MAP, 4). No aplicación de 1-MCP y sin MAP, para un total de 4 tratamientos (Tabla 4). Los datos que cumplieron los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianza (Levene), les fue realizado un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de medias Tukey ($P < 0.05$), teniendo en cuenta la corrección de Bonferroni. para determinar diferencias entre los tratamientos. Las pruebas estadísticas se realizaron con el Software estadístico RStudio® (version 1.0.44).

Tabla 4. Tratamientos del objetivo 2 aplicados a las muestras de albahaca

Número de tratamiento	Tratamiento
T1	Aplicación de 1-MCP por 24 h y empaque en atmosfera modificada.
T2	No aplicación de 1-MCP y empaque en atmosfera modificada.
T3	Aplicación de 1- MCP por 24 h y sin empaque en atmosfera modificada.
T4	No aplicación de 1-MCP y sin empaque en atmosfera modificada.

Parámetros evaluados

Pérdida de peso-PP (%): Se calculó como el porcentaje de peso perdido (Pf) respecto al peso inicial (Pi) de cada unidad experimental.

$$PP (\%) = ((P2 - Pi) / Pi) * 100$$

Intensidad respiratoria-IR ($\text{cm}^3\text{CO}_2 \text{Kg}^{-1} \text{d}^{-1}$): Las muestras se retiraron de las cámaras de refrigeración y del empaque, dejándolas a temperatura ambiente 5 minutos antes de la medición. Se calculó con base en la emisión de CO_2 de la albahaca mantenida en cámaras herméticas de 2000 cm^3 , se midió a través de sensores infrarrojos de CO_2 (Vernier Software and Technology), acoplados a la interfaz LabQuest[®] utilizando la siguiente ecuación:

$$IR = (3,6 * V - Pf * (m/Pf))$$

Donde: V : Volumen de la cámara (litros); Pf : Peso de los frutos (miligramos); m : pendiente determinada con la LabQuest ($\text{ppm CO}_2 \text{ s}^{-1}$).

Fuga de electrolitos-FE (%): Se calculó como el porcentaje total de iones. Se seleccionaron tres hojas de cada unidad experimental, las cuales fueron lavadas con agua desionizada y secadas, de las tres hojas se obtuvieron 10 discos de tejido foliar de 6 mm de diámetro con un sacabocados, e inmediatamente los discos fueron colocados en tubos falcon que contenían 10 mL de agua desionizada, después de 18 horas se retiraron las muestras de tejido de los tubos, se calentó la solución hasta 25°C y se midió la conductividad (Lectura 1), posteriormente se regresaron los discos de tejido a los tubos que contenían la solución y los tubos fueron colocados a baño-maría a 80°C por 15 minutos, por último se retiran nuevamente las muestras vegetales de los tubos y cuando la solución presentó una temperatura de 25°C se evaluó nuevamente la conductividad (Lectura 2). El porcentaje total de iones fue calculado a partir de la siguiente ecuación.

$$F.E. = (Lectura 1 / Lectura 2) * 100.$$

Color: Los datos fueron determinados con el colorímetro MINOLTA[®] CR 300 en el espacio CIELab*; donde L^* es luminosidad (claridad-oscuridad), coordenada cromática a^*

(rojo- verde) y coordenada cromática b*(amarillo y azul). Se hizo seguimiento a las hojas de la parte intermedia de los tallos.

Contenido de clorofilas totales- CCT (mg g⁻¹tejido): El contenido de clorofila fue determinado por el método espectrofotométrico; Las hojas del tercio medio de los tallos de la albahaca fueron las seleccionadas para las evaluaciones y posteriormente congeladas a -80°C durante 15 días. El tejido foliar fue macerado con nitrógeno líquido, se tomaron muestras promedio de 0,035 g del polvo las cuales fueron pesadas en tubos ependorf de 2ml, a los cuales se les adicionó 1,5 ml de acetona al 80%, posteriormente los ependorf se colocaron en vortex durante 2 minutos y se centrifugaron a una temperatura de 4°C a 8000 rpm durante 5 minutos. Después el sobrenadante fue colocado en un balón de 25 mL, al pelet se le realizaron estos cuatro últimos pasos 3 veces. El sobrenadante obtenido se llevó a volumen de 25 mL con acetona y se determinó la absorbancia en un espectrofotómetro a longitudes de onda de 645 y 663 nm.

$$\text{Clorofila total} = ((20,2 \times A_{645}) + (8,02 \times A_{663})) \times V/1000 \times P$$

Donde: A_{645} : contenido de clorofilas (nm) a 645; A_{663} : contenido de clorofilas a 663 (nm);
V: volumen al cual; P: peso de la muestra de tejido.

Concentración de O₂ y CO₂ en MAP (%):

Las concentraciones de O₂ y CO₂ se midieron en el espacio de cabeza de cada bolsa de LDPE sellada, tomando una muestra de gas de 5 cm³ a través de un septo adhesivo sobre la superficie del empaque, la cual se analizó con el analizador electrónico Oxybaby® 6i (Witt-Gasetechnik GmbH & Co. KG, Witten, Alemania).

Producción de etileno (μL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹): Una muestra de 50 ± 5 g de albahaca almacenada en cada condición se colocó en un recipiente de vidrio hermético de 2000 cm³ durante una hora a 11 °C y se midió la concentración de etileno en el espacio de cabeza tomando una muestra de gas de 1 cm³ a través de la septa en la parte superior del recipiente e inyectándolo en un cromatógrafo de gases (CG) Agilent Technologies 7890A (Agilent Technologies, Santa Clara, CA), equipado con un detector de ionización de llama (FID, por sus siglas en inglés) y una columna HP-PLOT (30m x 0,55mm x 40μm).

La calidad visual y vida útil: se evaluó referente al a la turgencia, pardeamiento (daño fisiológico) y a la descomposición inducida por patógenos basados en una escala de 1 a 5, descrita por Kenigsbuch *et al.* (2007), con algunas modificaciones.

1= Producto fresco comercializable, túrgido, hojas libres de síntomas de deterioro.

2= Síntomas iniciales, hasta el 5% de hojas afectadas con lesiones de 3 mm de diámetro, apariencia fresca, túrgido.

3= Reducción mínima en la calidad, hasta el 10% de hojas afectadas con lesiones de 3 a 10 mm de diámetro por daño fisiológico o patológico, inicios de deshidratación. El producto se sigue clasificando como comerciable.

4= Reducción sustancial en la calidad, hasta el 20% de hojas afectadas con lesiones hasta de 10 mm de diámetro, mínima deshidratación, límite de la comercialización.

5= Producto sin calidad comercial, más del 20% de las hojas que presentan lesiones por daño fisiológico o patológico, deshidratación, desprendimiento de hojas.

*Cuando las muestras alcanzaron la condición 4, se consideró como el final de su vida útil o de almacenamiento.

4. Resultados objetivo específico 1: Efecto de la concentración y del tiempo de tratamiento con 1-metilciclopropeno (1-MCP) en la poscosecha de albahaca (*Ocimum basilicum* L.)

Resumen

La albahaca presenta alta perecibilidad, lo que limita su potencial para la comercialización y exportación. El proceso de senescencia de los productos vegetales puede ser promovida o acelerada en poscosecha por causa del etileno. La aplicación de antagonistas de etileno, como el 1-MCP ha sido considerada como una tecnología prometedora en conservación de hortalizas. Por tal motivo, se evaluó el efecto de 1-metilciclopropeno (1-MCP) sobre la calidad poscosecha en hojas frescas de albahaca. Los tratamientos evaluados fueron concentraciones de 1-MCP (0,3, 0,6 y 0,9 $\mu\text{L L}^{-1}$) y tiempos de tratamiento (12, 16 y 24 horas). Los resultados evidenciaron que la dosis de 0,3 $\mu\text{L L}^{-1}$ junto con el tiempo de exposición de 24 h logró disminuir la pérdida de peso, intensidad respiratoria y fuga de electrolitos, así mismo conservó por un tiempo mayor el color (luminosidad y color verde), el contenido de clorofilas y la calidad visual, lo cual se vio reflejado en la vida útil de la albahaca, la cual se prolongó significativamente, 5 días más que la del control. De esta manera, la dosis de 0,3 $\mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP y un tiempo de 24 h es un tratamiento promisorio para la conservación de la albahaca.

Palabras clave: Concentración de 1-MCP, tecnología de conservación, vida útil.

Abstract

The basil presents high perishability which limits its potential for marketing and export. The process of senescence of the vegetal products can be promoted or accelerated in poscosecha because of the ethylene. The application of ethylene antagonists such as 1-MCP has been considered as a promising technology in conserving vegetables. For this reason, the effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on postharvest quality in fresh basil leaves examined in this study. The evaluated treatments were concentrations of 1-MCP (0,3, 0,6 and 0,9 $\mu\text{L L}^{-1}$) and exposure times (12, 16 and 24 hours). The results evidenced that the dose of 0.3 $\mu\text{L L}^{-1}$ and the exposure time of 24 h was able to reduce weight loss, respiratory intensity and electrolyte leakage, and also managed to maintain the color (lightness and Green color), chlorophyll content and visual quality, which was reflected in the useful life of the basil, which lasted significantly, 5 days longer than the control. In this way, the dose 0.3 $\mu\text{L L}^{-1}$ of 1-MCP and a time of 24 h is a promising treatment for the conservation of the basil.

Keywords: concentration of 1-MCP, conservation technology, shelf life.

4.1 Introducción

La albahaca es una de las especies aromáticas con mayor demanda, a causa de sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas (Lu *et al.* 2014) conferidas por sus compuestos fitoquímicos y fenólicos (Synowiec *et al.*, 2014), los cuales también transfieren características sensoriales como el aroma y el sabor específico a cada una de las subespecies de *O. basilicum* L. (Calín-Sánchez *et al.*, 2012).

La comercialización de la albahaca se ve limitada por ser un producto perecedero y sensible a daños mecánicos, daños por frío y al etileno. La albahaca se caracteriza por ser un producto perecedero que presenta una vida útil de una a dos semanas, dependiendo de la temperatura de almacenamiento (Cantwell y Reid 2001). Existen factores que aceleran la perecibilidad de los productos vegetales en poscosecha como la transpiración y la respiración (Sudheer e Indira 2007). De igual manera, el etileno (C_2H_4) promueve la senescencia de los tejidos, afectando la capacidad de almacenamiento de los productos agrícolas (Binder, 2008). Adicionalmente, C_2H_4 también juega un rol importante en la degradación de clorofilas (Hassan y Mahfouz, 2012). La producción de

etileno se considera baja en hierbas frescas en comparación con los vegetales, pero la sensibilidad al gas puede ser alta (Rees *et al.*, 2012). Por tal motivo, uno de los objetivos del almacenamiento de productos frescos es anular el efecto de promoción de la senescencia por el etileno, a través de su eliminación o mediante la reducción de la sensibilidad del tejido de la planta hacia la hormona (Hassan y Mahfouz, 2010).

El principal reto de la poscosecha a nivel de ciencia y tecnología, es disminuir las pérdidas de alimentos, lo cual se ha logrado por medio de diferentes estrategias que permiten prolongar el tiempo de almacenamiento de los productos agrícolas, manteniendo unos niveles de calidad adecuados. Lo anterior se ha logrado mediante el manejo del etileno, principalmente, de tal forma que su actividad fisiológica sea baja o nula (Ayoub *et al.*, 1976). Dentro de los compuestos que inhiben la acción elicitora del etileno, se encuentran el ion plata, el tiosulfato de plata (STS), el DACP (diazociclopentadieno irradiado), el NBD (2,5-norbornadieno), las olefinas cíclicas y los ciclopropenos sintéticos (Arora, 2008; Martínez-Romero *et al.*, 2007).

Dentro del grupo de moléculas desarrolladas sintéticamente, conocidas como olefinas cíclicas (Sisler *et al.*, 2003) se encuentra el 1-MCP (C_4H_6), que funcionan como antagonistas del etileno (Balaguera-López *et al.*, 2014), lo cual está relacionado con su capacidad de unirse a los receptores del etileno ubicados en las membranas del retículo endoplasmático y así bloquear la vía de señalización celular (Sisler *et al.*, 2003). Sisler *et al.* (1996) reportaron que el 1-MCP se une de manera irreversible a los receptores con al menos 10 veces mayor afinidad (K_i de $10,7 \text{ nL L}^{-1}$) comparado con el etileno (K_d de 36 nL L^{-1}) (Serek *et al.* 1995; Hall *et al.*, 2007). Sin embargo, existen factores de diferente naturaleza que afectan la eficacia del 1-MCP en retardar el proceso de maduración y/o senescencia. Paul *et al.* (2013) clasificaron dichos factores en dos grandes grupos: (1) aquellos relacionados directamente con el producto agrícola, dentro de los cuales se pueden citar: especie, variedad, cultivar, estado de madurez, características morfo-anatómicas, sensibilidad al etileno, unión a otros blancos biológicos (Choi y Huber, 2009) entre otros; y (2) aquellos relacionados con las condiciones de la aplicación, como concentración, tiempo de tratamiento, temperatura, etc. Sobre la base de los factores que influyen en la respuesta de 1-MCP (Paul y Pandey, 2013). Dentro de dichos factores, los más estudiados en la poscosecha son el efecto de la concentración de 1-MCP y el

tiempo de exposición del producto, los cuales varían entre 100 nL L⁻¹ a 100 µL L⁻¹ y entre 6 a 24 horas, respectivamente (Blankenship y Dole, 2003; Watkins et al., 2006).

Con el fin de generar información referente a una nueva tecnología para la conservación de la calidad y reducción de pérdidas poscosecha de la albahaca el objetivo del estudio consistió en evaluar el efecto de diferentes dosis de 1-MCP y tiempos de tratamiento con 1-MCP en la calidad poscosecha de la albahaca.

4.2 Resultados y discusión

Pérdida de peso

En el tiempo de almacenamiento se presentó un incremento lineal de la pérdida de peso (PP) en el factor dosis y factor tiempo, evidenciándose diferencias estadísticas ($P < 0.05$) a los 8 días de almacenamiento (dda) en el factor concentración de 1-MCP y a partir del 2 dda para el factor tiempo de exposición (Fig. 1). En el factor tiempo, el tratamiento de 24 h presentó los menores valores de PP durante el almacenamiento. Para el 8 dda la mayor (31%) y menor (22%) pérdida fue la reportada por el control y 24 h, respectivamente.

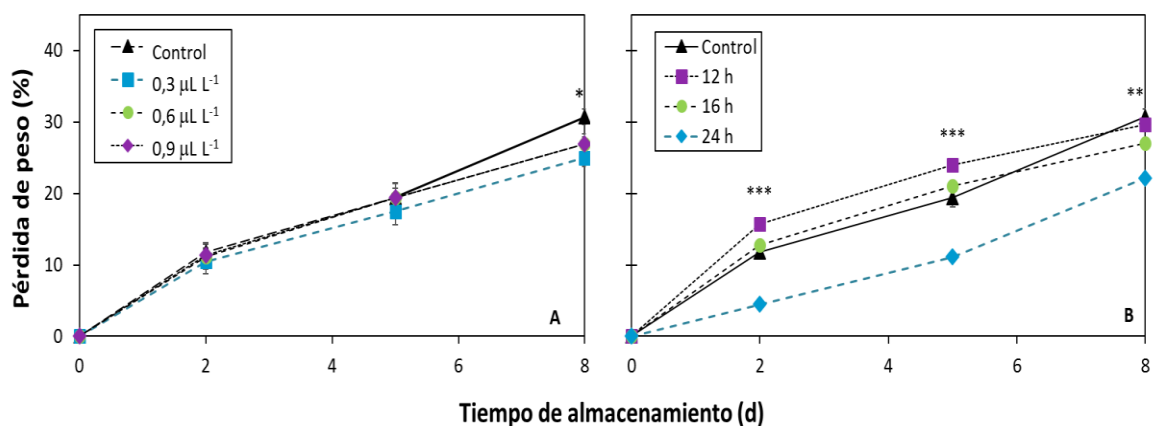
La reducción del peso de productos agrícolas en poscosecha está relacionada con la transpiración, proceso por el cual se pierde agua en forma de vapor (Sudheer e Indira, 2007). Las hojas de los vegetales son consideradas como uno de los productos más perecederos debido a su alta densidad estomática que combinada con el área superficial promueven la deshidratación del producto (Rees et al., 2012; Sinha et al., 2011). Es así como la transpiración puede verse influenciada por factores propios del producto como características morfológicas y anatómicas (relación superficie/volumen) ó por factores ambientales como movimiento del aire, temperatura, HR y déficit de presión de vapor, siendo estas tres últimas las más importantes a tener en cuenta en la poscosecha de productos agrícolas (Kader y Yahia, 2011).

La variación en la PP entre las diferentes dosis y entre los diferentes tiempos de tratamientos se debe probablemente a la variabilidad de los factores relacionados con las condiciones de aplicación (concentración, tiempo de tratamiento y temperatura) y a la interacción entre ellos (Paul et al., 2013). En el último día de evaluación los tratamientos

de 1-MCP registraron PP menores que el control, lo que coincide con lo reportado por Hassan y Mahfouz (2010), donde las hojas de albahaca, expuestas a 1-MCP evidenciaron una reducción en la PP.

La PP de la albahaca fue afectada tanto por la dosis como por el tiempo de tratamiento, donde se evidenciaron diferencias significativas, sin embargo, las mayores variaciones del efecto de 1-MCP se observaron en el factor tiempo de tratamiento. Posiblemente la menor PP que fue presentada por 24 h se deba más por el tiempo en que el producto permaneció en la cámara hermética cuando fue aplicado el 1-MCP, lo cual se asemejó a un tratamiento de atmosfera modificada pasiva con una HR alta, que por la misma dosis (García, 2015). En síntesis, la muestra de albahaca que presentó la menor PP fue la tratada con dosis y tiempo de exposición de $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ y 24 h, respectivamente.

Figura 1. Efecto de diferentes concentraciones (A) y tiempos de tratamiento (B) con 1-MCP en la pérdida de peso de la albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de $n= 12$ de cada punto de muestreo y la barra representa el error estándar. Un asterisco (*), dos asteriscos (**) y tres asteriscos (***) indican un nivel de significancia de 0,05, 0,01 y 0,001, respectivamente, acorde con ANOVA.



Intensidad respiratoria

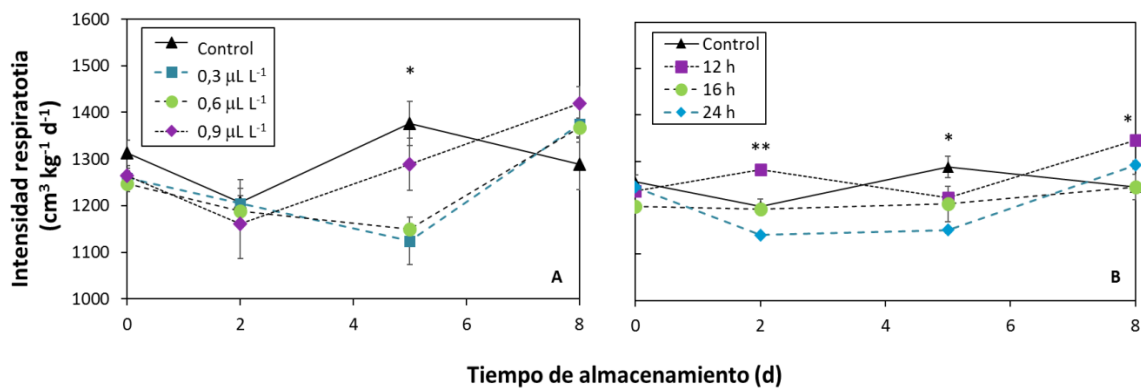
El comportamiento de la intensidad respiratoria (IR) fue variable tanto en las dosis de 1-MCP como en los tiempos de tratamiento, evidenciándose diferencias estadísticas ($P < 0.05$) a los 5 dda en la dosis y desde el 2 dda en el tiempo de exposición (Fig. 2).

Respecto a los niveles del factor dosis, 0,3 y 0,6 $\mu\text{L L}^{-1}$ presentaron una reducción de la IR hasta el 5 dda, alcanzando valores hasta de 1.124 y 1.150 $\text{cm}^3 \text{kg}^{-1} \text{d}^{-1}$, respectivamente. De igual manera, en el tiempo de exposición, 24 h fue el tratamiento que presentó la menor IR al 2 y 5 dda con un valor de 1.103y 1.082 $\text{cm}^3 \text{kg}^{-1} \text{d}^{-1}$, respectivamente. Por el contrario, el control registró un valor máximo de IR al 5 dda, de igual manera, este pico se observó en el tratamiento 12 h pero al 2 dda, presentando un nuevo incremento al 8 dda. Por último, 16 h muestra un comportamiento constante en el tiempo de almacenamiento.

La IR está relacionada con la temperatura del producto, debido a que la respiración produce calor, CO_2 y agua (Rees et al., 2012). La IR de las hierbas aromáticas varía considerablemente (Mitcham et al., 2001), pero se puede ver incrementada a causa de deterioro (Lemoine et al., 2009), daño celular o algún tipo de estrés biótico o abiótico que estimule el metabolismo del producto (Brewster, 2008). En el caso del etileno, se sabe que su presencia endógena o exógena induce un aumento de la actividad respiratoria de los tejidos vegetales (Rinaldi et al., 2010; Saltveit, 1999). En plantas de tomate silvestre se han identificado que la expresión génica durante la maduración está regulada por al menos dos vías independientes, y una de ellas incluye genes implicados en la biosíntesis de licopeno, aroma, ACC sintasa y en el metabolismo respiratorio. (Taiz y Zeiger, 2006).

En el presente estudio el efecto del 1-MCP en la IR fue variable tanto en las dosis como en los tiempos de tratamiento. Lo cual concuerda con lo expuesto por Watkins (2006), donde indica que los efectos de los tratamientos con 1-MCP pueden reducir la respiración, incrementarla o no afectarla. Los menores valores de IR fueron presentados por los tiempos de exposición de 16 y 24 h. Estos resultados se ajustan a lo mencionado por Berry *et al.* (2010) en donde las tasas de respiración son menores en los tratamientos en los que se usa 1-MCP, en comparación con un testigo (ausencia de 1-MCP). De igual manera, en estudios realizados por Jeon *et al.* (2002) se reporta que las tasas de respiración en frutos y vegetales que muestran picos climatéricos, se reducen por la exposición a 1-MCP.

Figura 2. Efecto de diferentes concentraciones (A) y tiempos de tratamiento (B) con 1-MCP en la intensidad respiratoria de la albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de $n=12$ en cada punto de muestreo y la barra representa el error estándar. Un asterisco (*), dos asteriscos (**), indican un nivel de significancia del 0,05 y 0,01, respectivamente, acorde con ANOVA.



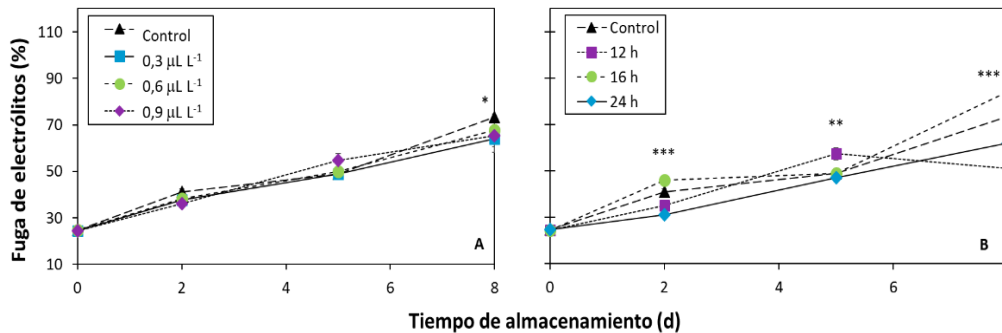
En el parámetro fuga de electrólitos (FE) se observó un incremento de los valores durante el tiempo de almacenamiento en los dos factores principales, observándose en el factor concentración diferencias estadísticas ($P<0.05$) a los 8 dda (Fig. 3). Mientras que en el tiempo de tratamiento las diferencias significativas ($P<0.01$) se observaron a partir del 2 dda. El tratamiento que presentó la menor FE durante el almacenamiento fue 24 h. Por otro lado, 12 h presentó su máximo valor de FE a los 5 dda con un valor de 57%, mientras que 16 h, control y 24 h presentan su máximo valor (84, 74 y 62%, respectivamente) a los 8 dda.

La pérdida de electrólitos se considera como una medida indirecta de la integridad de la membrana celular vegetal (Cozzolino, 2016). Durante el proceso de senescencia, los tejidos de las plantas suelen sufrir deterioro y daño, estos daños a nivel celular se hacen evidentes por la pérdida de la integridad de la membrana plasmática, que conduce a la pérdida de compartimentación celular y la liberación de solutos del citosol (Lemoine et al., 2009). Esto puede deberse a la disminución de la capacidad antioxidante y aumento en la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Hassan y Mahfouz, 2012), inducidas por algún tipo de estrés, biótico o abiótico o por el proceso de senescencia mismo.

Todos los tratamientos evidenciaron un aumento de la FE durante el almacenamiento, lo cual concuerda con estudios realizados por Cozzolino (2016) en hojas de albahaca

almacenadas a diferentes temperaturas. Sin embargo, estos resultados difieren en el tratamiento de 12 h de exposición debido a que se presentó un pico a los 5 días y luego una reducción de los valores, datos que concuerdan con los resultados obtenidos por Jeong *et al.* (2004) donde la pérdida de electrolitos en tomate se incrementó en los tratamientos en los que se aplicó 1-MCP hasta el día 8 de evaluación. Sin embargo, el incremento de FE puede estar relacionado con daño celular, el cual se hace evidente en la vida útil de los tratamientos que conforman el grupo (12 h). Por último, la menor FE durante el almacenamiento la evidenció las muestras de albahaca con tratamiento de 24 h de exposición, lo que puede indicar que se conserva por mayor tiempo la integridad de las membranas.

Figura 3. Efecto de diferentes concentraciones (A) y tiempos de tratamiento (B) con 1-MCP en la fuga de electrolitos de la albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de $n=12$ en cada punto de muestreo y la barra representa el error estándar. Un asterisco (*), dos asteriscos (**) y tres asteriscos (***) indican un nivel de significancia de 0,05, 0,01 y 0,001, respectivamente, acorde con ANOVA.



Color

En la luminosidad (L) se presentó una reducción lineal en el tiempo de almacenamiento, evidenciándose diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre la media del grupo 1 (24 h) y la media del grupo 2 (control y 16 h), a partir del 2 dda (Fig. 4). No se observaron diferencias entre la media de las dosis correspondientes al tiempo de 24 h. Al 8 dda los dos tratamientos que presentaron el menor cambio en la L (6 y 7 %) fueron control y 0,3 µL L⁻¹ - 24h, respectivamente, mientras que los dos tratamientos que presentaron el mayor cambio (10 %) fueron 0,6 µL L⁻¹ - 16 h y 0,9 µL L⁻¹ - 24h. Sin embargo, cuando las muestras de los tratamientos correspondientes al menor cambio alcanzaron una

calificación de 4 en la escala de calidad visual y vida útil, la reducción de L fue del 3 y 7 %, respectivamente.

En la coordenada b* (amarillo/azul), se observaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) los primeros 5 días entre las diferentes medias de los grupos correspondientes a tiempo de tratamiento (12, 16 y 24 h) (Fig. 5). Al 8 dda se observaron diferencias estadísticas entre los diferentes tratamientos, donde los dos tratamientos que presentaron el menor incremento de la tonalidad amarillo (15 y 21%) fueron $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ - 24 h y $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ - 12 h, respectivamente, mientras que los dos que presentaron el mayor cambio (33 %) fueron $0,6 \mu\text{L L}^{-1}$ - 24 h, $0,9 \mu\text{L L}^{-1}$ - 16 h. Sin embargo, cuando las muestras de los tratamientos correspondientes al menor cambio alcanzaron una calificación de 4 en la escala de calidad visual y vida útil, el aumento del color amarillo fue del 15 y 4%, respectivamente.

En la coordenada a* (rojo/verde) se evidenció diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre la media de $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ - 24h y la media de los tratamientos restantes durante el tiempo de almacenamiento (Fig. 5). A los 8 días los dos tratamientos que presentaron el menor cambio en el color verde (10 y 12%) fueron $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ - 24 h y $0,9 \mu\text{L L}^{-1}$ - 24 h, respectivamente, mientras que los dos tratamientos que presentaron el mayor cambio (17%) fueron $0,6 \mu\text{L L}^{-1}$ - 12 h y $0,9 \mu\text{L L}^{-1}$ - 16 h. Sin embargo, cuando las muestras de los tratamientos correspondientes al menor cambio alcanzaron una calificación de 4 en la escala de calidad visual y vida útil, la reducción del color verde (reducción del valor negativo) fue del 10 y 9 %, respectivamente.

Los cambios metabólicos durante la senescencia foliar incluyen la hidrólisis de macromoléculas, tales como proteínas, lípidos, ácidos nucleicos y pigmentos que se acumularon durante la fase de crecimiento (Woo et al., 2013). Un signo de senescencia para muchos productos, especialmente hortalizas de hoja es el cambio de color de verde a amarillo (Watkins, 2006; Koukounaras, 2007). El etileno considerado una hormona de "envejecimiento" en términos de desarrollo, puede acelerar los procesos senescencia (Golden et al., 2014), debido a que interviene en el proceso de degradación de la clorofila, al aumentar la expresión del gen de la clorofilasa (Chlase) (Ferrante y Francini, 2006). Según Watkins (2006) el uso exitoso de 1-MCP no inhibe irreversiblemente los procesos implicados en el metabolismo del pigmento, sino que los retrasa. Esto sucede porque los frutos y otros

productos agrícolas tratados con 1-MCP recuperan la sensibilidad al etileno debido posiblemente a la síntesis de nuevos receptores (Cameron y Reid, 2001).

El color fue afectado por los tratamientos de 1-MCP, pero los efectos son variables, lo cual se da probablemente a la variabilidad e interacción entre los factores relacionados con las condiciones de aplicación ya mencionadas con antelación, planteadas por Paul et al. (2013). El tratamiento que presentó la menor reducción del parámetro luminosidad fue el control seguido de $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ -24 h. Entre estos dos tratamientos no se evidenciaron diferencias significativas. Lo cual concuerda con los resultados presentados por Berry et al. (2010), donde menciona que no se presentan variaciones en los parámetros relacionados con la luminosidad en los tratamientos de 1-MCP en albahaca. El tratamiento que presentó el menor cambio en el color verde, al igual que el menor aumento del color amarillo fue $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ - 24 h. Estudios realizados en albahaca evidencian que el tratamiento con 1-MCP mantiene por más tiempo el color característico del tejido y los contenidos iniciales de clorofila a través del almacenamiento, en comparación con el testigo (Berry et al.,2010). De igual manera, se ha encontrado que la actividad de la clorofilasa se redujo en floretes de brócoli tratados con 1-MCP, logrando mantener por más tiempo el color característico del producto (Gang et al., 2009).

Figura 4. Efecto de la interacción de diferentes concentraciones ($0,3$, $0,6$ y $0,9 \mu\text{L L}^{-1}$) y tiempos de tratamiento (12 , 16 y 24 h) con 1-MCP en la luminosidad de la albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de $n=4$ en cada punto de muestreo y la barra representa el error estándar.

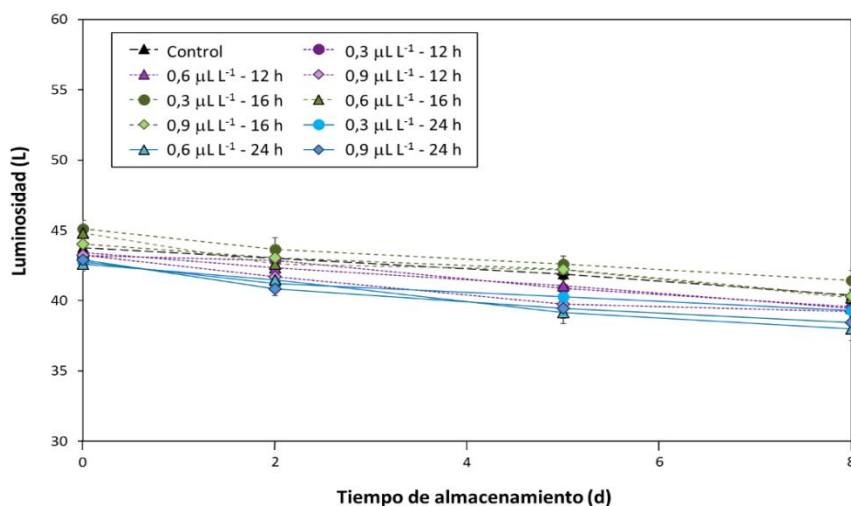
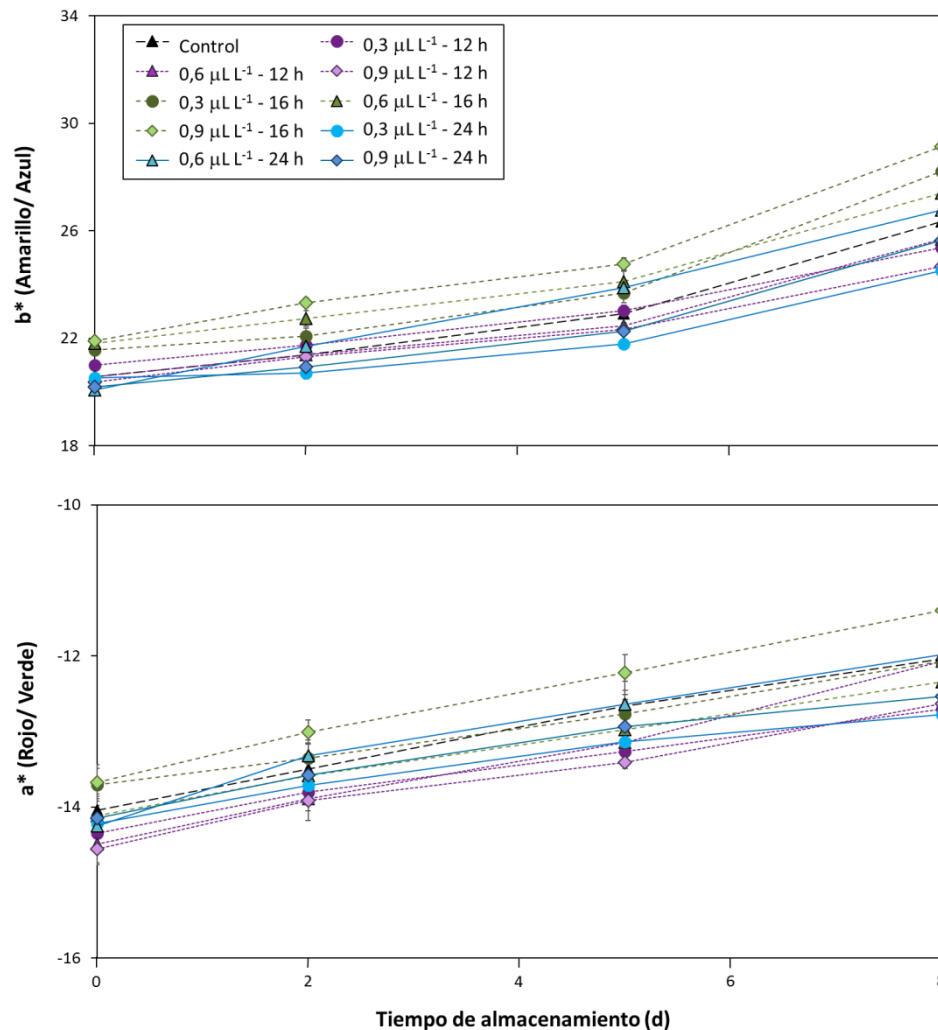


Figura 5. Efecto de la interacción de diferentes concentraciones (0,3, 0,6 y 0,9 $\mu\text{L L}^{-1}$) y tiempos de tratamiento (12, 16 y 24 h) con 1-MCP en las coordenadas cromáticas a^* y b^* de la albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de $n=4$ en cada punto de muestreo y la barra representa el error estándar.



Contenido de clorofilas totales

En el contenido de clorofilas totales (CCT) se presentó una reducción lineal en el tiempo de almacenamiento, evidenciándose diferencias significativas ($P < 0.05$) a los 5 y 8 dda, entre la media de los diferentes tratamientos (Fig. 6). Los dos tratamientos que presentaron la menor reducción en el CCT (11 y 17%) a los 8 dda fueron 0,3 $\mu\text{L L}^{-1}$ - 24 h y 0,6 $\mu\text{L L}^{-1}$ - 16 h, respectivamente, mientras que los dos que presentaron la mayor reducción (28 y 27%) fueron 0,6 $\mu\text{L L}^{-1}$ - 24 h y control, respectivamente. Sin embargo, cuando las muestras de los tratamientos

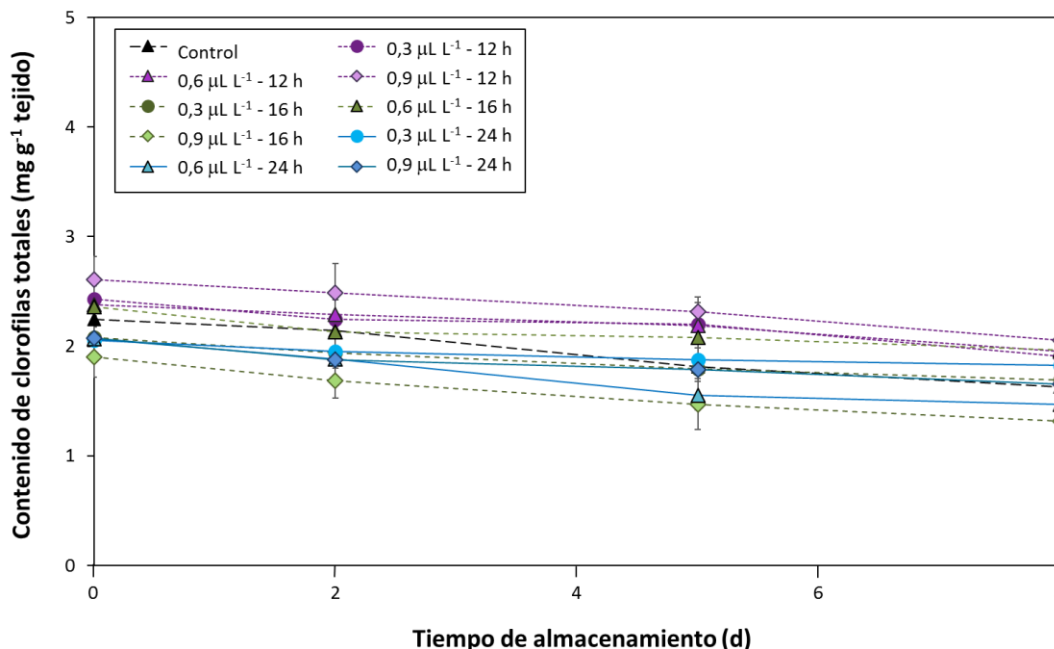
correspondientes al menor cambio alcanzaron una calificación de 4 en la escala de calidad visual y vida útil, la reducción del CCT fue del 11 y 12%, respectivamente.

La disminución de la clorofila durante el almacenamiento es la principal expresión de la senescencia en varias hortalizas de hoja (Costa et al., 2013; Ferrante y Francini, 2006; Rinaldi, 2010). Algunos factores que pueden afectar los contenidos de clorofilas en hojas son algunas actividades enzimáticas que pueden estar reguladas por etileno, la temperatura de almacenamiento, entre otras se ha reportado una reducción significativa en actividades enzimáticas como peroxidasa de degradación de Clorofila (CL), oxidasa de CL, clorofilasa y ACC oxidasa, que están relacionadas con la degradación de la clorofila en brócoli (Koukounaras et al., 2009). El etileno aumenta la degradación de la clorofila, al aumentar la expresión del gen de la clorofilasa (Chlase) (Taiz, L. y E. Zeiger. 2006). Por otro lado, se ha observado que a mayor temperatura mayor reducción en los contenidos de clorofila, debido a que se incrementa el metabolismo del producto y se acelera la senescencia (Rinaldi, 2010).

El efecto de 1-MCP en las clorofilas, se atribuye al bloqueo de la expresión de genes relacionados con enzimas que degradan clorofilas (Cefola et al., 2010). En el caso del gen Chlase; como está confinado en la membrana del cloroplasto, su activación está subordinada a la senescencia de la membrana. Las membranas pierden su integridad y permiten que Chlase entre en contacto con las clorofilas. Por lo tanto, el etileno probablemente aumenta la degradación de los lípidos y desestabiliza las membranas celulares. (Ferrante y Francini, 2006).

En el presente estudio el CCT fue afectado por los tratamientos de 1-MCP, observándose variabilidad en los efectos, algunos tratamientos pudieron ralentizar su degradación, tal y como se observó en el tratamiento $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ - 24 h, quien mantuvo por mayor tiempo su contenido de CCT. Estos resultados coinciden con los encontrados en estudios con hojas de cilantro (Hassan y Mahfouz, 2012) y albahaca (Hassan y Mahfouz, 2010) donde el contenido de clorofila declino gradualmente a través del almacenamiento y donde el tratamiento de 1-MCP retardo la degradación de la clorofila.

Figura 6. Efecto de la interacción de diferentes concentraciones (0,3, 0,6 y 0,9 $\mu\text{L L}^{-1}$) y tiempos de tratamiento (12, 16 y 24 h) con 1-MCP en el contenido de clorofilas totales de la albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de $n=4$ en cada punto de muestreo y la barra representa el error estándar.



Calidad visual y Vida útil

Se observó reducción de la calidad visual (CV) y diferencias significativas ($P < 0.05$) a partir del 2 dda (Fig. 7). A los 5 dda los tratamientos control, 12 h, 0,9 $\mu\text{L L}^{-1}$ - 16 h y 0,6 $\mu\text{L L}^{-1}$ - 24 h evidenciaron una CV de 5, de tal manera su vida útil (VU) fue de 2 días (Fig. 8). A los 8 dda los tratamientos 0,3 $\mu\text{L L}^{-1}$ - 16 h, 0,6 $\mu\text{L L}^{-1}$ - 16 h y 0,6 $\mu\text{L L}^{-1}$ - 24 h presentaron una CV de 5 (producto no comercializable) y una VU de 4 ± 1 día, por el contrario, el tratamiento 0,3 $\mu\text{L L}^{-1}$ - 24 h a los 8 dda, seguía presentando una puntuación de 4 en la escala, por lo tanto, su VU fue de 7 ± 1 dda. Este último tratamiento evidenció una influencia positiva en la CV y VU, donde se conservó la CV por más tiempo y se prolongó la VU de las mismas, posiblemente como resultado de la combinación de la concentración de 1-MCP y tiempo de tratamiento, tal como se observa en los resultados de los demás parámetros de calidad evaluados.

Para las hierbas frescas, los criterios de calidad son en gran medida visuales, por lo tanto, la calidad visual o apariencia pueden considerarse como una medida indirecta

ya que cuanto más fresca es la hierba, más probable es que tenga un sabor apreciable. (Rees et al., 2012). En poscosecha la senescencia causa serias pérdidas comerciales debido a la rápida disminución de la calidad de la hoja de albahaca (Costa et al., 2013; Hassan y Mahfouz, 2010). Durante el proceso de senescencia, los tejidos de las plantas suelen sufrir deterioro y daño celular, lo cual se puede ver reflejado en la pérdida de turgencia, relacionada con la integridad de las membranas y posterior pérdida de peso (también por procesos de transpiración) Lemoine et al., 2009), de igual manera el daño celular puede verse reflejado en daños fisiológicos (Chakraverty et al., 2003), a causa de la disminución de la capacidad antioxidante y aumento en la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Hassan y Mahfouz, 2012; WOO et al., 2013). El efecto de la aplicación de 1-MCP en la actividad antioxidante están relacionados con cambios en los niveles de expresión de diversos genes que codifican para enzimas del ciclo antioxidante (Ma et al., 2010), como catalasa (CAT), superóxidodimutasa (SOD) y peroxidasa (POX) (Ferrante y Francini, 2006; Hassan y Mahfouz, 2012; Wang et al. 2014).

En el presente estudio el 1-MCP tuvo efecto en la CV y VU de la albahaca (Imag. 1). El tratamiento que mantuvo por más tiempo la CV y prolongó la VU de la albahaca fue el de la dosis más baja y el mayor tiempo de exposición ($0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ - 24 h), lo cual concuerda con lo expuesto por Sisler y Serek (1997) donde plantea una relación inversa entre los factores de concentración de 1-MCP y el tiempo de exposición; a mayor concentración de 1-MCP, menor será el tiempo de tratamiento y viceversa. Los resultados obtenidos en este estudio corroboran lo encontrado por otros autores donde el 1-MCP retraso la senescencia y aumentó el periodo de almacenamiento en diferentes hortalizas como albahaca (Hassan y Mahfouz, 2010), cilantro (Jiang et al., 2002; Hassan y Mahfouz, 2012), espinaca (Grozzeff et al., 2010) y brócoli (Cefola et al., 2010; Ma et al., 2009; Xu et al., 2016).

Figura 7. Efecto de la interacción de diferentes concentraciones (0,3, 0,6 y 0,9 $\mu\text{L L}^{-1}$) y tiempos de tratamiento (12, 16 y 24 h) con 1-MCP en la calidad visual de la albahaca. Las barras representan el error estándar para $n = 4$. Un asterisco (*), indica un nivel de significancia de 0,05 según prueba de Kruskal-Wallis.

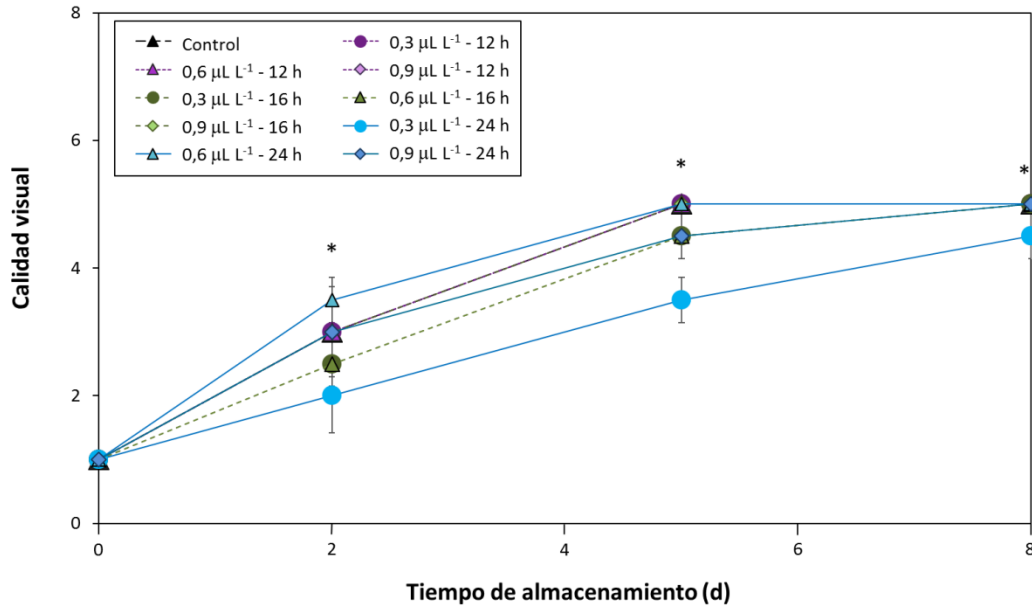


Figura 8. Efecto de la interacción de diferentes concentraciones (0,3, 0,6 y 0,9 $\mu\text{L L}^{-1}$) y tiempos de tratamiento (12, 16 y 24 h) con 1-MCP en la vida útil (escala generada) la de albahaca. Las barras representan el error estándar para $n = 4$. Se realizó el test de Kruskal-Wallis seguido del test de Wilcoxon para la comparación de medias. Valores con la misma letra no muestran diferencias significativas a $P < 0.05$.

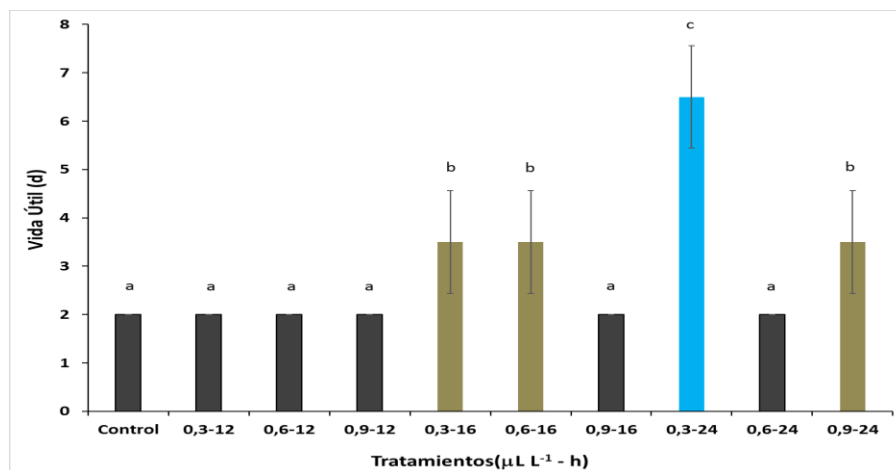


Figura 9. Efecto de los tratamientos que presentaron una vida útil de 5 (0,3 y 0,6 $\mu\text{L L}^{-1}$ – 16 h, 0,9 $\mu\text{L L}^{-1}$ – 24 h) y 8 días (0,3 $\mu\text{L L}^{-1}$ – 24 h) en la calidad visual, a los 8 dda.



0,3 $\mu\text{L L}^{-1}$ - 16 h



0,6 $\mu\text{L L}^{-1}$ - 16h



0,3 $\mu\text{L L}^{-1}$ - 24h



0,9 $\mu\text{L L}^{-1}$ - 24h

4.3 Conclusiones

Los resultados observados en las variables pérdida de peso, intensidad respiratoria y fuga de electrolitos fueron causados por los efectos principales de los factores (dosis de 1-MCP y tiempo de tratamiento) y no por la interacción entre ellos. De esta manera, y según resultados obtenidos, el tiempo de tratamiento presentó un mayor efecto sobre las variables anteriormente nombradas. Por el contrario, los resultados en las variables color y contenido total de clorofilas sí fueron efecto de la interacción de los factores.

El tiempo de tratamiento más adecuado para reducir la pérdida de peso, intensidad respiratoria y fuga de electrolitos fue 24 h. Como en el factor dosis no se presentaron diferencias significativas entre los niveles de 1-MCP, se selecciona la concentración de $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ como adecuada, debido a que es la menor dosis, además porque presentó el mejor comportamiento durante el tiempo de almacenamiento. Así mismo, el tratamiento más adecuado para preservar el color, el contenido de clorofilas y la calidad visual en la albahaca es $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ - 24 h. Estos resultados, corroboran lo evidenciado en la vida útil, la cual se extendió significativamente, respecto al control se extendió por 5 días más. Basados en estos resultados se puede exponer que la dosis de $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ 1-MCP y un tiempo de 24 h, puede ser un tratamiento promisorio para la conservación de la albahaca.

4.4 Literatura citada

Arora, A. 2008. Biochemistry of Flower Senescence. En: Paliyath, G., D. Murr., A. Handa y S. Lurie. 2008. *Postharvest Biology and Technology of fruits, vegetables, and flowers*. Ed: Wiley-Blackwell Publishing. New Delhi, India. 51-85.

Ayoub, J., M, Driver., H, Kim., A, Barret y Taub, I. 1976. Use of ethylene absorbers in extending produce shelf life.

Balaguera-López, H., F. Salamanca-Gutiérrez, J. García y A. Herrera-Arévalo. 2014. Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. Rev. Colombia. *Science Hortícola*, 8(2), 302-313.

Berry, A., S. Sargent, y D. Huber. 2010. Effect of postharvest application of 1-MCP on basil shoot quality during storage at chilling temperature. *Florida State Horticultural Society*, 123, 264–268

Binder, B. M. 2008. The ethylene receptors: Complex perception for a simple gas. *Plant Science*, 175, 8-17.

Blankenship, S y J. Dole. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology*, 28, 1-25.

Brewster, J.L. 2008. Onions and other vegetable alliums. 2da ed. CABI publishing.

Oxfordshire, United Kingdom.

Calín-Sánchez, Á., K. Lech., A., Szumny, A. Figiel, y Á. Carbonell-Barrachina. 2012. Volatile composition of sweet basil essential oil (*Ocimum basilicum* L.) as affected by drying method. *Food Research International*, 48 (1), 217-25.

Cameron, A.C. y M.S. Reid. 2001. 1-MCP blocks ethylene-induced petal abscission of *Pelargonium peltatum* but the effect is transient. *Postharvest Biology Technology*, 22, 169–177.

Cantwell, M., y M. Reid. 2001. Herbs (Fresh Culinary): Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. <http://postharvest.ucdavis.edu/pfvegetable/Herbs>.

Cefola, M., M. Amodio, R. Rinaldi, S. Vanadia y G. Colelli. 2010. Exposure to 1-methylcyclopropene (1-MCP) delays the effects of ethylene on fresh-cut broccoli raab (*Brassica rapa* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 58, 29–35.

Chakraverty, A., A. Mujundar y V. Ramaswamy. 2003. Cereals, Fruits, Vegetables, Tea, and Spices. *Handbook of Postharvest Technology*, 884 p.

Choi, S.T. y D.J. Huber. 2009. Differential sorption of 1-methylcyclopropene to fruit and vegetable tissues, storage and cell wall polysaccharides, oils, and lignins. *Postharvest Biology Technology*, 52, 62–70.

Costa, L., Y.M. Montano, C. Carrión, N. Rolny y J.J. Guiamet. 2013. Application of low intensity light pulses to delay postharvest senescence of *Ocimum basilicum* leaves. *Postharvest Biology and Technology*, 86.

Cozzolino, R., B. Pace, M. Cefola, A. Martignetti, M. Stocchero, F. Fratianni, F. Nazzaro y B. De Giulio. 2016. Assessment of volatile profile as potential marker of chilling injury of basil leaves during postharvest storage. *Food Chemistry*, 213, 361–368

Ferrante, A. y A. Francini. 2006. Chapter: Ethylene and Leaf Senescence. In book: *Ethylene Action in Plants* Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 51-67.

Fonseca, J.M. y D.N. Njie. 2014. Análisis de las pérdidas de frutas y hortalizas frescas de la región de latinoamérica y el caribe debido al incumplimiento con requisitos de calidad en los mercados de exportación. *Acta Horticulturae*, 179-185.

Gang, M., W. Ran, W. Cheng-Rong, K. Masaya, Y. Kazuki, Q. Fei-fei y X. Hui-Lian. 2009. Effect of 1-methylcyclopropene on expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors in post-harvest broccoli. *Plant Growth Regulation*, 57, 223–232.

García, J.C. 2015. Efecto del 1-Metilciclopropeno (1-MCP) en el comportamiento poscosecha de banano bocadillo (*Musa acuminata* AA, Simmonds). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias. Bogotá D.C., Colombia.

Golden, K.D., O.J. Williams y H.M. Dunkley. 2014. Ethylene in Postharvest Technology: A Review. *Asian Journal of Biological Sciences*, 7: 135-143.

Grozzef, G., M. Micieli, F. Gómez, L. Fernández, J. Guiamet, A. Chaves y C. Bartoli. 2010. 1-Methyl cyclopropene extends postharvest life of spinach leaves. *Postharvest Biology and Technology*, 55, 182–185.

Hall, B., S. Shakeel y G. Shaller. 2007. Ethylene receptors: Ethylene perception and signal transduction. *Journal plant Growth Regulation*, 26, 118-130.

Hassan, F. y Mahfouz. 2010. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on sweet basil leaf senescence and ethylene production during shelf-life. *Postharvest Biology Technology*, 55, 61–65.

Hassan, F., y S. Mahfouz. 2012. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on the postharvest senescence of coriander leaves during storage and its relation to antioxidant enzyme activity. *Science Horticulturae*, 141, 69-75.

Jeong, J., D. Huber, y S. Sargent. 2002. Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and cell-wall matrix polysaccharides of avocado (*Persea americana*) fruit. *Postharvest Biology Technology*, 25, 241–256.

Jeong, J., J. Brecht, D. Huber, y S. Sargent. 2004. 1-methylcyclopropene (1-MCP) for maintaining texture quality of fresh-cut tomato. *Horticulturae Science*, 39, 1359-1362.

Jiang, W., Q. Sheng, X. Zhou, M. Zhang y X. Liu. 2002. Regulation of detached coriander leaf senescence by 1-methylcyclopropene and Ethylene, *Postharvest Biology and Technology*. 26, 339-345.

Kader, A.A. y E.M. Yahia. 2011. Postharvest biology of tropical and subtropical fruits, in: Yahia, E.M. (Ed.), *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*, vol 1: fundamental issues. Woodhead Publishing. pp. 79–111.

Koukounaras, A., A.S. Siomos y E. Sfakiotakis. 2007. Postharvest CO₂ and ethylene production and quality of rocket (*Eruca sativa* Mill.) leaves as affected by leaf age and storage temperature. *Postharvest Biology and Technology*, 46, 167–173.

Koukounaras, A., A.S. Siomos y E. Sfakiotakis. 2009. Impact of heat treatment on ethylene production and yellowing of modified atmosphere packaged rocket leaves. *Postharvest Biology and Technology*, 54(3), 172–176.

Lemoine, M.L., P. Civello, A. Chaves y G. Martínez. 2009. Hot air treatment delays senescence and maintains quality of fresh-cut broccoli florets during refrigerated storage. *LWT - Food Science and Technology*, 42, 1076–1081.

Lu, Y., B. Gao, P. Chen, D. Charles, y L. Yu. 2014. Characterization of organic and conventional sweet basil leaves using chromatographic and flow-injection mass spectrometric (FIMS) fingerprints combined with principal component analysis. *Food Chemistry*, 154, 262-68.

Ma, G., L. Zhang, M. Kato, K. Yamawaki, T. Asai, F. Nishiwaka, Y. Ikoma y H. Matsumoto. 2010. Effect of 1-methylcyclopropene on the expression of genes for ascorbate metabolism in postharvest broccoli. *Postharvest Biology and Technology*, 58, 121–128.

Ma, G., R. Wang, C. Wang, M. Kato, K. Yamawaki, F. Qin y H. Xu. 2009. Effect of 1-

methylcyclopropene on expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors in post-harvest broccoli. *Plant Growth Regulation*, 57, 223-232.

Martínez-Romero, D., G. Bailén, M. Serrano, F. Guillén, J.M. Valverde, P. Zapata, S. Castillo y D. Valero. 2007. Tools to Maintain Postharvest Fruit and Vegetable Quality through the Inhibition of Ethylene Action: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47, 543–560

Mitcham, E., C.H. Crisosto, y Kader, A. 2001. Herbs (Fresh Culinary): Recommendations for Maintaining Postharvest Quality.

http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/

Paul, V. y Pandey, R., 2013. Delaying tomato fruit ripening by using 1-methylcyclopropene (1-MCP) for better postharvest management: current status and prospects in India. *Indian Journal Plant Physiology*, 18, 195–207.

Paul, V., R. Pandey, y G.C. Srivastava. 2013. The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene—An overview. *Journal Food Science Technology*, 49,1

Lu, Y., B. Gao, P. Chen, D. Charles, y L. Yu. 2014. Characterisation of organic and conventional sweet basil leaves using chromatographic and flow-injection mass spectrometric (FIMS) fingerprints combined with principal component analysis. *Food Chemical*, 154, 262-68.

Rees, Debbie, Graham Farrell, y John Orchard. 2012. Crop Post-Harvest: Science and Technology, Perishables. 1 edition. John Wiley & Sons.

Rinaldi, R., M.L. Amodio y G. Colelli. 2010. Effect of temperature and exogenous ethylene on the physiological and quality traits of purslane (*Portulaca oleracea* L.) leaves during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 58, 147–156.

Saltveit, M.E. 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15 (3), 279-92.

Serek, M., E. Sisler y M. Reid. 1995. Effects of 1-MCP on the base life and ethylene response of cut flowers. *Plant Growth Regulation*, 16, 93-91.

Sinha, N. 2011. Handbook of Vegetables and Vegetable Processing. Blackwell Publishing. 772.

Sisler, E., E. Dupille y M. Serek. 1996. Effect of 1-methylcyclopropene and methylene cyclopropane on ethylene binding and ethylene action on cut carnations. *Plant Growth Regulation*, 18, 79-86.

Sisler, E.C. y M. Serek. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: Recent developments. *Physiology Plant*, 100, 577–582.

Sisler, E.C., T. Alwan, R. Goren, M. Serek y A. Apelbaum. 2003. 1-substituted cyclopropenes: Effective Blocking Agents for Ethylene Action in Plants. *Plant Growth Regulation*, 40, 223–228.

Synowiec, A., M. Gniewosz, K. Kraśniewska, J. L. Przybył, K. Bączek, y Z. Węglarz. 2014. Antimicrobial and antioxidant properties of pullulan film containing sweet basil extract and an evaluation of coating effectiveness in the prolongation of the shelf life of apples stored in refrigeration conditions. *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 23, 171-81.

Sudheer, K. P. y V. Indira. 2007. Post Harvest Technology of Horticultural Crops. New India Publishing.

Taiz, L. y E. Zeiger. 2006. Plant physiology. Cuarta ed. Sinauer Associates Publishers, Sunderland.

Wang, Y., L. Zhang y S. Zhu. 2014. 1-Methylcyclopropene (1-MCP)-induced protein expression associated with changes in Tsai Tai (*Brassica chinensis*) leaves during low temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*. 87, 120–125.

Watkins, B. 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables.

Biotechnology advances. 24 (4), 389-40.

Woo H.R., H.J. Kim, H.G. Nam y P.O. Lim. 2013. Plant leaf senescence and death – regulation by multiple layers of control and implications for aging in general. *Journal of Cell Science*. 126, 4823–4833.

Xu, F., H. Wang, Y. Tang, S. Dong, X. Qiao, X. Chen y Y. Zheng. 2016. Effect of 1-methylcyclopropene on senescence and sugar metabolism in harvested broccoli florets. *Postharvest Biology and Technology*, 116, 45-49.

5.Resultados objetivo específico 2: Evaluación de 1-MCP y empaque en atmósfera modificada en la calidad poscosecha de la albahaca

Resumen

La albahaca es una de las hierbas aromáticas más producidas y exportadas por Colombia. Las exportaciones se realizan en un lapso de tiempo muy corto (3 días) por tratarse de un producto perecedero. La aplicación de 1-MCP y los MAP han sido consideradas como tecnologías prometedoras en conservación hortalizas, por tal motivo se evaluó el efecto individual y combinado de 1-MCP y MAP en la conservación de la albahaca (*Ocimum basilicum* L.). Los tratamientos evaluados fueron aplicación de 1-MCP (con y sin 1-MCP) y empaque en atmosfera modificada (con y sin empaque). Los resultados indicaron que 1-MCP+MAP logró mantener una calidad comercializable de la albahaca hasta por 18 días, lo cual se vio reflejado en la menor pérdida de peso, intensidad respiratoria, fuga de electrolitos y producción de etileno, en comparación con el control, así mismo logró conservar por un tiempo mayor su calidad visual, contenido de clorofilas totales y color. De esta manera, el método combinado como tecnología de conservación fue eficaz en extender la vida útil de la albahaca.

Palabras claves: almacenamiento, 1-metilciclopropeno, atmósfera pasiva, parámetros de calidad, vida útil.

Abstract

The basil is one of the most aromatic herbs produced and exported by Colombia. Exports are made in a very short time (3 days) because it is a perishable product. The application of 1-MCP and MAP have been considered as promising technologies in conserving vegetables. For this reason, the individual and combined effect of 1-MCP and MAP on the

conservation of basil (*Ocimum basilicum* L.) was evaluated. The treatments evaluated were application of 1-MCP (with and without 1-MCP) and packaging in modified atmosphere (with and without packaging). The results indicated that 1-MCP + MAP was able to maintain a marketable quality of the basil for up to 18 days, respectively, which was reflected in the lower weight loss, respiratory intensity, electrolyte leakage and ethylene production, compared to the control, also managed to preserve for a longer time its visual quality, total chlorophyll content and color. The combined method as conservation technology was effective in extending the shelf life of basil.

Keywords: Storage, 1-methylcyclopropene, passive atmosphere, quality parameters, shelf life.

5.1 Introducción

La albahaca es una planta herbácea con más de 150 especies de *Ocimum* conocidos, pero la especie albahaca dulce (*O. basilicum* Linn.) es una de las más cultivada en regiones tropicales y templadas, incluyendo Asia, África, América central y del sur (Al Abbasy et al., 2015).

La importancia económica de la albahaca radica en la alta demanda como hierba nutracéutica (Al Abbasy et al., 2015; Pandey et al., 2016), utilizándose ampliamente en la medicina tradicional y popular para el tratamiento de dolor de cabeza, tos, diarrea, estreñimiento, gusanos y disfunciones renales, pero los nuevos resultados de la investigación científica ha expuesto sus propiedades antibacterianas, anticonvulsiva, anticancerígenas (Bušić et al., 2014), antioxidantes (Flanigan y Niemeyer , 2014; Bernhardt, 2014; Pandey et al., 2016), antimicrobianas y antitumorales (Hussain et al, 2008). Estas propiedades son impartidas por compuestos fotoquímicos (Synowiec et al., 2014), especialmente por compuestos fenólicos y aromáticos (Lu et al. 2014), compuestos responsables del aroma y el sabor específico de la especie (Calín-Sánchez et al., 2012).

Pese a las propiedades nutracéuticas de la albahaca, su oferta y comercialización se ve limitada por su corta vida útil. La cual está entre una y dos semanas (Cantwell y Reid, 2001), lo que la cataloga como un producto perecedero. En general la alta perecibilidad

de los productos, el bajo nivel tecnológico y las limitaciones logísticas en la cadena productiva en países de América Latina afecta el crecimiento del mercado (Fonseca y Njie, 2014), ocasionando un alto porcentaje de pérdidas en poscosecha y en procesamiento, hasta del 40% en cada uno de los eslabones (FAO 1989; FAO, 2012).

El estrés causado por altas o bajas temperaturas, daños mecánicos, incorrecta manipulación pueden favorecer la senescencia, aumentar el metabolismo (Saltveit, 1999) y la producción de etileno de los productos vegetales en poscosecha debido a que aceleran los procesos fisiológicos, principalmente la transpiración y la respiración, por los cuales se pierde agua y calidad en productos cosechados (Sudheer y Indira, 2007).

La tecnología más utilizada para la conservación albahaca fresca es el almacenamiento a temperaturas mayores a 10 °C debido a que temperaturas menores pueden causar daño por frío (Lang y Cameron, 1994). Por lo tanto, la baja temperatura no es una opción para la prolongación de la vida útil de la albahaca (Hassan y Mahfouz, 2010). A temperatura de 10 y 20°C la vida útil de la albahaca fue de aproximadamente 8 días (Da Silva et al., 2005) y 4 días, respectivamente (López-Blancas et al., 2014).

Existen otras tecnologías que han mostrado eficacia en la conservación de frutas y hortalizas como lo son, el 1- metilciclopropeno (1-MCP) y el empaque en atmósferas modificadas. El 1-MCP ocupa los receptores de membrana de manera irreversible, bloqueando la transducción de señales que conllevan a la transcripción y traducción de genes relacionados con la maduración y senescencia (Jiang et al., 1999). El 1-MCP presenta diez veces mayor afinidad por los receptores comparado con el etileno, además actúa a concentraciones más bajas (Blankenship y Dole, 2003). El 1-MCP como compuesto antagonista del etileno puede mejorar la degradación de clorofilas y senescencia de hojas de albahaca (Hassan y Mahfouz., 2010), así como mantener la capacidad antioxidante en hojas de cilantro (Hassan y Mahfouz., 2012).

El empaque en atmósfera modificada (MAP) se ha utilizado a su vez para retrasar la senescencia equilibrando la respiración del producto, la transpiración y la producción de etileno (Castellanos, et al., 2016b, Domínguez et al., 2016), así mismo se ha logrado reducir el deterioro enzimático y el crecimiento microbiano sin perjudicar la calidad

poscosecha de productos perecederos (Rojas et al., 2009), lo cual se debe al intercambio de gas a través del sistema de envasado, (Castellanos, et al., 2016b, Domínguez et al., 2016). Esto conduce a bajos niveles de O₂ y niveles moderados de CO₂ en el espacio de cabeza del envase, los cuales son favorables para preservar las propiedades de calidad en el producto envasado (Mendoza, et al., 2016; Sandhya, 2010). En estudios realizados con albahaca, se pudo extender su vida útil hasta 15 días utilizando una atmósfera de 5% de O₂ y 5% de CO₂ con bolsas de polietileno de baja densidad (LDPE) a 10 ° C (Camargo, 2008). En otros estudios con albahaca 'Santa', se pudo conservar el producto hasta 9 días utilizando diferentes bolsas de polipropileno macroperforadas con concentraciones de O₂ entre 11 y 18% y CO₂ entre 0,7 y 1,8% a 10 ° C (Niamthong, et Al., 2007).

En la literatura disponible hasta la fecha no se han encontrado estudios que combinen el 1-MCP y el MAP, quienes presentan un potencial para maximizar la vida útil de hierbas aromáticas frescas, específicamente de la albahaca, por tal motivo, el objetivo de este estudio fue evaluar la calidad de la albahaca después de la aplicación individual y conjunta de 1-metilciclopropeno y empaque en atmósferas modificadas.

5.2 Resultados y discusiones

Concentraciones de gases en los MAP

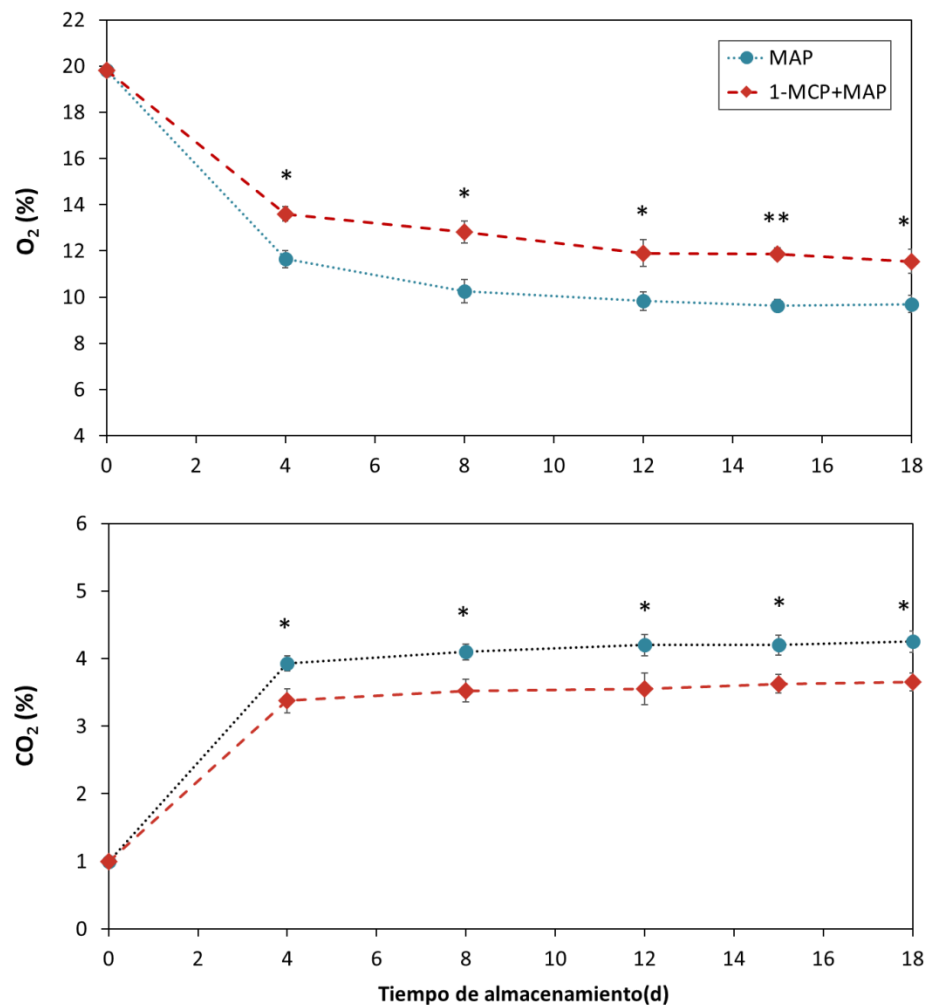
Las concentraciones de O₂ disminuyeron mientras que las de CO₂ se incrementaron en el tiempo de almacenamiento, llegando a un punto de equilibrio, a partir del cual la atmósfera en el espacio de cabeza de los empaques permaneció hasta el final del periodo de almacenamiento (Fig. 12). El punto de equilibrio en los sistemas MAP se alcanzó después del 2 - 4 dda, con una concentración de O₂ y CO₂ de 10,2 y 4,1 %, respectivamente, para MAP, y de 12,3 y 3,6%, respectivamente, para 1-MCP+MAP. A partir del 4 dda se evidenciaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en las concentraciones de los gases. Las concentraciones de O₂ y CO₂ entre los días 4 y 18 de almacenamiento para MAP estuvieron entre 9,6 - 11,6 % y entre 3,9 - 4,3 %, respectivamente, mientras que para 1-MCP+MAP estuvieron entre 11,6 - 13,6 % y entre 3,4 - 3,6 %, respectivamente.

En comparación con otros materiales de embalaje ampliamente utilizados como

polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP) o poliamida (PA), las bolsas de polietileno de baja densidad (LDPE) permiten mayores concentraciones de equilibrio de O₂ (y menor CO₂) sin necesidad de perforaciones en el sistema de envasado (Castellanos et al., 2016a, Mangaraj et al., 2009, Sandhya, 2010). Respecto al 1-MCP en referencias anteriores se ha hecho énfasis en que disminuye la intensidad respiratoria, motivo por el cual pudo presentarse una buena respuesta entre ambas tecnologías de conservación (MAP y 1-MCP), disminuyendo la tasa de consumo de O₂ y producción de CO₂.

En contraste con otros estudios, en albahaca y con empaque de permeabilidad media al oxígeno, el punto de equilibrio se alcanzó entre los 5 y 7 dda, donde la concentración de O₂ y CO₂ se encontró en 11 y 1,8%, respectivamente (Niamthong et al., 2007). A pesar de las diferencias en los niveles de gases obtenidos en los empaques de LDPE entre los dos estudios, se pueden calificar como adecuados para la conservación de los racimos de albahaca según el comportamiento evidenciado en los parámetros de calidad, y según datos reportados por otros autores (Camargo, 2008; Niamthong, et al., 2007), sin embargo, en el presente estudio se alcanza un punto de equilibrio en menos tiempo y el tiempo de vida útil es mayor en 6 días para MAP y en 9 días para 1-MCP+MAP. En el presente estudio las concentraciones de equilibrio de O₂ alcanzadas (9,6 % – 13,6%) estuvieron dentro de un rango adecuado para la conservación de productos vegetales, porque se considera que una concentración de equilibrio del 1,5% de O₂ es baja para la conservación del producto debido a que induciría reacciones anaeróbicas (Mangaraj & Goswami, 2009; Sandhya, 2010). Por otra parte, en estudios con cilantro fresco los resultados indicaron que 1-metilciclopropeno retrasó significativamente la disminución de O₂ y la acumulación de CO₂ (Kima et al., 2007). En conclusión, se lograron alcanzar concentraciones de equilibrio adecuadas para la conservación de la albahaca en los dos tratamientos en los que se utilizó MAP, sin embargo, aunque el 1-MCP+MAP presentó concentraciones mayores de O₂ (en promedio, 2 ± 1 % más) y menores de CO₂ (en promedio, 1 ± 0,6 % más), en comparación con MAP, logró mantener por mayor tiempo (18 dda) una calidad comercializable.

Figura 10. Efecto de MAP en la concentración de gases de O₂ y CO₂ (%) de muestras de albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de n=4 en cada punto de muestreo y las barras representan el error estándar. Un asterisco (*) y dos asteriscos (**) indican un nivel de significancia de 0,05 y 0,01, respectivamente, acorde a ANOVA



Pérdida de peso

Un crecimiento lineal de la pérdida de peso (PP) fue observado (Fig. 9), presentándose diferencias altamente significativas ($P < 0.001$) a partir del 4 dda entre los tratamientos con MAP y sin MAP, donde los primeros tratamientos presentaron las menores PP. La PP reportada en los diferentes tratamientos cuando fue asignado un valor de 4 en la escala de calidad visual y vida útil, a los 8 días de almacenamiento (dda) para el control y

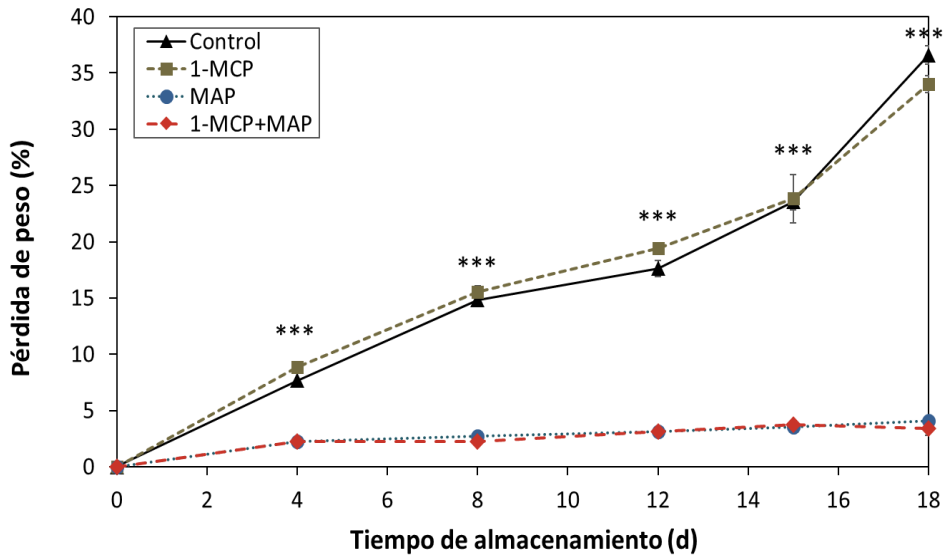
1-MCP, a los 15 ddt para MAP y a los 18 dda para 1-MCP+MAP fue de 14,9, 15,6, 3,6 y 3,4%, respectivamente.

La PP en hojas, se da principalmente a través del proceso de transpiración. Según Kader y Yahia (2011), los factores que influyen en este proceso son los propios del producto (características morfológicas y anatómicas (relación superficie/volumen) y los ambientales (humedad relativa, temperatura, y déficit de presión de vapor), siendo este último uno de los más importantes en el proceso de transpiración de los tejidos vegetales.

El peso fue afectado por el empaque en atmosferas módificas. Las menores PP en los tratamientos con MAP se pueden atribuir a que el empaque funcionó como barrera para la pérdida de agua por transpiración (Mangaraj et al., 2009), mientras que los tratamientos control y 1-MCP, los cuales se almacenaron en bolsas macro-perforadas evidenciaron la mayor PP debido a que presentaron un mayor déficit de presión de vapor, lo que se traduce en una mayor transpiración. De igual manera, la reducción de la PP en MAP se logró obtener probablemente porque se creó un ambiente con condiciones óptimas de concentración de gases dadas por el tipo de empaque, temperatura y humedad relativa de almacenamiento, las cuales reducen la intensidad respiratoria del producto y la transpiración (Belay et al., 2016).

En estudios similares, en albahaca con tratamientos de MAP y temperatura de almacenamiento de 10°C se observaron PP del 2%, a los 9 dda (Vida útil), en comparación con las almacenadas en bolsas perforadas (> 4%) (Niamthong et al., 2007), de igual manera en estudios con albahaca donde se aplicó 1-MCP, se utilizaron bolsas de LDPE y se almacenaron las muestras a 20°C se registraron a los 7 dda (vida útil) pérdidas de pesos entre el 2,3 y 3,4 %, menores que el control (Hassan and Mahfouz, 2010). Las pérdidas de peso de los estudios anteriores fueron menores a los obtenidos, de igual manera fue su vida útil. En conclusión, el tratamiento que presentó las menores PP en el presente estudio fueron los correspondiente a MAP y 1-MCP+MAP.

Figura 11. Efecto de 1-MCP, MAP y su interacción en la pérdida de peso de la albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de $n=4$ en cada punto de muestreo y las barras representan el error estándar. Tres asteriscos (***) indican un nivel de significancia de 0,001, acorde con ANOVA.



Intensidad respiratoria

La intensidad respiratoria (IR) fue variable a través del tiempo de almacenamiento, presentándose diferencias significativas ($P < 0.05$) a los 8, 15 y 18 dda (Fig. 10). La albahaca tratada con 1-MCP mostró la mayor reducción de la IR de todos los tratamientos, alcanzando el menor valor ($952,3 \text{ cm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$) a los 8 dda, posteriormente, la IR se incrementó. El tratamiento MAP y el control también incrementaron su IR pero a partir del 0 y 4 dda, respectivamente. Por el contrario, el 1-MCP+MAP presentó una reducción de la IR desde el 4 hasta el 12 dda.

La IR de la albahaca tratada con MAP se ralentizó posiblemente debido a que se logró establecer una atmósfera modificada de equilibrio dentro del empaque, lo cual sucede cuando la permeabilidad de la película del empaque al O_2 y CO_2 se logra adaptar a la respiración del producto (Sandhya, 2010), de tal manera que se limita la disponibilidad del oxígeno, molécula que se consume en el proceso de respiración de productos frescos (Belaya, 2016).

Los diferentes tratamientos indujeron diferentes efectos sobre la IR de la albahaca, las menores IR fueron las correspondiente a 1-MCP y 1-MCP+MAP. El incremento de la

respiración del tratamiento de MAP puede ser a un posible incremento de la velocidad de consumo de reservas del tejido, lo cual sucede cuando es expuesto a la concentración de gases del ambiente a la hora de realizar las evaluaciones, mientras que el incremento a los 18 dda posiblemente se deba al comienzo de la generación de radicales libres que están presentes en la respiración catabólica (MacLean et al., 2003), lo cual no se observó en 1-MCP+MAP posiblemente porque el 1-MCP está relacionado con el aumento de la capacidad antioxidante total (MacLean et al., 2003), al igual que con el bloqueo temporal de la señalización de genes implicados en el metabolismo respiratorio (Taiz y Zeiger, 2006). Aunque existe pocos estudios en los que se evalúa el efecto del 1-MCP sobre la IR de hortalizas de hojas (McCollum y Maul, 2007), se ha encontrado que el 1-MCP reduce también la IR en cilantro (Kima et al., 2007) y floretes de brócoli (Cefola et al., 2010). Por último, el tratamiento que presentó una disminución más constante de la IR fue 1-MCP+MAP, considerado como el mejor tratamiento.

Figura 12. Efecto de 1-MCP, MAP y su interacción en la intensidad respiratoria de la albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de n=4 en cada punto de muestreo y la barra representa el error estándar. Un asterisco (*) y dos asteriscos (**) indican un nivel de significancia de 0,05 y 0,01, respectivamente, acorde a ANOVA.

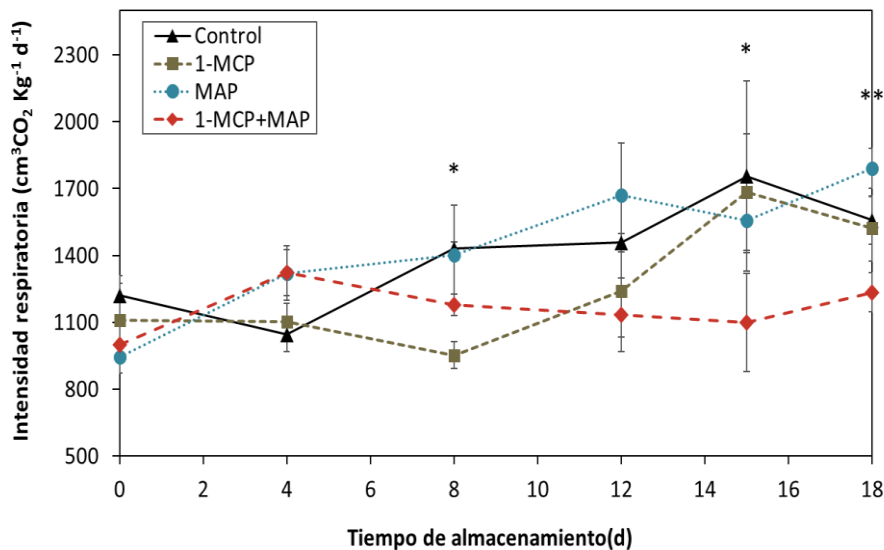
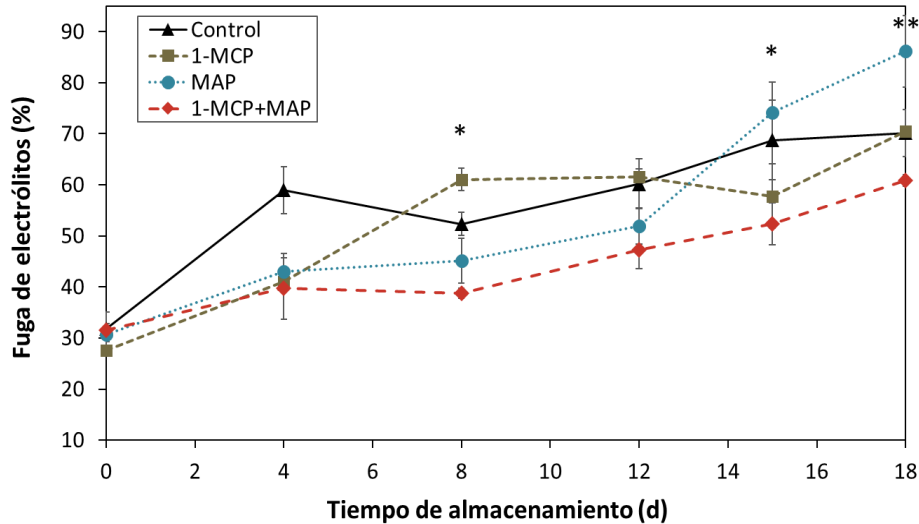


Figura 13. Efecto de 1-MCP, MAP y su interacción en la fuga de electrolitos de la albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de n=4 en cada punto de muestreo y la barra representa el error estándar. Un asterisco (*) y dos asteriscos (**) indican un nivel de significancia de 0,05 y 0,01, respectivamente, y acorde a ANOVA



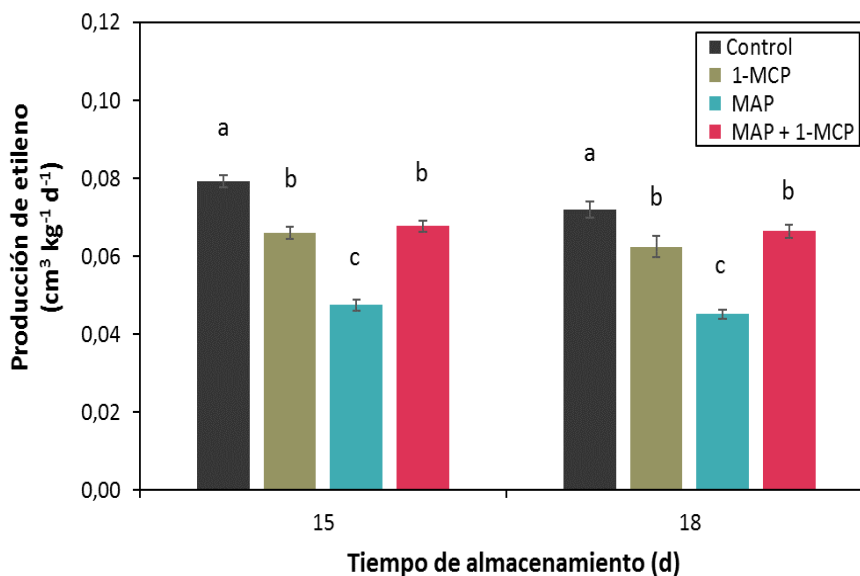
Etileno

La tasa de producción de etileno evidenció un incremento en la producción en todos los tratamientos (Fig. 13), evidenciándose diferencias significativas ($P < 0.05$) a los 15 y 18 dda. En general las técnicas de conservación redujeron la producción de etileno en comparación con el control. La mayor tasa de producción de etileno registrada a los 15 y 18 dda fue la correspondiente al control, con valores de $0,079$ y $0,072 \text{ cm}^3 \text{ kg}^{-1}\text{d}^{-1}$, respectivamente. Los tratamientos 1-MCP, MAP y 1-MCP+MAP, presentaron una reducción respecto al testigo del 17, 40 y 15 %, respectivamente, para el 15 dda, y del 13, 37 y 8 %, respectivamente, para 18 dda.

La producción de etileno en los dos tratamientos con MAP se pudo ver reducida al limitarse el oxígeno disponible en el ambiente, molécula importante en la última etapa de la síntesis de etileno (Domínguez et al., 20016). De igual manera, el 1-MCP ha sido ampliamente estudiada como inhibidor de la acción de etileno (Blankenship y Dole, 2003; Wanga et al., 2014), donde se relaciona directamente con el bloqueo de la vía de señalización de la hormona vegetal. El 1-MCP+MAP presentó la menor reducción en la producción de etileno, lo cual puede explicarse a través de una posible expresión del

sistema autocatalítico que hace referencia al mecanismo de retroalimentación positivo, hipótesis también planteada en estudios con resultados similares pero realizados en cilantro (Jiang et al., 2002a), espinaca (Grozzeff et al., 2010) y perejil (Ella et al., 2003). Sin embargo, pese a la mayor producción de etileno en el tratamiento combinado el etileno no aceleró el deterioro en el producto, probablemente porque los receptores de etileno estaban ocupados por el 1-MCP. En contraste con estudios donde se realizaron aplicaciones de 1-MCP en albahaca, los resultados mostraron una reducción de la producción de etileno respecto al testigo (Hassan y Mahfouz, 2010), lo que concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Figura 14. Efecto de 1-MCP, MAP y su interacción en la producción de etileno ($\text{cm}^3 \text{kg}^{-1} \text{d}^{-1}$) de muestras de albahaca. Los datos expuestos corresponden al valor medio de $n=4$ en cada punto de muestreo y las barras representan el error estándar. Un asterisco (*) y dos asteriscos (**) indican un nivel de significancia de 0,05 y 0,01, respectivamente, acorde a ANOVA.



Fuga de electrólitos

Se presentó un aumento de la fuga de electrólitos (FE) en el tiempo de almacenamiento, sin embargo, los efectos variaron dependiendo el tratamiento. Se evidenciaron diferencias significativas ($P < 0.05$) al 8, 15 y 18 dda (Fig. 11). En el último día de almacenamiento el tratamiento correspondiente a MAP presentó la mayor pérdida de electrólitos, sin embargo, los tratamientos control y 1-MCP presentaron un incremento de la FE a los 4 y 12 dda, respectivamente, alcanzando valores de 58,9 y 61,5%,

respectivamente. La FE en MAP y 1-MCP+MAP se incrementó durante el tiempo de almacenamiento, a pesar de esto, los menores valores los presentó este último tratamiento.

Durante la senescencia, los tejidos de las plantas suelen sufrir deterioro y daño y uno de los principales síntomas es la pérdida de la integridad de la membrana plasmática, que conduce a la pérdida de compartimentación celular y la liberación de solutos del citosol (Lemoine et al., 2009). Posible causa por la cual la FE aumenta con el tiempo de almacenamiento como menciona Nasr et al. (2013). Así mismo, la FE funciona como un indicador de daño a nivel celular, el cual se da mucho antes de que los daños en los tejidos sean visibles (Jambunathan, 2010). Debido a esto, es posible que se presentara un daño a nivel celular en la albahaca por deterioro según porcentajes de FE, la cual se evidencio primero en el control, posteriormente en el tratamiento de 1-MCP, ATM y ATM+1-MCP, lo cual concuerda con los resultados expuestos en los parámetros de calidad visual y vida útil.

Los primeros daños observados en la albahaca se observaron en los tratamientos sin MAP, estos daños posiblemente se deben al incremento de hidroperóxidos lipídicos en los tejidos, según estudios realizados por Kou et al. (2014). Se ha reportado que el 1-MCP mantiene la capacidad antioxidante en hojas de cilantro disminuyendo la producción de especies reactivas de oxígeno y daños a nivel celular (Hassan y Mahfouz, 2012). Según los resultados del presente estudio y lo expuesto en las citas, si se quiere conservar por más tiempo la calidad de la albahaca en almacenamiento es necesario la combinación de dos tecnologías, en este caso 1-MCP+MAP. Por otro lado, en estudios realizados con hojas de espinaca tratadas con MAP se registró un aumento en la FE en el tiempo, donde los mayores aumentos se relacionaron con el inicio de la respiración anaeróbica (Allende, 2004), lo cual pudo pasar en el presente estudio a los 18 dda en la albahaca tratada con solo MAP. En síntesis, el tratamiento que presentó los menores valores de FE durante el almacenamiento fue 1-MCP+MAP.

Color

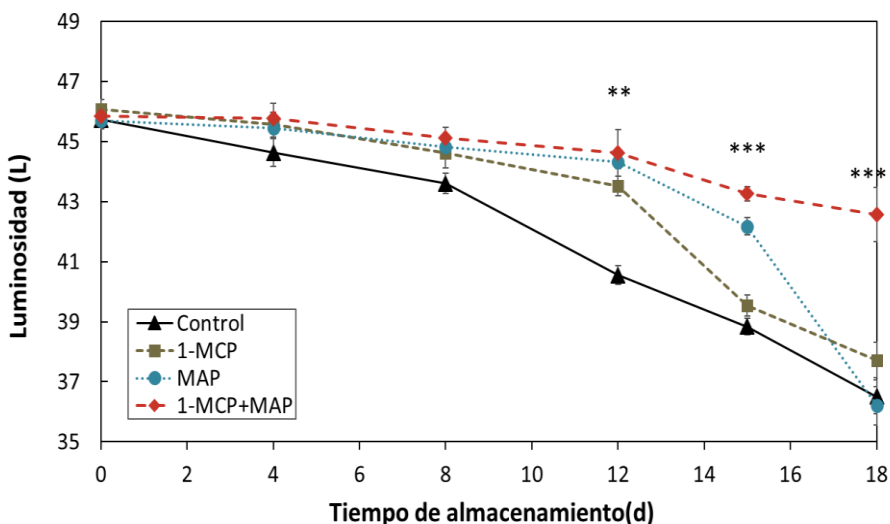
Luminosidad

La luminosidad (L) presentó una reducción lineal en el tiempo, evidenciándose diferencias estadísticas ($P < 0.01$) a partir de los 12 dda (Fig. 14); La L reportada en los

diferentes tratamientos cuando fue asignado un valor de 4 en la escala de calidad visual y vida útil, a los 8 dda para el control y 1-MCP, a los 15 dda para MAP, y a los 18 dda para 1-MCP+MAP fue de 4,7, 3,2, 7,7 y 7,2 %, respectivamente. La albahaca tratada con 1-MCP+MAP presentó la menor reducción de L.

En la coordenada b* (Yellow/Blue) se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) a partir del 12 dda, evidenciándose un incremento del color amarillo hasta el día 15 de almacenamiento en todos los tratamientos (Fig. 15), posterior a este día, todos los tratamientos con excepción de 1-MCP+MAP redujeron sus valores. El incremento del color amarillo reportados en los diferentes tratamientos cuando fue asignado un valor de 4 en la escala de calidad visual y vida útil, a los 8 dda para el control y 1-MCP, a los 15 dda para MAP y a los 18 dda para 1-MCP+MAP fue del 5,4, 5,6, 10,3 y 11,2%, respectivamente.

Figura 15. Efecto de 1-MCP, MAP y su interacción en la Luminosidad (L) de muestras de albahaca. Las barras representan el Error estándar para $n = 4$. Dos asteriscos (**) y tres asteriscos (***) indican un nivel de significancia de 0,01 y 0,001, respectivamente, acorde con ANOVA.



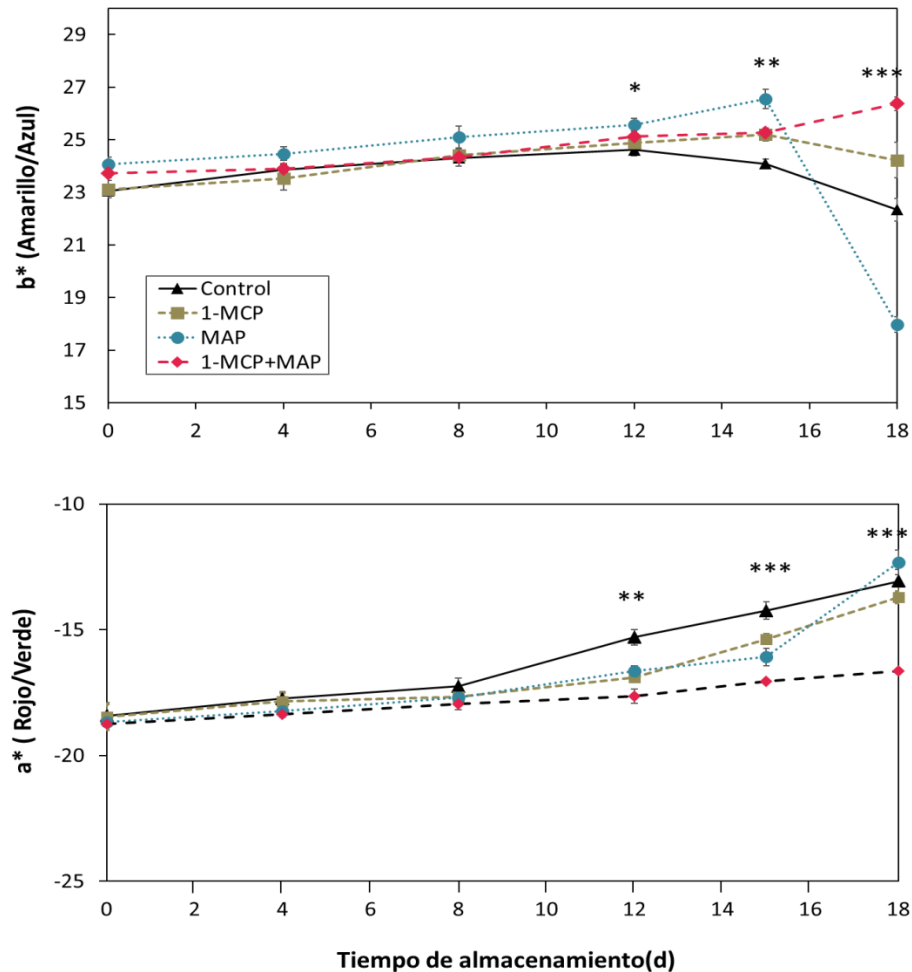
Los valores de la coordenada a* (red/green), tonalidad verde, se incrementaron en el tiempo, llegando a ser menos negativos, evidenciándose diferencias significativas ($P < 0.01$) a partir del 12 dda (Fig. 15). El incremento de los valores de la coordenada a*

(reducción del color verde) reportados en los diferentes tratamientos cuando fue asignado un valor de 4 en la escala de calidad visual y vida útil, a los 8 ddt para el control y 1-MCP, a los 15 ddt para MAP y a los 18 ddt para 1-MCP+MAP fue de 6,7, 4,4, 13,8 y 11,3 %, respectivamente. A los 18 dda el tratamiento con MAP registró la mayor pérdida de tonalidad verde y amarillo, debido a que el tejido foliar presentó daños de coloración oscura y opaca, lo cual se reflejó en el color y en la luminosidad de la albahaca tratada con este tratamiento.

La reducción de la luminosidad y pérdida del color, posiblemente se deba al pardeamiento enzimático como consecuencia de la oxidación de los compuestos fenólicos por polifenol oxidasa (PPO), que desencadena la generación de pigmentos oscuros (Holderbaum et al., 2010), los cuales pudieron desencadenarse por el proceso de senescencia, por daños por frío o por comienzo del inicio de respiración anaerobia. Algunos síntomas ya mencionados se demoraron en evidenciarse en los tratamientos donde se aplicó 1-MCP, posiblemente porque este compuesto reduce la actividad PPO e incrementa la actividad antioxidasa (Yuan et al., 2010), y disminuye la síntesis de enzima clorofilasa que degrada las clorofilas (Koukounaras et al., 2009).

El 1-MCP presentó efectos sobre el color de la albahaca, el cual posiblemente ralentizó la degradación de las clorofilas y favoreció la permanencia del color verde por más tiempo en el tejido foliar. En estudios desarrollados en brócoli se encontró que 1-MCP disminuyó la degradación de clorofilas, la respiración y aumentó la vida poscosecha (Gang et al., 2009). De igual manera, en estudios realizados en albahaca tratada con MAP y almacenada a 10 ° C se evidenció una disminución de la luminosidad y color verde a partir de los 11 dda, como causa de síntoma por daño por frío. (Niamthong et al., 2007), mientras que en espinaca tratada con MAP se observó una disminución de la pérdida del color de las hojas, de verde oscuro a amarillo (Kou et al., 2014), observándose este mismo resultado en hojas de menta (Kenigsbuch et al., 2007). Por último, a pesar de que 1-MCP+MAP presentó una mayor reducción de la luminosidad y del color evidenció una vida útil mayor (18 dda) que la del resto de los tratamientos.

Figura 16. Efecto de 1-MCP, MAP y su interacción en la coordenada cromática a^* y b^* de muestras de albahaca. Las barras representan el Error estándar para $n = 4$. Dos asteriscos (**) y tres asteriscos (***) indican un nivel de significancia de 0,01 y 0,001, respectivamente, acorde con ANOVA.



Contenido de clorofilas totales

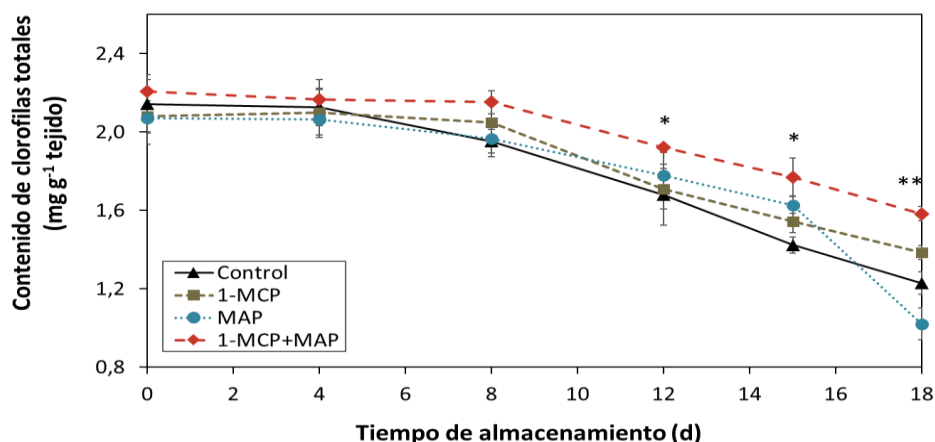
Los resultados del contenido de clorofilas totales (CCT) evidenciaron una reducción en el tiempo de almacenamiento y diferencias significativas ($P < 0.05$) a partir del 12 dda (Fig. 16). La reducción del contenido de clorofilas totales reportados en los tratamientos cuando fue asignado un valor de 4 en la escala de calidad visual y vida útil, a los 8 ddt para el control y 1-MCP, a los 15 ddt para MAP y a los 18 ddt para 1-MCP+MAP fue de 8,9, 1,5, 21,5 y 25,7 %, respectivamente.

Es probable que el tratamiento 1-MCP+MAP ralentizara la degradación de las clorofilas totales porque al disminuirse la IR se conservan por más tiempo los sustratos

respiratorios más importantes (carbohidratos, ácidos orgánicos principalmente) (Gontard and Guillaume, 2010), evitándose de esta manera que se utilicen como sustrato respiratorio las proteínas y lípidos que conforman los cloroplastos, tal como menciona Kenigsbuch et al. (2007). Así mismo, el 1-MCP ha mostrado retener la integridad celular y evita que las proteasas interactúen con sus sustratos (Wanga et al., 2014). De igual manera, la degradación de la clorofila en el proceso de senescencia (que puede ser inducido por etileno) se puede dar por acción de la enzima clorofilasa (Büchert et al., 2011). Por otro lado, el efecto de las MAP sobre el color y contenido de clorofilas en albahaca se puede atribuir a la reducción de la difusión de los gases que entran al interior y salen al exterior, controlando la tasa metabólica (Rees et al., 2012; Belay et al., 2016).

En estudios se ha encontrado que la actividad clorofilasas se disminuye como efecto de las aplicaciones de 1-MCP (Gong and Mattheis 2003; Watkins, 2006), lo que conlleva a que los contenidos de clorofilas en frutos y en vegetales se conserven por más tiempo, tal como se observó en floretes de brócoli (Yuan et al., 2010). De igual manera, en estudios con albahaca y MAP se observó la disminución gradual del contenido de clorofilas durante el almacenamiento, presentándose una reducción entre el 24 y 62% en el día 7 (vida útil) (Hassan and Mahfouz, 2010). A pesar de que 1-MCP+MAP presentó una mayor reducción del contenido de clorofilas totales, evidenció una vida útil mayor (18 dda) en comparación con la del resto de los tratamientos.

Figura 17. Efecto de 1-MCP, MAP y su interacción en el contenido de clorofilas totales (mg g^{-1} tejido) de muestras de albahaca. Las barras representan el error estándar para $n = 4$. Un asterisco (*) y dos asteriscos (**) indican un nivel de significancia de 0,05 y 0,01, respectivamente, acorde con ANOVA.



Calidad visual y Vida útil

Se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la calidad visual (CV) a partir del 8 dda (Fig. 17 e Imag. 2). El tratamiento control presentó una reducción más acelerada de la CV que el resto de los tratamientos, sin embargo, para el día 8 el tratamiento de 1-MCP le igualó la calificación de 4, calificación que fue asignada a la albahaca cuando presentaba una calidad aun comercializable en el que se evidenciaba hasta el 20% de hojas con lesiones de hasta 10 mm de diámetro y deshidratación leve. Respecto a los tratamientos MAP y 1-MCP+MAP, presentaron una calidad visual estable hasta el día 8 y 12, respectivamente, a partir de esos días se observa un incremento de la calificación (reducción de la calidad) en la escala llegando a obtener una calificación de 4 a los 15 y 18 dda, respectivamente. Por lo tanto, el tratamiento que presentó una CV aceptable para la comercialización a los 18 dda, fue 1-MCP+MAP.

La vida útil (VU) de la albahaca evidenció diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos, donde los tratamientos control y 1-MCP presentaron una calidad comercializable hasta por 9 ± 1 días, y de 15 y 18 días para los tratamientos MAP y 1-MCP+MAP, respectivamente (Fig. 18). Este último tratamiento evidenció una mayor duración del producto posiblemente por los resultados de la interacción de las dos tecnologías, las cuales promovieron la conservación de la calidad de la albahaca, tal como se observa en los resultados de los parámetros medidos.

En estudios relacionados, se encontró que a los 7 días la albahaca empacada en MAP (almacenada a 10 °C) estaban todavía en condiciones aceptables, reportándose una VU de hasta 9 días (Niamthong et al., 2007). De igual manera, a los 12 dda la albahaca tratada con 1-MCP (almacenada a 10 °C) presentaba también una calificación aceptable (Berry et al., 2010). Así mismo, en otras investigaciones 1-MCP logró aumentar la VU de la albahaca almacenada en bolsas de polietileno (a 20°C) hasta por 7 días. (Hassan and Mahfouz, 2010).

De esta manera las investigaciones en albahaca y con tratamientos con 1-MCP y MAP reportan un máximo de vida útil de 12 días, en contraste, en el presente estudio se observó que MAP y 1-MCP+MAP presentaron efectos positivos sobre la calidad visual y la vida útil de la albahaca, lográndose mantener la calidad visual y extender la vida útil por 15 y 18 días, respectivamente.

Figura 18. Efecto de 1-MCP, MAP y su interacción en la calidad visual (escala generada) de muestras de albahaca. Las barras representan el error estándar para $n = 4$. Un asterisco (*) indica un nivel de significancia de 0,05 acorde con test de Kruskal-Wallis.

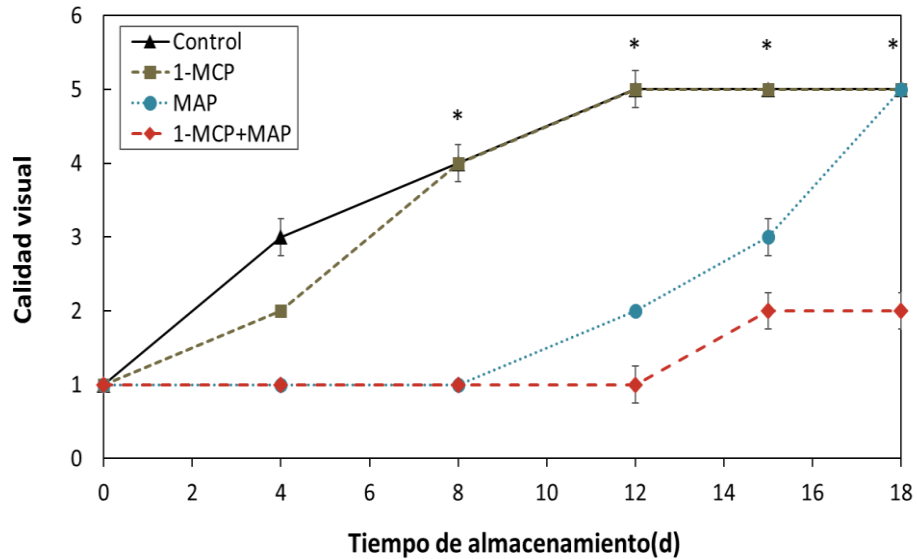


Figura 19. Efecto de 1-MCP, MAP y su interacción en la vida útil (escala generada) de muestras de albahaca. Las barras representan el error estándar para $n = 4$. Se realizó el test de Kruskal-Wallis seguido del test de Wilcoxon para la comparación de medias. Valores con la misma letra no muestran diferencias significativas a $P < 0.05$.

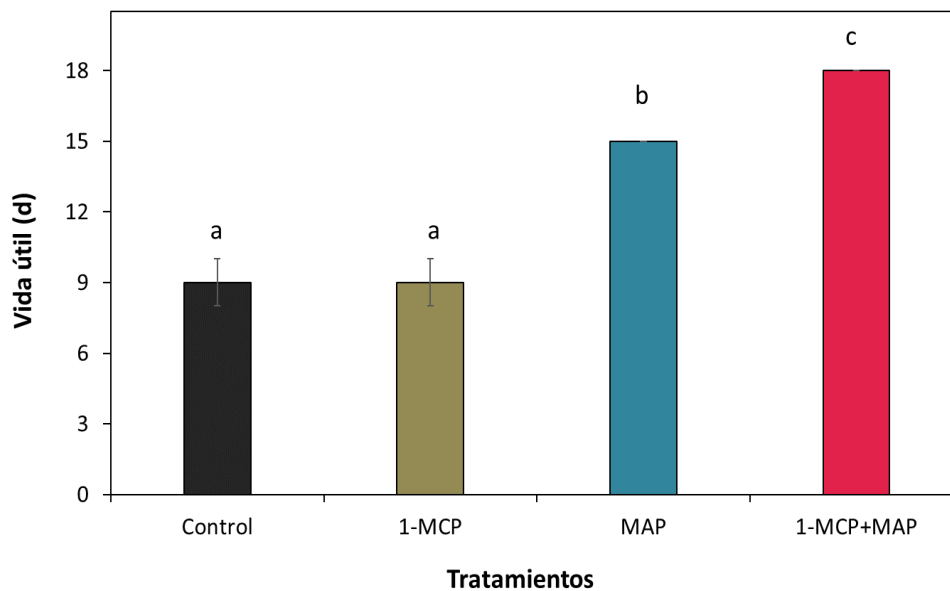
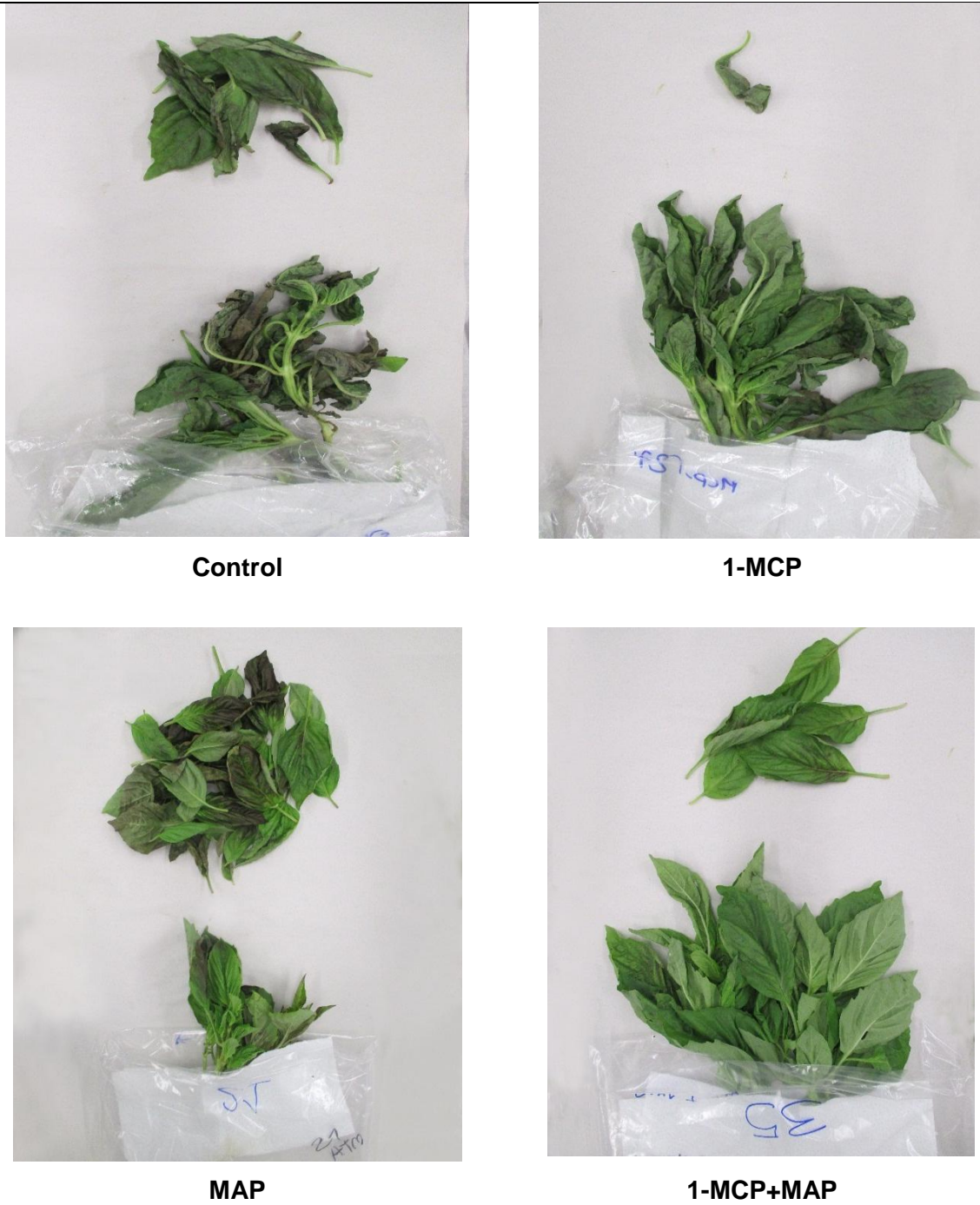


Figura 20. Efecto de 1-MCP y MAP y su interacción en la calidad visual de la de albahaca a los 18 dda.



5.3 Conclusiones

La combinación de 1-MCP y MAP a una temperatura de almacenamiento de 11°C permitieron preservar las muestras de albahaca por 18 días, y ralentizar la senescencia por 9 días, en comparación con el control, lo cual se vio reflejado en la calidad visual, el contenido de clorofilas totales y el color (luminosidad y color verde). De igual manera, el tratamiento 1-MCP+MAP permitió reducir la pérdida de peso, intensidad respiratoria, fuga de electrolitos y la producción de etileno, respecto al control.

Aunque la producción de etileno de 1-MCP+MAP fue menor que la del testigo, pero mayor que los demás tratamientos, no se evidenció un efecto en la calidad visual ni en la vida útil posiblemente porque los receptores de etileno permanecieron ocupados por 1-MCP.

A través del empaque de atmósferas modificadas, en el cual se emplearon bolsas de polietileno de baja densidad se logró mantener niveles constantes y satisfactorios de los gases (O_2 y CO_2) dentro de empaque para la conservación de la calidad de la albahaca.

Es probable que este tipo de método combinado como tecnología de conservación pueda ser eficaz para ralentizar los procesos de senescencia e incrementar el tiempo de vida útil de otras hortalizas de hojas y de otros vegetales en general.

5.4 Literatura citada

Allende, A., Y. Luo, J.L. McEvoy, F. Artés, y Y.C. Wang. 2004. Microbial and quality changes in minimally processed baby spinach leaves stored under super atmospheric oxygen and modified atmosphere conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 33, 51–59.

Al Abbasy, D.W., N. Pathare, J.N. Al-Sabahi y S.A. Khan, 2015. Chemical composition and antibacterial activity of essential oil isolated from Omani basil (*Ocimum basilicum* Linn.). *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 5(8), 645-649.

Belay, Z.A., O.J. Caleb y U.L. Opara. 2016. Modelling approaches for designing and evaluating the performance of modified atmosphere packaging (MAP) systems for fresh produce: A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 10, 1-15.

Bernhardt, B., G. Fazekas, M. Ladányi, K. Inotai, É. Zámboiri-Németh, J. Bernáth y K.

Szabó. 2014. Morphological-, chemical- and RAPD-PCR evaluation of eight different *Ocimum basilicum* L. gene bank accessions. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 1(1), e23-e29.

Berry, A., S. Sargent, y D. Huber. 2010. Effect of Postharvest Application of 1-MCP on Basil Shoot Quality during Storage at Chilling Temperature. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 123, 264-268.

Blankenship, S. y J. Dole, 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology*, 28, 1-25.

Büchert, A.M., P.M. Civello y G.A. Martínez. 2011. Chlorophyllase versus pheophytinase as candidates for chlorophyll dephytilation during senescence of broccoli. *Journal of plant physiology*, 168(4), 337-43.

Bušić, A., A. Vojvodić, D. Komes, C. Akkermans, A. Belščak-Cvitanović y M. Hofland, 2014. Comparative evaluation of CO₂ drying as an alternative drying technique of basil (*Ocimum basilicum* L.) - The effect on bioactive and sensory properties. *Food Research International*, 64, 34-42.

Calín-Sánchez, Á., K. Lech, A. Szumny, A. Figiel, y Á. Carbonell-Barrachina. 2012. Volatile composition of sweet basil essential oil (*Ocimum basilicum* L.) as affected by drying method. *Food Research International*. 48 (1), 217-25.

Camargo, N. 2008. Conservación de la albahaca (*Ocimum basilicum*) fresca en refrigeración, empacada en películas plásticas con atmósferas modificadas. Trabajo final de Especialización en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Cantwell, M. y M. Reid. 2001. Herbs (Fresh Culinary): Recommendations for Maintaining Postharvest Quality [Internet document] URL:

<http://postharvest.ucdavis.edu/pfvegetable/Herbs> Accessed 25/09/2016 Accessed: July 28, 2016.

Castellanos, D.A., W. Polanía, y A.O. Herrera. 2016a. Development of an equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for feijoa fruits and modeling firmness and color evolution. *Postharvest Biology and Technology*, 120, 193-203.

Castellanos, D.A., J.P. Cerisuelo, P. Hernández-Muñoz, A.O. Herrera y R. Gavara. 2016b. Modelling the evolution of O₂ and CO₂ concentrations in MAP of a fresh product: application to tomato. *Journal Food Engineering*, 168, 84-95.

Cefola, M., M.L. Amodio, R. Rinaldi, S. Vanadia y G. Colelli. 2010. Exposure to 1-methylcyclopropene (1-MCP) delays the effects of ethylene on fresh-cut broccoli raab (*Brassica rapa* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 58, 29–35.

Da Silva, F., R.H. Silva, N.J. de Andrade, L.C., Almeida, V.W. Dias, R.R. de Lima y de R.V. Melo. 2005. Basil conservation affected by cropping season, harvest time and storage period. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40 (4), 323-328.

Domínguez, I., M.T. Lafuente, P. Hernández-Muñoz y R. Gavara. 2016. Influence of modified atmosphere and ethylene levels on quality attributes of fresh tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Food Chemistry*, 209, 211-219.

FAO. 1989. Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas. Santiago, Chile. 87.

FAO. 2012. Pérdidas y desperdicios de alimentos en el mundo. Düsseldorf, Alemania. 33.
Ferrante, A. y A. Francini. 2006. Chapter: Ethylene and Leaf Senescence. In book: Ethylene Action in Plants Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 51-67.

Flanigan, P.M. y E.D. Niemeyer. 2014. Effect of cultivar on phenolic levels, anthocyanin composition, and antioxidant properties in purple basil (*Ocimum basilicum* L.). *Food Chemistry* 164, 518-526.

Fonseca, J.M. y D.N. Njie. 2014. Análisis de las pérdidas de frutas y hortalizas frescas de la región de latinoamérica y el caribe debido al incumplimiento con requisitos de calidad en los mercados de exportación. *Acta Horticulturae*, 1016, 179-185.

Gang, M., W. Ran, W. Cheng-Rong, K. Masaya, Y. Kazuki, Q. Fei-fei y X. Hui-Lian,. 2009. Effect of 1-methylcyclopropene on expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors in post-harvest broccoli. *Plant Growth Regulation*. 57, 223–232.

Gong, Y. y J. P. Mattheis. 2003. Effect of ethylene and 1-methylcyclopropene on chlorophyll catabolism of broccoli florets. *Plant Growth Regulation*, 40, 33–38.

Gontard, N., y C. Guillaume. 2010. Packaging and the shelf life of fruits and vegetables. In G. L. Robertson (Ed.). *Food packaging and shelf life: a practical guide*, pp, 297–315. London: CRC.

Hassan, F. y S. Mahfouz, 2010. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on sweet basil leaf senescence and ethylene production during shelf-life. *Postharvest Biology and Technology*, 55, 61-65.

Hassan, F. y S. Mahfouz. 2012. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on the postharvest senescence of coriander leaves during storage and its relation to antioxidant enzyme activity. *Scientia Horticulturae*, 141, 69–75.

Holderbaum, D.F., T. Kon, T. Kudo y M.P. Guerra. 2010. Enzymatic Browning, Polyphenol Oxidase Activity, and Polyphenols in Four Apple Cultivars: Dynamics during Fruit Development. *HortScience*, 45(8), 1150–1154.

Hussain, A., F. Anwar, S. Hussain, y R. Przybylski. 2008. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of basil (*Ocimum basilicum*) essential oils depends on seasonal variations. *Food Chemistry*, 108 (3), 986-95.

Jambunathan, N. 2010. Chapter 18. Determination and Detection of Reactive Oxygen Species (ROS), Lipid Peroxidation, and Electrolyte Leakage in Plants, pp, 291-297. In Sunkar R. Plant stress tolerance, methods and protocols. *Springer protocols. Methods in Molecular Biology* 639, Humana Press. pp, 386.

Jiang, Y., D. Joyce y Macnish, A. 1999. Responses of banana fruit to treatment with 1-

methylcyclopropene. *Plant Growth Regulation*, 28, 77–82.

Kader, A.A. y E.M. Yahia. 2011. Postharvest biology of tropical and subtropical fruits, in: Yahia, E.M. (Ed.), *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*, vol 1: fundamental issues. Woodhead Publishing. pp. 79–111.

Kenigsbuch, D., D. Chalupowicz, Z. Aharon, D. Maurer, y N. Aharoni. 2007. The effect of CO₂ and 1-methylcyclopropene on the regulation of postharvest senescence of mint, *Mentha longifolia* L. *Postharvest Biology and Technology*, 43, 165–173.

Kima, J.G, Y. Luo, y Y. Tao, 2007. Effect of the sequential treatment of 1-methylcyclopropene and acidified sodium chlorite on microbial growth and quality of fresh-cut cilantro. *Postharvest Biology and Technology*, 46, 144–149.

Kou, L., Y. Luoa, E. Parka, E.R. Turner, A. Barczakc, W.M. Jurick II. 2014. Temperature abuse timing affects the rate of quality deterioration of commercially packaged ready-to-eat baby spinach. Part I: Sensory analysis and selected quality attributes. *Postharvest Biology and Technology*, 91, 96–103.

Koukounaras, A., A.S. Siomos y E. Sfakiotakis. 2009. Impact of heat treatment on ethylene production and yellowing of modified atmosphere packaged rocket leaves. *Postharvest Biology and Technology*, 54(3), 172–176.

Lang, D.D. y A.C. Cameron. 1994. Postharvest shelf-life of sweet basil (*Ocimum basilicum*). *HortScience*, 29 (2), 102-103.

Lemoine, M.L., P. Civello, A. Chaves y G. Martínez. 2009. Hot air treatment delays senescence and maintains quality of fresh-cut broccoli florets during refrigerated storage. *LWT - Food Science and Technology*, 42, 1076–1081.

MacLean, D.D., D.P. Murr y J.R. DeEll. 2003. A modified total oxyradical scavenging capacity assay for antioxidants in plant tissues. *Postharvest Biology and Technology*, 29, 183-194.

Mangaraj, S. y T. Goswami. 2009. Modified atmosphere packaging of fruits and

vegetables for extending shelf-life. A review. *Fresh Produce*, 3(1), 1-31.

Mangaraj, S., T.K. Goswami y P. Mahajan. 2009. Applications of Plastic Films for Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables: A Review. *Food Engineering Reviews*. 1, 133-158.

Mendoza, R., D.A. Castellanos, J.C. García, J.C. Vargas. y A.O. Herrera. 2016. Ethylene production, respiration and gas exchange modelling in modified atmosphere packaging for banana fruits. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(3), 777-788.

McCollum, G. y P. Maul. 2007. 1-Methylcyclopropene Inhibits Degreening But Stimulates Respiration and Ethylene Biosynthesis in Grapefruit. *HortScience*, 42(1),120–124.

Mcmurchie, E.J., W.B. Mcglasson, y I.L Eaks. 1972. Treatment of Fruit with Propylene gives Information about the Biogenesis of Ethylene. *Nature*, 237, 235–236.

Nasr, S., H.M. Korkar, y A.E. Hamid. 2013. Evaluation of Silicon Concentrations and Modified Atmosphere Packing (MAP) on Behavior of Pioneer Plums under Two Different Storage Temperatures. *World Journal of Agricultural Sciences*, 9(6), 454-465.

Niamthong, T., S. Sittipod y V. Chonhenchob. 2007. Development of Holy Basil Storage Using Low Temperatures and Modified Atmosphere Packaging. *Kasetsart Journal:Natural Science*, 41, 286-293.

Pandey, V., A. Patel y D.D. Patra. 2016. Integrated nutrient regimes ameliorate crop productivity, nutritive value, antioxidant activity and volatiles in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Industrial Crops and Products*, 87, 124-131.

Rees, D., G. Farrell y J. Orchard. 2012. Crop Post-Harvest: Science and Technology Perishables. Blackwell Publishing Ltd. Primera ed. 464.

Rojas, M., G. Oms, R. Soliva y O. Martín. 2009. The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review. *International Journal of*

Food Science and Technology. 44, 875–889.

Sandhya, K.V. 2010. Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *LWT - Food Science and Technology*, 43, 381-392.

Saltveit, M.E. 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15 (3), 279-92.

Sudheer, K.P. y V. Indira. 2007. Post Harvest Technology of Horticultural Crops. Horticulture science series 7. New India Publishing. 299 pp.

Synowiec, A., M. Gniewosz, K. Kraśniewska, J. L. Przybył, K. Bączek, y Z. Węglarz. 2014. Antimicrobial and antioxidant properties of pullulan film containing sweet basil extract and an evaluation of coating effectiveness in the prolongation of the shelf life of apples stored in refrigeration conditions. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 23, 171-81.

Świeca, M., G.D. UrszulaK, Dariusz, y Z. Urszula. 2012. Impact of germination time and type of illumination on the antioxidant compounds and antioxidant capacity of Lens culinary sprouts. *Scientia Horticulturae*. 140, 87-95.

Taiz, L. y E. Zeiger. 2006. Plant physiology. Cuarta ed. Sinauer Associates Publishers, Sunderland.

Wanga, Y., L. Zhang y S. Zhu. 2014. 1-Methylcyclopropene (1-MCP)-induced protein expression associated with changes in Tsai Tai (*Brassica chinensis*) leaves during low temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*, 87, 120–125.

Watkins, C.B. 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnology Advances*, 24, 389–409.

Yuan, G., B. Sun, J. Yuan y M. Wang, 2010. Effect of 1-methylcyclopropene on shelf life, visual quality, antioxidant enzymes and health-promoting compounds in broccoli florets. *Food Chemistry*, 118, 774-781.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

El efecto de las diferentes concentraciones de 1-MCP y tiempos de tratamiento fueron variables en la calidad poscosecha de la albahaca. Encontrándose tres ($0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ - 16 h, $0,6 \mu\text{L L}^{-1}$ - 16 h, $0,9 \mu\text{L L}^{-1}$ - 24 h) y un tratamiento ($0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ - 24 h) que lograron prolongar la vida útil de la albahaca en 3 y 5 días más que el control, respectivamente. Por tal motivo, este último tratamiento se seleccionó como óptimo para la conservación de la albahaca. Lo cual también se evidenció en menor pérdida de peso, intensidad respiratoria y fuga de electrolitos, así como en la conservación del color, contenido de clorofilas totales y calidad visual.

La albahaca tratada con MAP y 1-MCP+MAP logró reducir la pérdida de peso hasta en un 32% respecto al control. Así mismo el tratamiento combinado evidenció los menores porcentajes de fuga de electrolitos y la menor intensidad respiratoria. Los tratamientos 1-MCP, MAP y 1-MCP+MAP lograron reducir la producción de etileno en la albahaca respecto al control a los 15 y 18 días de almacenamiento. Las muestras que lograron conservar por mayor tiempo el color y el contenido de clorofilas fueron las tratadas con 1-MCP+MAP. En lo que corresponde a parámetros sensoriales, la calidad visual fue conservada por mayor tiempo en MAP (15 días) y 1-MCP+MAP (18 días), lo cual se vio reflejado en la vida útil de la albahaca, donde a los 18 días de almacenamiento las muestras tratadas con 1-MCP+MAP aun presentaban una calidad comercializable. Por último, se concluye que la combinación de 1-MCP y MAP fue una tecnología de conservación eficaz para conservar de la albahaca en poscosecha hasta por 18 días. De igual manera puede ser una tecnología promisoriosa para prolongar la vida útil de otras especies de hierbas aromáticas, y hortalizas de hoja.

6.2 Recomendaciones

Se sugiere evaluar en la planta de albahaca la posible expresión del sistema autoinhibitorio (sistema I) y/o autocatalítico (sistema II) en la biosíntesis de etileno cuando se aplica el tratamiento de 1-Metilciclopropeno. De igual manera, evaluar la señalización celular y expresión de genes inducida por 1-MCP.

Determinar el efecto de tiempos de exposición entre 16 y 24 horas con una concentración de $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP, junto con la tecnología de empaque en atmósfera modificada, y temperatura de almacenamiento de $11 \text{ }^\circ\text{C}$, con el fin de encontrar un posible tratamiento que permita manejar un tiempo de exposición a 1-MCP menor a 24h

Evaluar el efecto de 1-MCP ($0,3 \mu\text{L L}^{-1} - 24\text{h}$) + MAP (O_2 (12,6%) y CO_2 (3,5%)), sobre el olor y sabor de la albahaca y la aceptabilidad por el consumidor. De igual manera, evaluar los efectos en los compuestos fenólicos relacionados con el aroma y con propiedades antioxidantes.

A. Anexo: Publicación en la revista Agronomía Colombiana

Evaluación de 1-metilciclopropeno en la poscosecha de albahaca (*Ocimum basilicum* L.)

Assessment of 1-methylcyclopropene in postharvest of basil (*Ocimum basilicum* L.)

Liz Stephanie Patiño¹, Aquiles Darghan¹ y Anibal Orlando Herrera¹

RESUMEN

La albahaca presenta alta perechibilidad, lo que limita su potencial para la comercialización y exportación, por tal motivo, se evaluó el efecto de 1-metilciclopropeno (1-MCP) sobre la calidad poscosecha en hojas frescas de albahaca. Los tratamientos evaluados fueron concentraciones de 1-MCP (0, 0,3, 0,6 y 0,9 $\mu\text{L L}^{-1}$) y tiempos de exposición (12, 16 y 24 horas). Se realizó un diseño factorial completo en arreglo en bloques completamente aleatorizado (DBAPC) de dos factores. El tratamiento de 0,3 $\mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP y tiempo de exposición de 24 horas presentó las mejores respuestas en la mayoría de las variables de calidad evaluadas.

Palabras clave: pérdida de peso, intensidad respiratoria, fuga de electrolitos, color.

ABSTRACT

Basil presents a high perishability which limits its potential for marketing and export. For this reason, the effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on postharvest quality in fresh basil leaves was examined in this study. The evaluated treatments were concentrations of 1-MCP (0, 0.3, 0.6 and 0.9 $\mu\text{L L}^{-1}$) and time of exposure (12, 16 and 24 hours). A complete factorial design with a randomized layout (CFRL) of two factors was used. The treatment of 0.3 $\mu\text{L L}^{-1}$ of 1-MCP and exposure time of 24 hours presented the best responses in most of the quality variables evaluated.

Key words: weight loss, respiratory rate, electrolyte leakage, color.

Introducción

Pese al crecimiento mundial del mercado de hierbas aromáticas, en América Latina el bajo nivel tecnológico, la baja capacidad de implementar la cadena de frío, la amplia gama de limitaciones logísticas en la cadena productiva y la alta perechibilidad de algunos alimentos ocasionan altas pérdidas en poscosecha y afectan el crecimiento del mercado de plantas aromáticas (Fonseca y Njite, 2014).

La albahaca tiene alta demanda en el mercado debido a sus propiedades antioxidantes (Lu *et al.*, 2014) y antimicrobianas, atribuidas a compuestos fitoquímicos (Synowiec *et al.*, 2014) y fenólicos, los cuales le transfieren características sensoriales como el aroma y el sabor específico a cada una de las subespecies (Calín-Sánchez *et al.*, 2012). Sin embargo, es un producto perecedero que presenta una vida útil de una a dos semanas, dependiendo de la temperatura de almacenamiento y de otros factores que puedan desencadenar el aumento en la producción de la hormona etileno (Cantwell y Reid, 2001), la cual juega un rol importante en la degradación de clorofilas y en la senescencia de hojas (Hassan and Mahfouz, 2012). La producción de etileno se

considera baja en hierbas frescas en comparación con los vegetales, pero la sensibilidad a esta hormona puede ser alta (Rees *et al.*, 2012).

La principal tecnología de conservación utilizada en la albahaca es la de almacenamiento a 12°C, temperaturas menores pueden ocasionar daño por frío (Hassan y Mahfouz, 2010). Existe otra técnica que ha sido eficaz en la conservación de frutas y hortalizas, es el 1-metilciclopropeno (1-MCP) (Rees *et al.*, 2012), un potente compuesto antagonista del etileno (Balaguera-López *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 de etileno, tiempo y temperatura de exposición, pero normalmente se encuentra en el rango de nL L^{-1} o $\mu\text{L L}^{-1}$ (Watkins, 2006).

Con el fin de generar información referente a una nueva tecnología para la conservación de la calidad y reducción de pérdidas poscosecha, el objetivo del estudio consistió en determinar el efecto de diferentes dosis de 1-MCP y tiempos

B. Anexo: Resumen ponencia realizada en el III Congreso Internacional en Investigación e Innovación en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Evaluación de 1-metilciclopropeno en la poscosecha de albahaca (Ocimum basilicum L.)

Liz Stephanie Patiño Cáceres¹, Aníbal Orlando Herrera¹, Aquiles Dargan¹

RESUMEN

- La albahaca presenta alta perecibilidad, lo que limita su potencial para la comercialización y exportación, por tal motivo, se evaluó el efecto de 1-metilciclopropeno (1-MCP) sobre la calidad poscosecha en hojas frescas de albahaca. Los tratamientos evaluados fueron concentraciones de 1-MCP (0,3, 0,6 y 0,9 $\mu\text{L L}^{-1}$) y tiempos de exposición (12, 16 y 24 horas). Las variables consideradas fueron, pérdida de peso, intensidad respiratoria, color, fuga de electrólitos y contenido de clorofila total. Se utilizó un diseño factorial completo en arreglo en bloques completamente aleatorizado (DCAFC) de dos factores, el primero correspondió a las concentraciones de 1-MCP, con 3 niveles y el segundo factor fue el tiempo de exposición al 1-MCP, con 3 niveles, y un testigo, para un total de 10 tratamientos. Cada tratamiento tenía 4 repeticiones y cada unidad experimental estaba compuesta por 50 g de albahaca. El tratamiento con 0,3 $\mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP y tiempo de exposición de 24 horas presentó las mejores respuestas en las variables evaluadas, con excepción de la luminosidad.

Palabras clave: Pérdida de peso, respiratoria, fuga de electrólitos, color.