



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Evaluación de absorbedores de etileno compuestos por mezclas de permanganato de potasio y vermiculita como retardantes de madurez de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Anamaría Salcedo Echavarría

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias, Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos
Bogotá, Colombia

2014

Evaluación de absorbedores de etileno compuestos por mezclas de permanganato de potasio y vermiculita como retardantes de madurez de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Anamaría Salcedo Echavarría

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Director (a):

Ph.D. Aníbal Orlando Herrera Arévalo

Línea de Investigación:

Conservación de Alimentos

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias, Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Bogotá, Colombia

2014

Gracias a esas personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Resumen

El objetivo fue evaluar absorbedores de etileno compuestos por mezclas de permanganato de potasio y vermiculita como retardantes de madurez de frutos de tomate chonto (*Solanum lycopersicum* L.) almacenados en empaques termoformados de polietileno tereftalato a 20°C con una humedad relativa entre 80% y 90% durante 29 días, donde se observó que el absorbedor de etileno compuesto por 1% de vermiculita y 1,5% de permanganato de potasio fue responsable de retrasar significativamente la maduración de los frutos de tomate, pues a los 29 días de almacenamiento, los frutos presentaron la mayor firmeza, mayor retención del color verde expresado en el índice de color y acidez total titulable, menor valor de sólidos solubles totales, pérdida de peso y relación de madurez. Después, se realizó el empaque de los frutos en bolsas de Polietileno de baja densidad y empaques termoformados de polietileno tereftalato con absorbedores de etileno compuestos por 1% de vermiculita y 1,5% de permanganato de potasio (KMnO_4) y se almacenaron a 8, 12 y 18°C a una humedad relativa de 90%, donde se encontró que los empaques empleados no presentaron diferencias estadísticas, sin embargo, el almacenamiento a bajas temperaturas prolongó su vida de anaquel al mantener la mayor firmeza y acidez total titulable, menor valor de sólidos solubles totales, relación de madurez y contenido de carotenoides, aunque a 8°C se evidenció daño por frío lo que indicó que la temperatura de 12°C es la recomendada para el almacenamiento de los frutos junto con el absorbedor de etileno para así tener una alternativa más de comercialización de los frutos de tomate chonto.

Palabras clave: absorbedores de etileno, retardantes de madurez, etileno

Abstract

The objective was to make the evaluation of ethylene absorbers composed of mixtures potassium permanganate and vermiculite retardants fruit maturity of chonto tomato (*Solanum lycopersicum* L.) stored in polyethylene terephthalate thermoformed packaging at 20 °C with relative humidity between 80% and 90% for 29 days, where it was observed that the ethylene absorber comprises vermiculite 1% and 1.5% of potassium permanganate was responsible for significantly delaying ripening of tomato fruit since the 29th day of storage, the fruits showed the strongest, greater retention of color expressed in the color index and total titratable acidity value, less soluble solids, weight loss and maturity ratio. Then the fruit packing bags LDPE and thermoformed packaging polyethylene terephthalate with ethylene absorbers composed of vermiculite for 1% and 1.5% potassium permanganate (KMnO₄) was performed and stored at 8 °C, 12 °C and 18 °C at a relative humidity of 90% where it was found that packaging employees not statistically different, however, storage at low temperatures extended shelf life by maintaining the highest firmness and titratable acidity , less soluble solids value, maturity ratio and carotenoid content, although to 8 °C chilling injury was evident indicating that the temperature of 12 °C is recommended for the storage of fruits together with the absorber ethylene in order to have an alternative marketing chonto tomato fruits.

Keywords: ethylene absorbers, retardants maturity, ethylene.

Contenido

	Pág.
Resumen	V
Lista de figuras	IX
Lista de tablas	XI
Introducción	13
1. Efecto de las mezclas de vermiculita y permanganato de potasio sobre la calidad poscosecha de los frutos de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	16
1.1 Resumen.....	16
1.2 Introducción	17
1.3 Características del tomate.....	18
1.4 Retardantes de madurez.....	21
1.4.1 Permanganato de Potasio.....	22
1.4.2 Principales vehículos o carriers para el permanganato de potasio.....	24
1.4.3 Dosis.....	24
1.4.4 Vermiculita	26
1.5 Materiales y métodos	26
1.5.1 Ubicación	26
1.5.2 Materiales	26
1.5.3 Diseño experimental.....	27
1.5.4 Procedimiento.....	27
1.5.5 Determinaciones.....	27
1.5.6 Análisis estadístico	28
1.6 Resultados y discusión.....	28
1.6.1 Pérdida de peso	28
1.6.2 Índice de color	31
1.6.3 Firmeza	33
1.6.4 Sólidos solubles totales.....	34
1.6.5 Acidez total titulable.....	35
1.6.6 Relación de madurez.....	37
2. Efecto del empaque y la temperatura durante el almacenamiento con la utilización de un absorbedor de etileno compuesto por vermiculita y permanganato de potasio sobre el comportamiento poscosecha de los frutos de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	39
2.1 Resumen.....	39
2.2 Introducción	40

2.3	Temperatura	43
2.4	Empaque.....	44
2.5	Materiales y métodos	46
2.5.1	Variables	46
2.5.2	Análisis estadístico	47
2.6	Resultados y discusión.....	48
2.6.1	Duración poscosecha	48
2.6.2	Firmeza	49
2.6.3	Sólidos solubles totales	52
2.6.4	Acidez total titulable.....	55
2.6.5	Relación de madurez.....	58
2.6.6	Respiración	61
2.6.7	Carotenoides	63
3.	Conclusiones	67
	Bibliografía	69

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Comportamiento de la pérdida de peso de frutos de tomate durante el almacenamiento. ns: no hay diferencias significativas; *diferencias significativas al 5%. 29	
Figura 1-2: Pérdida de peso en frutos de tomate al final del almacenamiento. Promedios seguidos de letras diferentes en cada punto de muestreo presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). 30	30
Figura 1-3: Comportamiento del índice de color de frutos de tomate durante el almacenamiento. *diferencias significativas al 5%; ** diferencias significativas al 1%. 31	
Figura 1-4: Índice de color de frutos de tomate al final del almacenamiento. Promedios seguidos de letras diferentes en cada punto de muestreo presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$) ns: no hay diferencias significativas... 32	
Figura 1-5: Firmeza de frutos de tomate al final del almacenamiento. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). 33	33
Figura 1-6: Sólidos solubles de frutos de tomate al final del almacenamiento. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). 35	35
Figura 1-7: Acidez total titulable de frutos de tomate al final del almacenamiento. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). 36	36
Figura 1-8: Relación de madurez de frutos de tomate al final del almacenamiento. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). 37	37
Figura 2-1: Efecto del empaque y la temperatura durante el almacenamiento con la utilización de un absorbedor de etileno compuesto por vermiculita y permanganato de potasio sobre la firmeza de frutos de tomate. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%). 50	50
Figura 2-2: Efecto de los factores permanganato de potasio, empaques y temperatura sobre la firmeza. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%) 51	51
Figura 2-3: Efecto del empaque y la temperatura durante el almacenamiento con la utilización de un absorbedor de etileno compuesto por vermiculita y permanganato de potasio sobre los sólidos solubles totales de frutos de tomate. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%)..... 53	53

- Figura 2-4:** Efecto de los factores permanganato de potasio (KMnO_4), empaque y temperatura sobre los sólidos solubles totales en frutos de tomate. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%). 54
- Figura 2-5:** Efecto del empaque y la temperatura durante el almacenamiento con la utilización de un absorbedor de etileno compuesto por vermiculita y permanganato de potasio sobre la acidez total titulable de frutos de tomate. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%)...... 56
- Figura 2-6:** Efecto de los factores permanganato de potasio (KMnO_4), empaque y temperatura sobre la acidez total titulable en frutos de tomate. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%) 56
- Figura 2-7:** Efecto del empaque y la temperatura durante el almacenamiento con la utilización de un absorbedor de etileno compuesto por vermiculita y permanganato de potasio sobre la relación de madurez de frutos de tomate. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%)...... 59
- Figura 2-8:** Efecto de los factores permanganato de potasio (KMnO_4), empaque y temperatura sobre la relación de madurez en frutos de tomate. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%)..... 60
- Figura 2-9:** Efecto del empaque y la temperatura durante el almacenamiento con la utilización de un absorbedor de etileno compuesto por vermiculita y permanganato de potasio sobre la tasa de respiración de frutos de tomate. 62
- Figura 2-10:** Efecto del empaque y la temperatura durante el almacenamiento con la utilización de un absorbedor de etileno compuesto por vermiculita y permanganato de potasio sobre el contenido de carotenoides de frutos de tomate Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%)..... 64
- Figura 2-11:** Efecto de los factores permanganato de potasio (KMnO_4), empaque y temperatura sobre la relación de madurez en frutos de tomate. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%)..... 65

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Duración poscosecha de frutos de tomate almacenados en diferentes temperaturas de refrigeración y diferentes empaques con la adición o no de permanganato de potasio. Polietileno (PE) y polietileno tereftalato (PET).	49

Introducción

Las pérdidas poscosecha representan casi el 40% de las pérdidas totales en hortalizas cosechadas en todo el mundo, incluyendo el tomate, debido a que después de la cosecha y durante el transporte y almacenamiento, las hortalizas pueden perder su calidad comercial y convertirse en invendibles. En consecuencia, mejorar y preservar la calidad de los tomates en términos de su firmeza, color, textura y vida útil son muy importantes para los productores, empresas de procesamiento de tomate, y la industria alimentaria en general (Gustavsson *et al.*, 2011).

Un número de tecnologías se han desarrollado y están actualmente en uso para prolongar la vida útil y mejorar la calidad de las frutas y hortalizas. Dado que el etileno juega un papel clave en la maduración del fruto (Carrari y Fernie, 2006; Hyang *et al.*, 2009), algunos de estos métodos se basan en la modificación funcional de la vía de biosíntesis de etileno a través de la inhibición de enzimas clave o receptores (por ejemplo, utilizando aminoetoxivinilglicina, AVG o Mantener [™] para inhibir la ACC sintasa, y exponiendo al 1-MCP, un bloqueador del receptor de etileno) (Hyang *et al.*, 2009).

Aunque el uso de 1-MCP para retrasar la maduración de la fruta y el ablandamiento es ampliamente aceptado para frutas como la manzana, la pera y productos climatéricos en general, el tratamiento con 1-MCP puede afectar negativamente la calidad del tomate y otras frutas, con una textura suave, comprometiendo el desarrollo del sabor y causando una supresión incompleta de la biosíntesis de color resultando en manchas de maduración (Kondo *et al.*, 2005; Lurie y Paliyath, 2008; Tiwari y Paliyath, 2011). Por lo tanto, hay una necesidad de encontrar tecnologías alternativas para retrasar la maduración y prolongar la vida de almacenamiento sin comprometer las cualidades visuales, organolépticas y nutricionales de los frutos climatéricos, tales como el tomate (Cheema *et al.*, 2014). Algunas herramientas reportadas para disminuir y manejar la

maduración de los frutos son: refrigeración, empaques para modificación de atmósfera, atmósferas controladas y absorbedores de etileno (KMnO_4) (Ramírez *et al.*, 2011).

Por ser un fruto climatérico y perecedero, el tomate es muy sensible al manejo y condiciones de almacenamiento inapropiados. Las temperaturas adversas contribuyen a una mala calidad del producto y a un rápido deterioro en su fisiología poscosecha (Alía, 2000). Las condiciones de temperatura contribuyen a modificar la fisiología poscosecha del tomate, donde las bajas temperaturas de alguna manera retrasan el proceso del deterioro del fruto (Trevor y Cantwell, 2000). Así mismo, el almacenamiento de frutos climatéricos a bajas temperaturas disminuye significativamente la producción de etileno (Alía, 2000), dado que es común encontrar que temperaturas ambiente de 18-27 °C originan un incremento de poligalacturonasa (PG) y un aumento posterior de etileno como factores importantes en la maduración de tomate (Zambrano *et al.*, 1995).

Otro método ampliamente utilizado es el empaque en atmósferas modificadas (MAP), el cual consiste en la modificación de la composición de gases que hacen parte del aire en los empaques durante el almacenamiento de frutas y hortalizas, lo cual se logra aumentando los niveles de CO_2 y/o disminuyendo los niveles de O_2 . Las atmósferas modificadas pueden ser divididas en dos clases: activas (cuando se adicionan mezclas de gases al empaque) y pasivas (cuando la modificación de la atmósfera es resultado de la respiración del producto y de la permeabilidad del empaque) (Kader *et al.*, 1989).

Por otra parte, el KMnO_4 es un agente oxidante fuerte en muchas reacciones de óxido-reducción orgánicas e inorgánicas (Dash *et al.*, 2009), cuando éste compuesto entra en contacto con el etileno, lo oxida produciendo CO_2 y H_2O , lo que ocasiona que el etileno pierda su actividad como hormona señal de los procesos de maduración de los frutos (Sammi y Masud, 2007). Al oxidar el etileno alrededor de la superficie del fruto, se genera que el gas al interior del fruto se difunda hacia el exterior, ocasionando que el etileno al interior del fruto disminuya (Brody *et al.*, 2002).

El KMnO_4 ha mostrado eficiencia para eliminar el etileno y retrasar la maduración de diversos frutos como banano (*Musa paradisiaca*) (Chauhan *et al.*, 2006), mango (*Mangifera indica* L) (Illeperuma y Jayasuriya, 2002), aguacate (*Persea americana* L) (Illeperuma y Nikapitiya, 2002), níspero (*Eryobotria japonica* Lindl.) (Campos *et al.*, 2007),

guanábana (*Annona muricata* L.) (Chaves *et al.*, 2007), manzana (*Malus domestica* L.) (Brackmann *et al.*, 2006), zapote (*Manilkara achras* Mill) (Bhutia *et al.*, 2011), papaya (*Carica papaya* L.) (Pereira *et al.*, 2009) y banano bocadillo (Gutiérrez, 1997).

Sin embargo, para que el KMnO_4 sea efectivo, debe ser adsorbido por un "carrier" para formar un absorbente sólido, que aumente el área de contacto, debido a que las únicas fuerzas que actúan para que ocurra el contacto absorbente-etileno son la difusión y convección natural del aire en la atmósfera. Lo anterior se ha logrado mediante la absorción a materiales minerales inertes como celita, vermiculita, alúmina, zeolita, otras arcillas y gel sílice (Gutiérrez, 1997; Wills y Warton, 2004; García *et al.*, 2012).

De acuerdo con lo anterior, este proyecto tiene como objetivo evaluar el efecto de absorbentes de etileno compuestos por mezclas de vermiculita y permanganato de potasio como retardantes de madurez de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con el fin de aumentar la vida poscosecha y mantener su calidad por más tiempo. Para esto se evaluó el efecto de las mezclas de vermiculita y permanganato de potasio sobre la calidad poscosecha de los frutos de tomate y se determinó el efecto del empaque y la temperatura de almacenamiento con la utilización de un absorbente de etileno sobre el comportamiento poscosecha de los frutos de tomate.

1. Efecto de las mezclas de vermiculita y permanganato de potasio sobre la calidad poscosecha de los frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

1.1 Resumen

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.), por ser un fruto climatérico, presenta un rápido deterioro de la calidad, lo cual limita su consumo en fresco o posible industrialización, debido al aumento en la producción de etileno, responsable de acelerar el proceso de maduración y senescencia de los frutos. Estos procesos se incrementan durante la comercialización y suelen ser debido a un sistema inadecuado de almacenamiento, durante el transporte y exhibición en puntos de venta, lo que produce una disminución en la calidad y duración poscosecha de los frutos, lo que conlleva a generar pérdidas económicas. Debido a esto, se evaluó el efecto de absorbentes de etileno compuestos por mezclas de vermiculita y permanganato de potasio como retardantes de madurez para prolongar la vida útil de frutos de tomate, en el estado de madurez donde toda la superficie del fruto es verde y no hay color rojo visible, almacenados en empaques de polietileno tereftalato (PET) termoformados a 20°C con una humedad relativa entre 80% y 90%, durante 29 días determinando pérdida de peso, firmeza, índice de color, acidez titulable, sólidos solubles totales y relación de madurez. En general, se observó que el absorbente de etileno compuesto por 1% de vermiculita y 1,5% de permanganato de potasio fue responsable de retrasar significativamente la maduración de los frutos de tomate, pues a los 29 días de almacenamiento, los frutos presentaron la mayor firmeza, mayor retención del color verde expresado en el índice de color y acidez total titulable, menor valor de sólidos solubles totales, pérdida de peso y relación de madurez, haciendo de este absorbente una buena opción para mantener la calidad poscosecha de los frutos de tomate por mayor tiempo.

1.2 Introducción

El tomate es considerado como la hortaliza más importante en muchos países del mundo, siendo a nivel nacional e internacional la hortaliza más cultivada y consumida (Finagro, 2011). En Colombia, entre los años 2005 y 2012, se observó un incremento en el área cosechada y producción de tomate y de esta área, los departamentos de Boyacá, Norte de Santander, Antioquia, Cundinamarca y Santander tuvieron mayor influencia, siendo Boyacá el departamento que reportó el mayor rendimiento a nivel nacional (Agronet, 2012).

Además, el tomate es uno de los productos que hacen parte de la apuesta exportadora colombiana, por las enormes expectativas de producción y por los grandes potenciales de exportación, lo que hace indispensable la implementación de nuevas técnicas para la conservación del producto durante el almacenamiento (Presidencia de la República, 2007). Dado que el tomate por ser un fruto climatérico, presenta un rápido deterioro de la calidad, debido principalmente al aumento en la producción de etileno, responsable de acelerar el proceso de maduración y senescencia de los frutos, limita su consumo en fresco o su posible industrialización. Estos procesos se incrementan durante la comercialización y suelen ser a causa de un sistema inadecuado de almacenamiento lo que produce una disminución en la calidad y duración poscosecha de los frutos y conllevan a generar pérdidas económicas. Por tanto, se planteó la problemática de cómo alargar la vida útil de frutos de tomate chonto (*Solanum lycopersicum* L.) durante el periodo de almacenamiento.

Actualmente existen diversos mecanismos para la conservación de productos perecederos como el uso de atmósferas controladas, pero son sistemas que no siempre son de fácil adquisición debido al alto costo que poseen (Ospina y Cartagena, 2008). Es por esta razón que se propone el uso de un absorbedor de etileno compuesto por permanganato de potasio ($KMnO_4$) y vermiculita para la conservación del tomate chonto durante el almacenamiento.

El permanganato de potasio (KMnO_4) es un fuerte agente oxidante del etileno, formando etilenglicol, dióxido de Mn, CO_2 y H_2O (Wills y Warton, 2004). Cuando el KMnO_4 oxida el etileno alrededor de la superficie del fruto, se genera que el gas al interior del fruto se difunda hacia el exterior, ocasionando que el etileno al interior del fruto disminuya, con lo cual la velocidad de maduración de frutos climatéricos disminuye (Brody *et al.*, 2002). Para que el KMnO_4 sea efectivo, debe ser adsorbido por un "carrier" para formar un absorbente sólido, que aumente el área de contacto etileno- KMnO_4 (Wills y Warton, 2004). Se han reportado diferentes estudios en donde el uso de absorbedores de etileno como KMnO_4 ha permitido extender la vida en poscosecha de diversos frutos (Chauhan *et al.*, 2006; Chaves *et al.*, 2007; Pereira *et al.*, 2009).

De acuerdo con lo anterior, el objetivo planteado para esta investigación fue estudiar el efecto de las mezclas de vermiculita y permanganato de potasio sobre la calidad poscosecha de los frutos de tomate chonto (*Solanum lycopersicum* L.).

1.3 Características del tomate

El tomate es una baya de forma globular, ovoide, puede ser bilocular o plurilocular y alcanzar un peso final en la madurez que oscila entre los 5g y 500g en función de la variedad y las condiciones de desarrollo. La piel o exocarpo consta de la capa epidérmica externa la cual está cubierta por una fina cutícula que se engrosa a medida que se desarrolla el fruto y al interior del tomate se encuentran al menos dos cavidades locales que contienen las semillas rodeadas por una masa gelatinosa cuando el fruto está maduro (Nuez, 1995).

Los principales parámetros de calidad que se valúan en el tomate son: textura, acidez titulable equivalente de ácido cítrico, sólidos solubles, color y peso (Casierra y Aguilar, 2008). La textura generalmente se mide por el principio de resistencia a una presión que ejercen los tejidos del fruto la cual depende de la carnosidad, cohesión, forma y tamaño de las células, utilizándose como instrumentos de medida los tenderómetros, el fibrómetro, el penetrómetro, etc. (Reina *et al.*, 1998).

El contenido de ácidos orgánicos aumenta durante el desarrollo del fruto y se acumula, preferentemente, en los lóculos. Los principales ácidos orgánicos en el tomate son el

málico y el cítrico. La acidez máxima durante la maduración coincide con la aparición del color rosado, descendiendo después progresivamente (Nuez, 1995).

Por el contrario, los hidratos de carbono, principalmente glucosa y fructosa, sufren cambios bioquímicos durante la maduración debido a la degradación de los polisacáridos presentes en las membranas celulares, lo que genera un aumento en el contenido de azúcares y se expresa en grados Brix mediante el uso del refractómetro (Reina *et al.*, 1998).

La variación del índice de madurez corresponde a la relación "Brix/acidez titulable, lo cual indica que el incremento en sólidos solubles o el decrecimiento de la acidez titulable provoca aumento en el índice de madurez, es decir, un acercamiento a la madurez de consumo (Reina *et al.*, 1998).

Muchos cambios en los pigmentos toman lugar durante el desarrollo y la maduración del tomate y los principales son: pérdida de clorofila; desarrollo de carotenoides (colores amarillo, rojo y naranja) y antocianinas (color rojo y azul); además hay cambios en compuestos fenólicos que resultan en el pardeamiento de tejidos (Suslow y Cantwell, 2010).

El color verde de los tomates inmaduros se debe a la clorofila. Con el inicio de la maduración los cloroplastos empiezan a transformarse en cromoplastos, inicialmente en el tejido placentario gelatinoso que rodea las semillas y luego en el pericarpo desde la zona distal hacia el pedúnculo. La clorofila empieza a degradarse y se sintetizan los pigmentos amarillos, fundamentalmente xantofilas y β -caroteno, que se hacen más aparentes con la progresiva destrucción de la clorofila. Posteriormente aunque continúa la síntesis de dichos compuestos, el tomate adquiere una coloración roja debido a la rápida acumulación de licopeno (Nuez, 1995).

Además de los cambios en los pigmentos, se evidencian cambios en los carbohidratos como conversión de almidón a azúcar o viceversa, o la conversión de almidón y azúcares a CO₂ y agua a través de la respiración; en este proceso se presenta degradación de

pectinas y otros polisacáridos que resultan en el ablandamiento del fruto; también cambios en ácidos orgánicos, proteínas, aminoácidos y lípidos que pueden determinar el sabor y pérdida en el contenido de vitaminas y producción de compuestos volátiles asociados con el sabor y aroma (Suslow y Cantwell, 2010).

Usualmente el tomate se consume con su máxima calidad organoléptica, que se presenta cuando ha alcanzado por completo el color rojo, pero antes de un ablandamiento excesivo. Por tanto, el color en el tomate es la característica externa más importante en la determinación del punto de maduración, de la vida poscosecha y un factor determinante en la decisión de compra por parte de los consumidores (Casierra y Aguilar, 2008).

La calidad del tomate es severamente afectada por la pérdida de agua durante el almacenamiento, ya que depende de la temperatura y de la humedad relativa (Pérez *et al.*, 2003). Es por esta razón que el almacenamiento a bajas temperaturas es el método más eficiente para mantener la calidad por su efecto sobre la reducción de la tasa de respiración, transpiración, producción de etileno, maduración y desarrollo de pudriciones (Hardenburg *et al.*, 2004).

Los tomates pintones pueden almacenarse a 12,5°C por 14 días antes de madurarlos sin reducción significativa de su calidad sensorial y desarrollo de color. La pudrición puede aumentar si se almacenan más de dos semanas a esta temperatura. Después de alcanzar el estado Maduro Firme, la vida de anaquel es generalmente de 8 a 10 días si se aplica una temperatura dentro del rango recomendado (Suslow y Cantwell, 2010).

Los rangos de temperatura recomendados según USDA (United States Department of Agriculture, 1991) son:

Verde Maduro: 12.5 - 15°C (55 - 60°F)

Rojo Claro (Estado 5 de color): 10 - 12.5°C (50 - 55°F)

Maduro Firme (Estado 6 de color): 7 - 10°C (44 - 50°F)

La mínima madurez para cosecha (Verde Maduro 2) se define en términos de la estructura interna del fruto: las semillas están completamente desarrolladas y no se

cortan al rebanar el fruto; el material gelatinoso está presente en al menos un lóculo y se está formando en otros (Suslow y Cantwell, 2010).

La humedad relativa alta (entre 90-95%) es esencial para maximizar la calidad poscosecha y prevenir la pérdida de agua (deseccación). Los períodos prolongados a humedades más altas o la condensación, pueden incrementar las pudriciones de la cicatriz del pedúnculo y de la superficie del fruto (Suslow y Cantwell, 2010).

Durante la poscosecha se presenta una serie de cambios fisicoquímicos que conducen al deterioro de las frutas y hortalizas, estos cambios están determinados por una serie de factores biológicos, que según Kader (2003) son: respiración, transpiración y producción de etileno.

1.4 Retardantes de madurez

A lo largo del tiempo se han estudiado diferentes métodos para disminuir los efectos negativos del etileno en los productos agrícolas, actualmente existe una gran cantidad de tecnologías y procedimientos que cumplen dicho propósito, donde se incluye el almacenamiento a bajas temperaturas, atmósferas modificadas y controladas, aplicación de promotores de crecimiento como auxinas y ácido giberélico, calcio, entre otros. Sin embargo, gracias a su eficiencia, los retardantes químicos de madurez han sido utilizados con gran éxito en la pre y poscosecha, Por su modo de acción, los retardantes químicos se pueden clasificar en inhibidores de la síntesis del etileno, donde se incluyen productos como aminoetoxi vinil glicina (AVG) y ácido aminooxiacético (AOA) (Taiz y Zeiger, 2006), inhibidores de la acción del etileno como el 1-metilciclopropeno (1-MCP), las sales de plata (nitrato y tiosulfato de plata) y el norbornadieno (Serek *et al.*, 2006), y por último, están los oxidantes de etileno que se encargan de eliminarlo del ambiente, el producto más importante es el permanganato de potasio (Wills y Warton, 2004) soportado en diferentes materiales como alúmina o zeolitas (Vélez *et al.*, 2007), cuyas formulaciones líquidas y sólidas son comúnmente utilizadas para la oxidación de etileno; el ozono es otro compuesto que funciona como un efectivo oxidante y algunos

absorbentes inertes como ciertas arcillas tratadas pueden ayudar a su control (Kays, 2004).

1.4.1 Permanganato de Potasio

El permanganato de potasio es un sólido estable púrpura, considerado un fuerte agente oxidante y eficaz en la oxidación de concentraciones muy pequeñas de etileno de la atmósfera alrededor de los productos. La oxidación de etileno (C₂H₄) con permanganato de potasio se presenta en la siguiente reacción (Guerra y Casquero, 2005):



La capacidad del permanganato de potasio para reducir la concentración de etileno en la atmósfera alrededor de los productos hortofrutícolas se demostró por primera vez por Forsyth *et al.* (1967) en donde se evidenció que fue efectivo para retardar la maduración de la manzana Royal.

Desde entonces, se han realizado trabajos con base al permanganato de potasio como es el caso de Liu (1970), que trabajó en almacenaje de plátanos con bolsas de polietileno de 0,04 mm de espesor y Absorbedores de etileno, utilizando Purafil (KMnO₄ sobre un carrier de silicato) en donde los resultados indicaron que pequeñas cantidades de Purafil ayudan a retardar la madurez, siempre y cuando ésta no hubiera comenzado. Además, al retirar el absorbedor, la fruta alcanzó la madurez de forma normal.

Seguido a este trabajo Scott y Chaplin (1978), también trabajaron con KMnO₄ para retardar la madurez de plátanos, encontrando que todos los tratamientos en que fueron usadas bolsas de polietileno selladas fueron efectivos; además, el uso de absorbedores de KMnO₄ permitió extender por mayor tiempo el almacenaje de los frutos.

En el mismo año, Esguerra y Pantastico (1978) añadiendo perlita y KMnO₄ a frutos de mangos y bananas, lograron reducir la concentración de etileno a un nivel moderado. Obviamente, al reducir el nivel de etileno en los frutos se logra extender la vida de almacenamiento facilitando, de esta manera, la manipulación poscosecha. También, Wills y Warton (2004) estudiaron la capacidad absorbente del permanganato de potasio

en perlas de alúmina a niveles bajos de etileno en la atmósfera encontrando óptimos resultados a 20°C y 90% HR.

Posteriormente, Guerra y Casquero (2005) trabajaron en la conservación de diferentes variedades de manzanas y peras mediante el uso de un absorbedor de etileno compuesto por sepiolita y zeolita y permanganato de potasio en donde no se observaron diferencias significativas en el contenido de sólidos solubles y resistencia a la penetración.

Otros trabajos con manzana fueron realizados por Vidal y Steffens (2009) quienes evaluaron los efectos de la absorción de etileno con sobres que contenían gránulos impregnados con permanganato de potasio para la conservación de manzanas Royal Gala en condiciones de refrigeración y temperatura ambiente, concluyendo que el uso de estos absorbedores es una alternativa viable para preservar la calidad poscosecha de la manzana Royal.

Actualmente existen diferentes productos comerciales a base de permanganato de potasio que se pueden encontrar en el mercado, como es el caso de las bolsas de alúmina, Circul-Aire, Ethysorb y Bloomfresh. Sin embargo, estos productos son principalmente usados para remover contaminantes de la atmósfera en conductos de aire acondicionado, pero no existe un uso significativo a nivel comercial con los productos agrícolas (Wills y Warton, 2004).

También existen otros productos disponibles en el mercado que se encuentra patentados como Ethysorb® y Purafil® que según Thompson (2010), están elaborados de un vehículo de alúmina activa (Al_2O_3) impregnado con una solución saturada de permanganato de potasio que posteriormente es secada. El vehículo es usualmente formado por pequeños gránulos, los cuales tienen una gran área superficial, y además, presentan rápida absorción de moléculas. Cualquier molécula de etileno en la atmósfera del empaque que entre en contacto con el gránulo será irreversiblemente oxidada, y a medida que los gránulos se desgastan por la oxidación, cambian de color purpura a café lo que indica que hay que reemplazarlos.

El uso de envases fabricados con permanganato de potasio, o el uso de sobres con permanganato de potasio en el interior del empaque, también se ha estudiado con el fin de absorber el etileno producido por los frutos durante los procesos de maduración (Jeronimo y Kaneshiro, 2000). Awad (1993) menciona que es posible utilizar sobres de vermiculita impregnados con permanganato de potasio, para absorber y oxidar el etileno durante el almacenamiento de los frutos.

1.4.2 Principales vehículos o carriers para el permanganato de potasio

Para que el permanganato de potasio pueda ser eficaz en la oxidación de concentraciones muy pequeñas de etileno donde la convección natural y la difusión son las únicas fuerzas motrices para dar el contacto entre etileno y el oxidante, el permanganato de potasio debe tener una gran superficie expuesta a la atmósfera, lo cual se puede lograr mediante la absorción de permanganato de potasio en algunos minerales porosos inertes como arcillas o alúminas (Wills y Warton, 2004).

Las zeolitas naturales presentan numerosas ventajas como alta porosidad para facilitar el flujo de aire, extensiva área superficial, alta retención de humedad, lenta tasa de degradación y bajo valor económico (Fu *et al.*, 2011; Stoeckinger, 2004), sin embargo, hay poca información sobre el uso de estas zeolitas para remover etileno de los productos agrícolas (Patdhanagul *et al.*, 2010). A pesar de esto, varias zeolitas han sido reportadas por tener capacidad para adsorber etileno y en algunos casos de descomponerlo a CO₂. Asimismo, la capacidad de las zeolitas para adsorber etileno puede incrementarse mediante la modificación con bromuro de fenil trimetil amonio, tratamiento que garantiza una adsorción de 119,19 cm³ g⁻¹ (Fu *et al.*, 2011).

1.4.3 Dosis

No existe una dosis única de la cantidad de permanganato de potasio a aplicar, varios reportes indican que la dosis depende de la especie, del tipo de vehículo utilizado, del empaque del producto agrícola y de las condiciones de almacenamiento, entre otros. A pesar de que existen muchos estudios publicados sobre el uso de absorbentes de permanganato de potasio para eliminar el etileno después de la cosecha, existen pocos

reportes sobre el contenido de permanganato de potasio de los absorbentes utilizados y la cantidad de etileno que pueden oxidar (Wills y Warton, 2004).

Al respecto, Bal y Celik (2010) aplicaron sachets con permanganato de potasio en dosis de 9 g kg^{-1} a frutos de kiwi, estos autores encontraron que respecto al control, este compuesto disminuyó la pérdida de firmeza de los frutos, redujo la pérdida de clorofila, presentó menor contenido de sólidos solubles totales, mayor acidez total titulable, vitamina C y mayor puntuación en el análisis sensorial, indicando que este compuesto es efectivo para retrasar la madurez de los frutos de kiwi. Estos mismos autores también evaluaron la eficiencia de un absorbedor al 4% de permanganato de potasio sobre la oxidación de etileno en una cámara con un flujo de $0,7 \mu\text{L L}^{-1}$, y encontraron que para oxidar el 91% del etileno se necesitaron 50g de absorbedor.

Wills y Warton (2004), determinaron la concentración de permanganato de potasio en cuatro productos comerciales que usaron alúmina como portador. Los niveles encontrados son diferentes y en orden creciente fueron $2,70 \pm 0,05\text{g}/100 \text{ g}$ en Ethysorb, $4,07 \pm 0,04$ en CirculAire, $4,10 \pm 0,08$ en Purafil y $5,97 \pm 1,43$ en Bloomfresh.

De acuerdo con lo anterior y lo mencionado por Wills y Warton (2004), la falta de estudios cuantitativos sistemáticos sobre la capacidad del permanganato de potasio para absorber el etileno, ha obstaculizado su uso comercial en productos hortícolas. La falta de estos estudios ha hecho que las recomendaciones existentes se hagan por la cantidad de permanganato de potasio necesario para lograr ya sea una disminución específica en la concentración de etileno o un aumento en la vida poscosecha de un producto, además, se observa que las etiquetas de los productos comerciales no indican la concentración de permanganato de potasio.

Si al final de la vida útil de un absorbente de permanganato de potasio se considera que el 50% se ha oxidado, la medición de color instrumental puede determinar fácilmente esta etapa. Sin embargo, la inspección visual del absorbedor triturado puede ser una prueba efectiva rápida, donde el 60% de retención del color original de color púrpura es el punto final. Una tira de papel de color estándar puede ser fácilmente generada para

llevar a cabo estas evaluaciones. La inspección del absorbedor intacto no es una guía confiable para el grado de oxidación de permanganato de potasio (Wills y Warton, 2004).

1.4.4 Vermiculita

La Vermiculita es un mineral inerte, que actúa como vehículo o “carrier” de sustancias líquidas solubles o solventes, esto se debe a su gran capacidad de absorción y fluidez. Posee gran superficie específica con propiedades especiales para la absorción, capacidad de intercambio de cationes (90-100 meq/100 g.) y carga de superficie negativa. Posee una alta porosidad y cavidades abiertas (elevada absorbencia). Bien adaptada a la absorción física en sus espacios porosos, es estéril, no irritante, libre de olores, no es tóxico y ni inflamable, es químicamente estable, insoluble en agua y posee un pH entre 7 y 8 (Berlardinelli, 2011).

1.5 Materiales y métodos

1.5.1 Ubicación

Este estudio se llevó a cabo en el laboratorio de poscosecha de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

1.5.2 Materiales

Como material vegetal, se utilizaron frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) chonto cv "Santa Clara" cultivado en campo abierto, obtenidos de las zonas de mayor producción más cercanas a Bogotá en el estado de madurez 1 tomando como parámetro de selección el color, teniendo en cuenta las recomendaciones citadas por Heuvelink (2005) para este estado de madurez, en el cual toda la superficie del fruto es verde sin color rojo visible.

La arcilla vermiculita se obtuvo comercialmente con un diámetro de gránulo entre de 0,25 y 0,5mm, el permanganato de potasio (KMnO_4) fue tipo reactivo de la marca Panreac.

1.5.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 3x3+1, donde el primer factor correspondió a las dosis de permanganato de potasio (0,5; 1 y 1,5 %), el segundo factor fueron las dosis de vermiculita (0,5; 1 y 1,5 %), más un testigo absoluto, resultando 10 tratamientos con 3 repeticiones, cada una de las 30 unidades experimentales (UE) estuvo compuesta por aproximadamente 1kg de frutos.

1.5.4 Procedimiento

Después de calcularse las cantidades de la arcilla vermiculita y el KMnO_4 , se mezclaron en un mezclador rotatorio entre 5 y 10 minutos y entre 1500-3000 rpm. Las mezclas obtenidas se repartieron en sobres o bolsitas de celulosa con capacidad hasta 5g y se ubicaron uniformemente dentro de empaques termoformados de polietileno tereftalato con los frutos, para su posterior almacenamiento a una humedad relativa de 80%.

1.5.5 Determinaciones

- Pérdida de peso (%): mediante la fórmula $\%PP = ((P1 - PF) / P1) * 100$ donde: P1=peso de frutos a tiempo inicial y PF=peso de frutos a tiempo final y se reporta como porcentaje.
- Firmeza del fruto (N): mediante la utilización de un penetrómetro digital PCE-PTR 200.
- Determinación del color: Se determinaron los siguientes parámetros de color mediante colorímetro, Konica-Minolta CR-410 en el espacio CIELab: L* (Luminosidad), a* (<0=color verde, >0= color rojo) y b* (<0=color azul, >0= color amarillo). Se realizaron tres lecturas en la parte ecuatorial de cada fruto y se determinó el índice de color mediante la siguiente fórmula $IC = 1000 \times a^* / L^* \times b^*$.
- Acidez total titulable (ATT): se realizó mediante cálculos con datos de volumen de NaOH, incorporado en 5 g de jugo de frutos agregando 3 gotas de fenoftaleína en una titulación potenciométrica hasta pH de 8,2. Para ello, se utilizó la fórmula. $\%Acidez = (A * B * C) * 100 / D$. En donde: A = Volumen de NaOH gastado; B =

Normalidad del NaOH; C = peso equivalente expresado en g de ácido predominante en el fruto; D = peso en gramos de la muestra utilizada (5g).

- Sólidos solubles totales (SST): a través de mediciones de grados Brix con un refractómetro digital HANNA de rango 0 a 85% a 20°C.
- Relación de madurez (RM): relación entre los SST/ATT.

1.5.6 Análisis estadístico

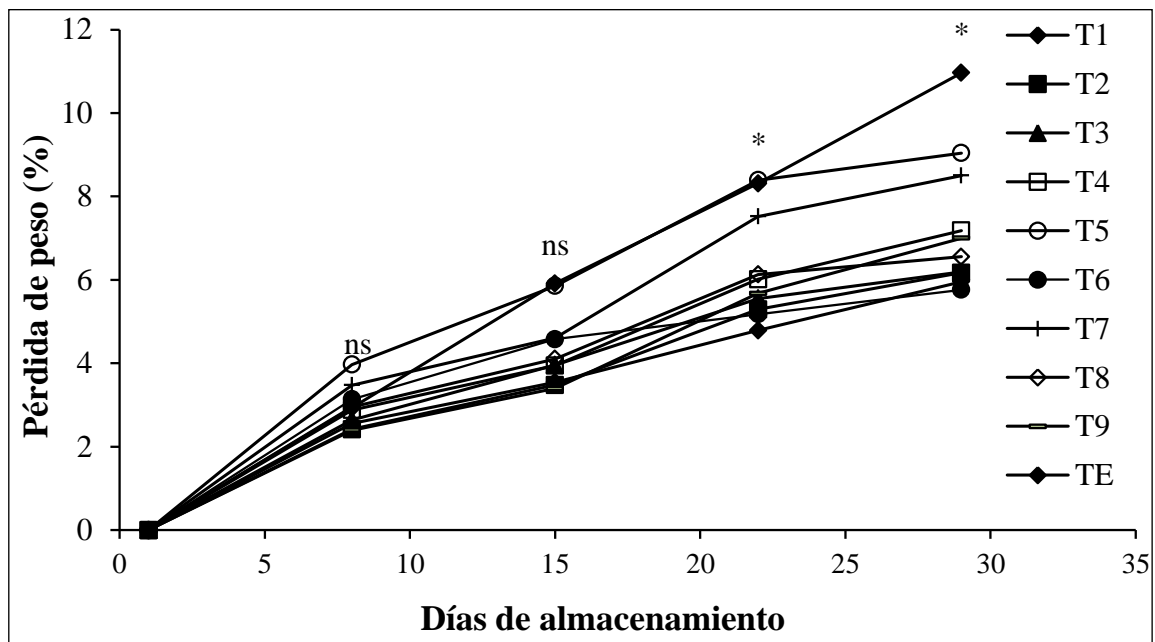
Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza factorial (Anava) para determinar la presencia de diferencias significativas; cuando se presentaron diferencias significativas se llevó a cabo la prueba de comparación múltiple de Tukey (5%) con el fin de establecer los mejores tratamientos. Todo mediante la utilización del software SAS v. 9.1 (Cary, N.C).

1.6 Resultados y discusión

1.6.1 Pérdida de peso

Durante el almacenamiento se presentó una pérdida continua de peso en los frutos de tomate, encontrándose diferencias significativas ($P \leq 0,05$) a los 22 y 29 días de almacenamiento (Figura 1-1). Al final del almacenamiento, se encontró menor pérdida de peso con el tratamiento correspondiente a 1% de vermiculita y 1,5% de permanganato de potasio, por el contrario, la mayor pérdida de peso se obtuvo con los frutos del tratamiento testigo (Figura 1-2).

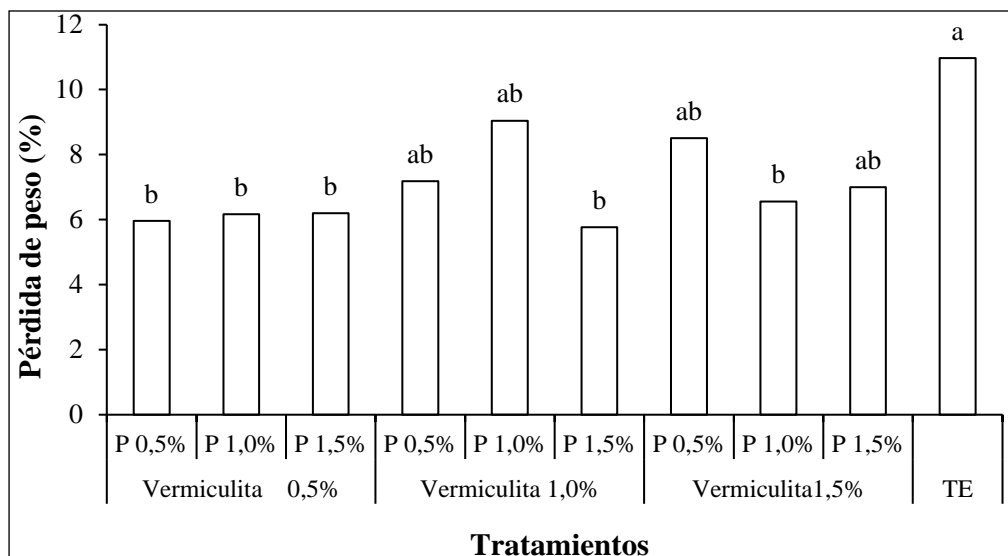
Figura 1-1: Comportamiento de la pérdida de peso de frutos de tomate durante el almacenamiento bajo el efecto de las mezclas de vermiculita y permanganato de potasio.



ns: no hay diferencias significativas; *diferencias significativas al 5%.

T1: 0,5% de vermiculita y 0,5% de KMnO_4 – T2: 0,5% de vermiculita y 1% de KMnO_4 – T3: 0,5% de vermiculita y 1,5% de KMnO_4 - T4: 1% de vermiculita y 0,5 % de KMnO_4 – T5: 1% de vermiculita y 1% de KMnO_4 – T6: 1% de vermiculita y 1,5 de KMnO_4 – T7: 1,5% de vermiculita y 0,5 de KMnO_4 – T8: 1,5 de vermiculita y 1% de KMnO_4 – T9: 1,5% de vermiculita y 1,5 % de KMnO_4 – TE: Testigo.

Figura 1-2: Pérdida de peso en frutos de tomate al final del almacenamiento. Promedios seguidos de letras diferentes en cada punto de muestreo presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).



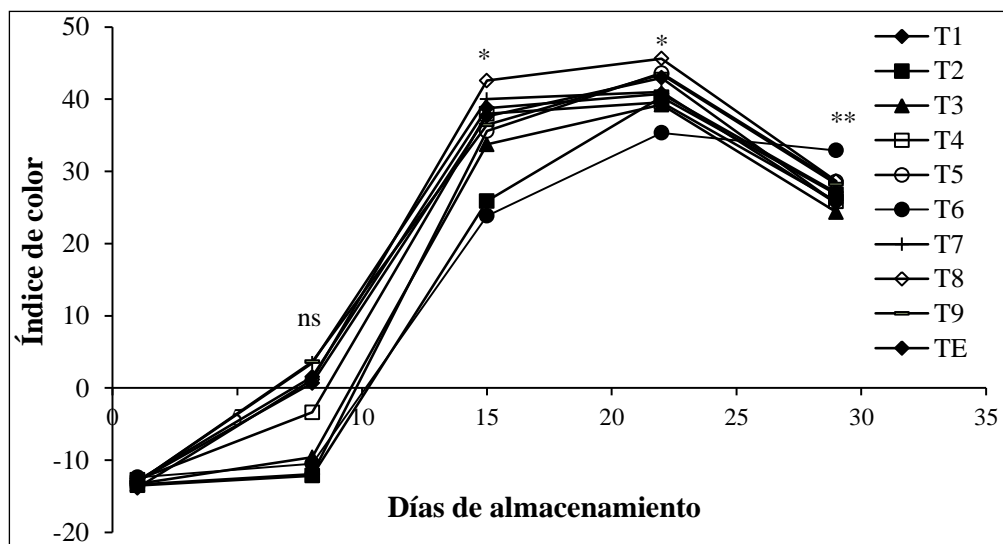
En los resultados encontrados, la pérdida de peso se presentó debido posiblemente al debilitamiento en las membranas y paredes celulares del fruto, permitiendo la salida de agua por transpiración (Kays, 2004), y por la pérdida de masa seca que es provocada por el consumo de sustratos respiratorios como azúcares y ácidos durante la respiración (Pereira *et al.*, 2009), pero al oxidarse el etileno, los procesos de respiración, degradación de paredes celulares, membranas celulares, liberación de calor, entre otros, son más lentos y por tanto se reduce la pérdida de peso.

Este comportamiento fue reportado por Lima *et al.* (2008) en frutos de melón Cantaloupe almacenados por 14 días con sobres de vermiculita y $KMnO_4$, en donde se encontró que la pérdida de masa fue creciente a medida que aumentaba el periodo de almacenamiento. En Mango (var. Tommy Atkins) se encontró que los frutos sometidos en poscosecha a filmes plásticos y sobres de vermiculita expandida con $KMnO_4$, presentaron la menor pérdida de peso, en comparación con los frutos almacenados en filmes plásticos recubiertos de $KMnO_4$ (Marques *et al.*, 2007).

1.6.2 Índice de color

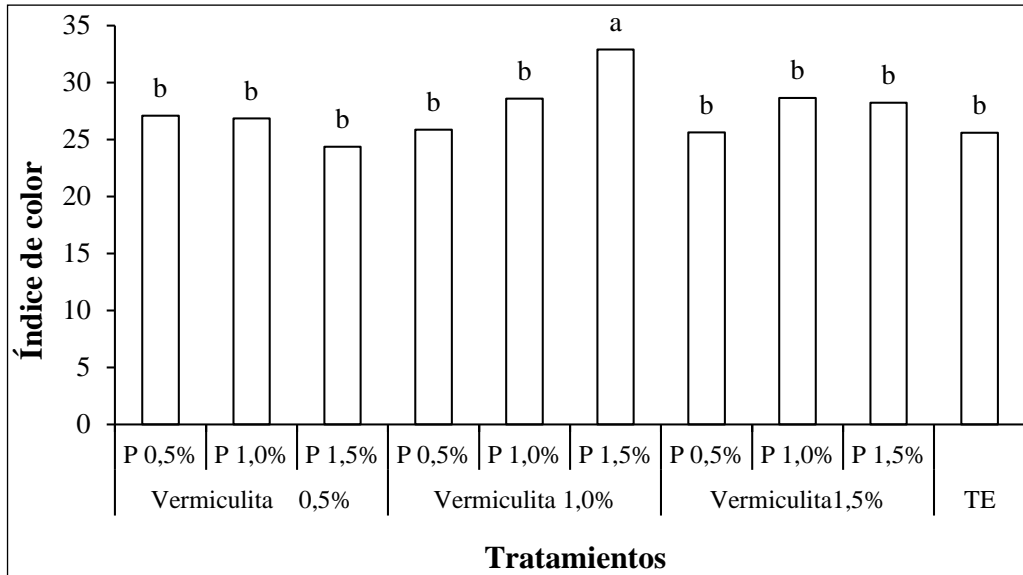
El Índice de color presentó valores negativos hasta los 8 días de almacenamiento para posteriormente incrementar hasta los 22 días y a partir de este tiempo, disminuir hasta el final del almacenamiento, presentando diferencias estadísticas desde los 15 días de almacenamiento (Figura 1-3). Al final del almacenamiento, el mayor índice de color ($P \leq 0,01$) fue obtenido en los frutos con el tratamiento compuesto por 1% de vermiculita y 1,5% de permanganato de potasio con un valor de 32,9 (Figura 1-4).

Figura 1-3: Comportamiento del índice de color de frutos de tomate durante el almacenamiento. *diferencias significativas al 5%; ** diferencias significativas al 1%.



T1: 0,5% de vermiculita y 0,5% de KMnO_4 – T2: 0,5% de vermiculita y 1% de KMnO_4 – T3: 0,5% de vermiculita y 1,5% de KMnO_4 - T4: 1% de vermiculita y 0,5 % de KMnO_4 – T5: 1% de vermiculita y 1% de KMnO_4 – T6: 1% de vermiculita y 1,5 de KMnO_4 – T7: 1,5% de vermiculita y 0,5 de KMnO_4 – T8: 1,5 de vermiculita y 1% de KMnO_4 – T9: 1,5% de vermiculita y 1,5 % de KMnO_4 – T10: Testigo.

Figura 1-4: Índice de color de frutos de tomate al final del almacenamiento. Promedios seguidos de letras diferentes en cada punto de muestreo presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$) ns: no hay diferencias significativas.



De acuerdo con López-Camelo *et al.* (1996), el eje que exhibe mayores cambios en la maduración en tomate es el eje a^* (de verde a rojo), ya que el color rojo es el resultado de la degradación de la clorofila, los cloroplastos se convierten en cromoplastos, así como la síntesis de licopeno y otros carotenoides (Fraser *et al.*, 1994). En los tomates se acumulan altas concentraciones del carotenoide licopeno ($30-100 \mu\text{g/g}^{-1}$), impartiendoles su distintivo color rojo (Lewinsohn *et al.*, 2005). Debido a que el etileno está fuertemente relacionado con el desarrollo de los cromoplastos (Alba *et al.*, 2005), la oxidación de esta hormona por parte de los absorbentes produce un retardo en la acumulación de carotenoides.

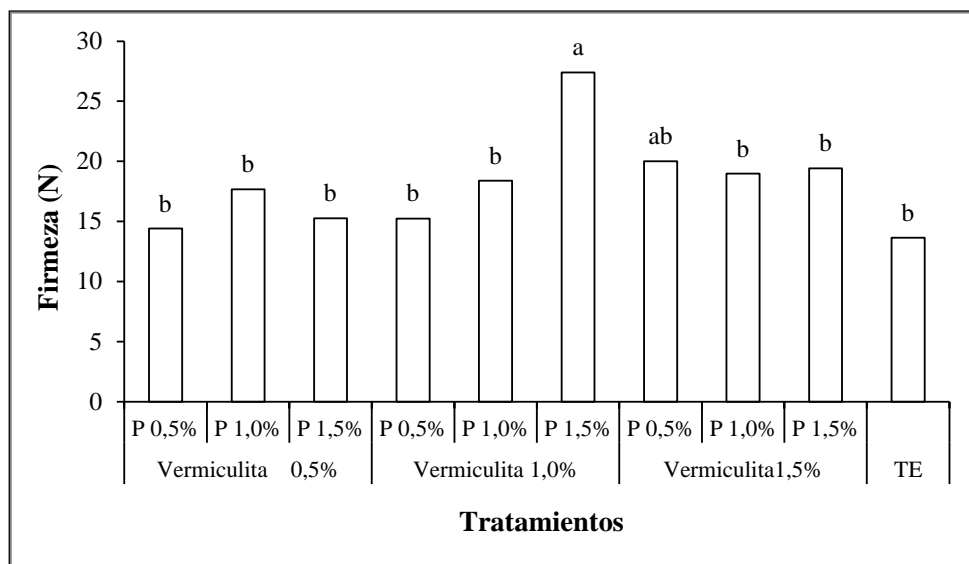
Estos resultados coinciden con los obtenidos por Pereira *et al.*, (2009) en frutos de papaya cultivar “Sunrise Golden”, donde se presentaron en los diferentes tratamientos con KMnO_4 , una evolución tipo sigmoideal en el índice de color. Por Lima *et al.*, (2008) en frutos de melón Cantaloupe, los cuales fueron expresados en Luminosidad, Angulo Hue y croma. En frutos de Banano tratados con KMnO_4 se observó que permanecen verdes en la epidermis durante los 25 días de almacenamiento, en contraste con los tratamientos sin retardantes de madurez (Rocha, 2005) y También por López-Camelo *et al.* (1996) en

frutos de tomate sometidos en poscosecha a condiciones normales de almacenamiento, y por Silva (1995), en frutos de papaya cultivar “Sunrise Solo”.

1.6.3 Firmeza

En la firmeza los frutos de tomate presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,01$). La mayor firmeza de frutos al final del almacenamiento (27,4 N) se obtuvo en los frutos del tratamiento de 1% de vermiculita y 1,5% de permanganato de potasio, mientras que con el testigo, los frutos presentaron la menor firmeza (Figura 1-5).

Figura 1-5: Firmeza de frutos de tomate al final del almacenamiento. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).



La reducción en la firmeza en los frutos de tomate es una consecuencia de la actividad de la enzima poligalacturonasa (PG) sobre las pectinas de las paredes celulares, ocasionando cambios en los tejidos que provocan el ablandamiento del fruto. Esta enzima aparece progresivamente en el proceso de maduración, mientras que en los

frutos verdes no existe (Riquelme, 1995; González *et al.*, 2004). Los resultados obtenidos concuerdan con Morais *et al.*, 2008, ya que los frutos sometidos al retardante de madurez presentaron una menor pérdida de agua y menor pérdida de turgor, ocasionando una menor degradación de la pared celular.

Las enzimas que intervienen en el ablandamiento de los frutos a través de la degradación de la pared celular y los almidones de reserva al parecer tienen baja actividad, debido a la acción de la mezcla de la vermiculita con el KMnO_4 , ya que la concentración de etileno no es suficiente para la activación de dichas enzimas, provocando una mayor concentración de protopectinas, por tanto tejidos con mayor consistencia (Hernández *et al.*, 2007).

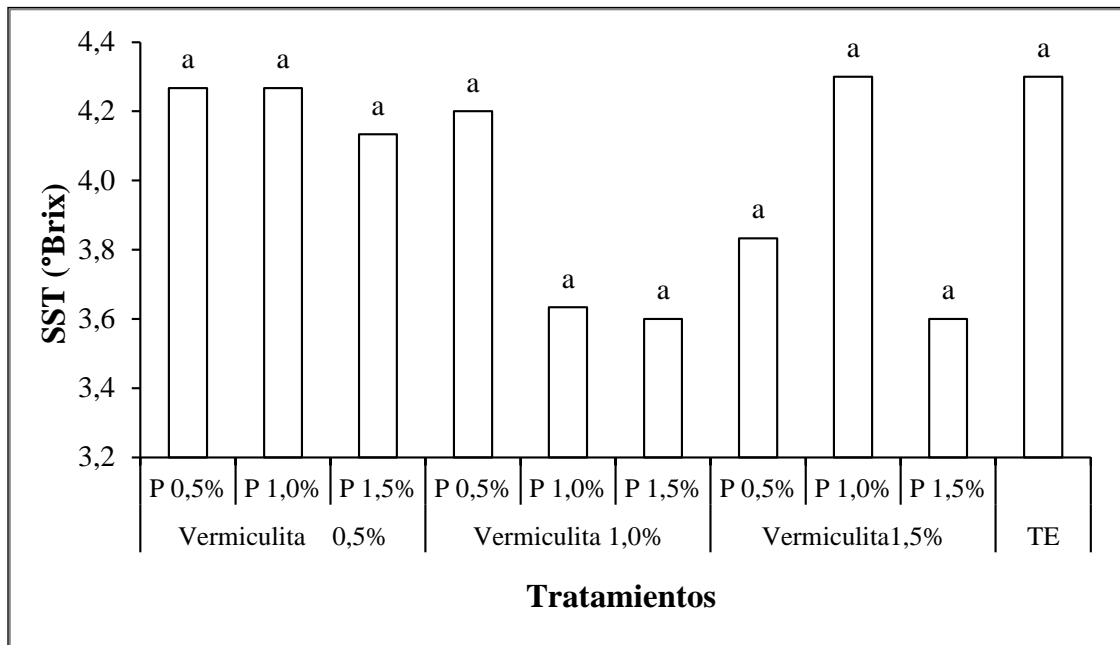
Pangaribuan (2009) reportó que los frutos de tomate almacenados con varias dosis de KMnO_4 , conservaron por más tiempo los cambios en firmeza y se concluyó que, entre mayor cantidad de absorbente se utilice en poscosecha, menor es la pérdida de firmeza en los frutos de tomate. En contraste con lo obtenido en este estudio donde los frutos de tomate, almacenados con vermiculita al 1% y KMnO_4 al 1,5%, presentaron los mayores valores de firmeza.

Ceretta *et al.* (2000) encontraron que la remoción de etileno con sobres de vermiculita impregnados con KMnO_4 , durante el almacenamiento poscosecha de duraznos 'Eldorado', mostró frutos con mayor firmeza de pulpa y redujo la incidencia de pudriciones. En frutos de papaya "Sunrise Solo" Cenci *et al.* (1999), hallaron que frutos expuestos a absorbentes de etileno con KMnO_4 , tuvieron menor pérdida de consistencia durante los 31 días de almacenamiento, en comparación con los frutos no tratados, sin embargo no encontraron una relación con las concentraciones de KMnO_4 .

1.6.4 Sólidos solubles totales

En los sólidos solubles totales no se presentaron diferencias estadísticas, sin embargo, pudo observarse que el menor valor de SST se obtuvo con 1% de vermiculita y 1,5% de permanganato de potasio (Figura 1-6).

Figura 1-6: Sólidos solubles de frutos de tomate al final del almacenamiento. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).



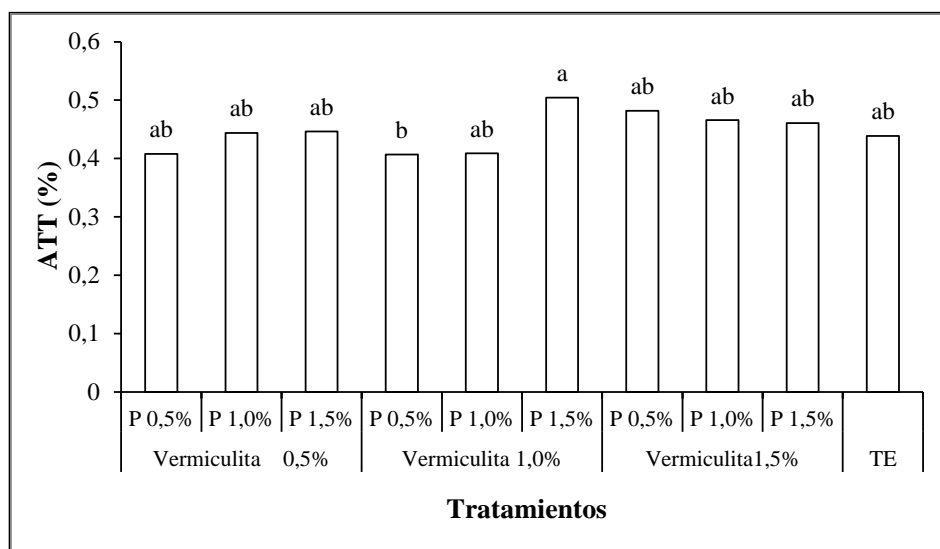
Estos resultados concuerdan con los encontrados en mango cv Bangalora por Reddy y Haripriya (2002) y Bairwa y Dashora (1999) en banana (*Musa paradisiaca* L.). Resultados que se deben según Bhutia *et al.* (2011) a una menor producción de etileno bajo la presencia de $KMnO_4$. Choudhury *et al.* (2009) encontraron que el $KMnO_4$ disminuyó la actividad de la enzima sacarosa fosfato sintasa en banano, lo cual puede ser una de las posibles causas de la menor acumulación de SST bajo los tratamientos de $KMnO_4$ en los diferentes frutos y coincide con lo obtenido en frutos de papaya “Golden” por Pereira *et al.* (2009), Assis y Steineker (2003) y por Corrêa *et al.* (2005) y contrasta con Pangaribuan (2009) en frutos de tomate.

1.6.5 Acidez total titulable

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en la acidez total titulable de los frutos de tomate, siendo el absorbedor compuesto por el tratamiento de 1% de vermiculita y

1,5% de permanganato de potasio responsable de mantener una mayor ATT (0,5%) en los frutos de tomate al final del almacenamiento (Figura 1-7).

Figura 1-7: Acidez total titulable de frutos de tomate al final del almacenamiento. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).



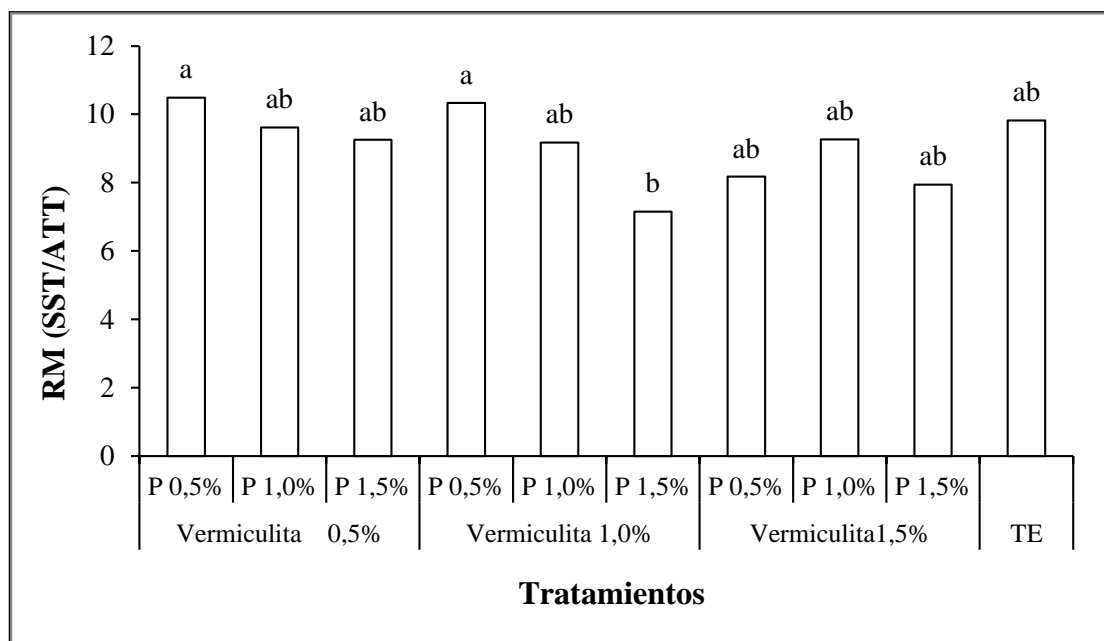
El KMnO_4 reduce y/o retarda la maduración de los frutos, por lo tanto atrasa el desdoblamiento de los ácidos, también con la presencia del retardante de madurez se puede reducir la respiración, por consiguiente la utilización de los ácidos orgánicos como sustratos respiratorios (Kays, 2004). De acuerdo con lo anterior y a los resultados de este estudio, los frutos almacenados con vermiculita y mezclados con KMnO_4 , tienen un mejor comportamiento poscosecha, ya que estos frutos presentan mayor cantidad de ácidos orgánicos que podrían ser utilizados como sustrato respiratorio, por ende mayor vida poscosecha en frutos de tomate chonto.

Esta reducción en la acidez por efecto del retardante también fue reportada en frutos de tomate por Salamanca *et al.* (2014), Bertin *et al.* (2000), en mango “Palmer” por Jeronimo y Kanesimo (2000) y mango “Tommy Atkins” por Marques *et al.* (2007) con sobres de vermiculita impregnada con KMnO_4 y en duraznos Chiripá y Elegant Lady por Nava (2001) donde el absorbedor retardó la pérdida de acidez en los frutos.

1.6.6 Relación de madurez

En la relación de madurez se presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) y se encontró que la menor RM de frutos de tomate al final del almacenamiento se debió al tratamiento compuesto de 1% de vermiculita y 1,5% de permanganato de potasio, cuyo valor fue de 7,15 (Figura 1-8).

Figura 1-8: Relación de madurez de frutos de tomate al final del almacenamiento. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).



La relación de madurez permite determinar la calidad organoléptica de los frutos (Rodríguez *et al.*, 2006), principalmente sobre el sabor del fruto, teniendo en cuenta que cuando el fruto tiene un contenido alto de azúcares, el nivel de los ácidos debe ser suficientemente elevado para satisfacer el gusto del consumidor (Osterloh *et al.*, 1996).

Se considera que una RM de 12,5 (SST 5 °Brix y ATT 0,4%) es adecuada para el sabor en frutos de tomate, sin embargo estos valores varían dentro de la fruta, siendo menor en el pericarpio en comparación con el lóculo (Grierson y Kader, 1986). Debido al

metabolismo, la acidez en la última fase de maduración de los frutos tiende a disminuir, aumentando los valores de RM (Bertin *et al.*, 2000).

Una menor RM encontrada en frutos de tomate sometidos al absorbedor compuesto por 1% de vermiculita y 1.5% de KMnO_4 , se debe a que estos frutos presentaron menor relación entre la concentración baja de SST y altos valores de ATT. Un resultado similar fue reportado en maracuyá por Resende *et al.* (2001), donde se encontró un retraso en la maduración debido al KMnO_4 , en chirimoya por Chaves *et al.* (2007) y en papaya "Sunrise Golden" por Pereira (2009).

2. Efecto del empaque y la temperatura durante el almacenamiento con la utilización de un absorbedor de etileno compuesto por vermiculita y permanganato de potasio sobre el comportamiento poscosecha de los frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

2.1 Resumen

Con el objetivo de realizar la evaluación del efecto del empaque y la temperatura durante el almacenamiento con la utilización de un absorbedor de etileno compuesto por vermiculita y permanganato de potasio sobre el comportamiento poscosecha de los frutos del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) recolectados en el municipio de Madrid Cundinamarca, en el estado de madurez 1, tomando como parámetro de selección el color, en el cual toda la superficie es verde sin color rojo visible, se realizó el empaque de los frutos en bolsas de Polietileno de baja densidad (PE) y empaques termoformados de polietileno tereftalato (PET) con absorbedores de etileno compuestos por 1% de vermiculita y 1,5% de permanganato de potasio (KMnO₄) y se almacenaron en cámaras de almacenamiento a 8, 12 y 18°C, y una humedad relativa del 90%, donde se encontró que los empaques empleados no presentaron diferencias estadísticas sobre las variables evaluadas. Sin embargo, el almacenamiento a bajas temperaturas prolongó la vida de anaquel al mantener la mayor firmeza y acidez total titulable, menor valor de sólidos solubles totales, relación de madurez y contenido de carotenoides, aunque a 8°C se evidenció daño por frío, lo que indicó que la temperatura de 12°C es la recomendada para el almacenamiento de los frutos junto con el absorbedor de etileno para así tener una alternativa más de comercialización de los frutos de tomate chonto.

2.2 Introducción

El interés por mantener una dieta saludable ha incrementado la demanda de frutas y hortalizas frescas para el consumo diario, debido principalmente a los compuestos antioxidantes que poseen y que se ha demostrado son benéficos contra diversas enfermedades (Nishiyama *et al.*, 2004). Debido a esta tendencia se han generado nuevas oportunidades y desafíos para que la industria hortícola mejore la calidad de las frutas y hortalizas (López *et al.*, 2011).

Una de las hortalizas más consumidas en el mundo es el tomate debido a sus cualidades nutricionales y el bajo valor económico que posee (Yahia y Brecht, 2012). Con la producción en todo el mundo llegando a casi 160 millones de toneladas en 2011, el tomate es el séptimo de las especies cultivadas más importantes después del maíz, el arroz, el trigo, la papa, la soja y yuca (Bergougnoux, 2013). Sin embargo, el tomate tiene una vida útil limitada debido a su rápida maduración, lo que se caracteriza por el aumento en la respiración y producción de etileno (Guo *et al.*, 2014, Alexander y Grierson, 2002, Paul *et al.*, 2010 y Xu *et al.*, 2011).

La mayoría de los cultivares de tomate muestran un cambio climatérico típico en la respiración, lo que acelera los procesos bioquímicos durante la maduración. Estudios previos han encontrado una relación positiva entre la tasa de respiración y los niveles de etileno en frutos cosechados (Xu *et al.*, 2012; Guo *et al.*, 2013), lo que incrementa las pérdidas de almacenamiento y reduce la calidad poscosecha (Guo *et al.*, 2014).

La maduración es un complejo proceso de desarrollo del fruto, que puede ser descrito como el resultado de los cambios bioquímicos y fisiológicos que conducen a un estado de madurez que culmina en cambios en el color, textura y sabor (Javanmardi y Kubota, 2006). El tomate es un fruto percedero que requiere el uso de tecnologías de conservación para retardar el proceso de maduración que se produce después de la cosecha, para mantener su calidad y en consecuencia, extender la vida poscosecha, pero aun cuando se desarrollen nuevas tecnologías que mejoren la calidad de los productos, la manipulación inadecuada, el deterioro y la falta de conocimiento e inversión

en poscosecha, entre otras, hacen que muchos productos no lleguen a su destino final provocando con esto pérdidas económicas graves a los productores, comercializadores y en ocasiones a los consumidores (Espinosa *et al.*, 2010).

Así mismo, las altas temperaturas contribuyen a una mala calidad del producto y con un rápido deterioro del fruto durante la poscosecha (Alía, 2000). Lo anterior justifica el estudio de los procesos físicos, fisiológicos y bioquímicos que caracterizan el proceso de maduración y su relación con la exposición a diversas temperaturas de refrigeración. Normalmente, como consecuencia del aumento de la temperatura, hay un incremento representativo en la producción de etileno, evento que desencadena una serie de reacciones bioquímicas, lo que origina diferentes características fenotípicas (Ramírez *et al.*, 2004).

En ese sentido, este estudio pretende evaluar el efecto del empaque y la temperatura durante el almacenamiento del tomate junto con un absorbedor de etileno compuesto por permanganato de potasio y vermiculita para alargar la vida poscosecha del fruto.

2.3 Parámetros de calidad

Los tomates (*Solanum lycopersicum* L.) son frutos climatéricos y su maduración está acompañada por cambios en el sabor, textura, color y aroma. Durante este proceso se degrada la clorofila y se sintetizan carotenoides, como el licopeno (antioxidante que da el color rojo) y el β -caroteno (precursor de la vitamina A), giberelinas, quinonas y esteroides (Fraser *et al.*, 1994). El fruto pierde firmeza debido a cambios físicos y químicos asociados con la degradación de la pared celular y la solubilización de las pectinas por las enzimas pectinesterasa (PE), poligalacturonasa (PG) y pectatoliasa (PL) (Marín *et al.*, 2002; San Martín *et al.*, 2012).

El sabor es medido por los sólidos solubles y ácidos orgánicos (Kader, 2002; Cantwell *et al.*, 2007). La calidad poscosecha y la vida de anaquel de los frutos de tomate son controlados por el estado de madurez en la cosecha (Alam *et al.*, 2006; Padmini, 2006). El sabor del tomate es el resultado de diversos componentes aromáticos volátiles y no volátiles y de una compleja interacción entre éstos (Yilmaz, 2001). Para un

sabor mejor se requiere un contenido alto de azúcares y ácidos; un contenido alto de ácidos y bajos de azúcares produce un sabor ácido, uno alto en azúcares y bajo en ácidos dan un sabor suave, y ambos bajos dan un fruto insípido (Grierson y Kader, 1986). Los frutos de tomate contienen: azúcares reductores como fructosa y glucosa y trazas de sacarosa que constituyen 53 a 65% de los sólidos solubles, ácidos, cítrico (9%) y málico (4%) principalmente, la vitamina C (ácido ascórbico), aminoácidos (2-2.5%), carotenoides, compuestos volátiles responsables del aroma, sales minerales (8%) y sustancias pécticas de la pared celular (San Martín *et al.*, 2012)

El color en el tomate es la primera característica externa que determina el grado de aceptación del consumidor. Cambios importantes de color se producen en diversas etapas de desarrollo de tomate en términos del contenido de la clorofila (color verde), β -caroteno (de color naranja) y licopeno (color rojo). Los cambios más visibles se asocian con la pérdida de clorofila (color verde) y la acumulación gradual de licopeno (color rojo), donde los plastidios, tales como cloroplastos presentes en la fruta verde-madura se transforman en cromoplastos. La transformación de cloroplastos a cromoplastos normalmente se produce simultáneamente con otros cambios de maduración tales como el ablandamiento de la pared celular (Pinheiro *et al.*, 2013).

La firmeza es otro atributo importante relacionado con la calidad en el tomate y puede ser considerado como un índice de calidad final (Batu, 1998). El problema importante en relación con la firmeza de tomate se relaciona con ablandamiento del tejido que generalmente implica uno de dos mecanismos: la pérdida de peso con la pérdida de turgencia, o un resultado de la actividad enzimática. La pérdida de peso es un proceso no fisiológico asociado con la deshidratación poscosecha que resulta en la pérdida de turgencia. La pérdida de peso de la fruta se ve afectada por varios factores pre y post-cosecha, como la fecha de la cosecha y la temperatura de almacenamiento (Alia-Tejacal *et al.*, 2007).

Este parámetro podría usarse para definir la calidad de tomate, debido a su impacto en el tejido que se vuelve opaco y muy suave cuando la pérdida de peso es alta. Los cambios en la firmeza en relación con la actividad enzimática se deben a la actividad de la

pectinmetilesterasa (PME, EC3.2.1.11) y la poligalacturonasa (PG, EC 3.2.1.15). La degradación de pectina enzimática por la PME y PG se produce en dos fases: en primer lugar, la pectina está parcialmente desmetilada por la PME resultante en la producción de metanol y en un menor grado de metilación de pectina y ácido galacturónico, y en segundo lugar, este último es despolimerizado por PG. Esto da lugar a cadenas de pectina desmetiladas cortas y por consiguiente drásticos cambios en la textura, resultando en el ablandamiento del fruto (Vu *et al.*, 2004).

La síntesis de etileno en fruto de tomate está regulada principalmente por diferentes familias de genes que codifican 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) sintasa (ACS) y ACC oxidasa (ACO) (Nakatsuka *et al.*, 1998; Corpas y Tapasco, 2014) estudios han demostrado que la supresión de la expresión de ACO y ACS resultó en una inhibición más fuerte de la producción de etileno (Hamilton *et al.*, 1990). Por el contrario, la aplicación de etileno a fruta climatérica en la etapa madura estimula la síntesis de etileno, la aceleración de la maduración del fruto y acelera la producción y la respiración de etileno. Estos resultados sugieren que la reducción de las tasas de respiración y producción de etileno pueden estar implicados en la resistencia a la maduración en la fruta cosechada.

2.4 Temperatura

La vida poscosecha se define como el periodo en el cual un producto mantiene un nivel predeterminado de calidad bajo condiciones específicas de almacenamiento (Casierra y Aguilar, 2008). Un gran número de procesos fisicoquímicos se llevan a cabo en las hortalizas durante el almacenamiento. Además, la calidad de la mayoría de frutas y hortalizas se ve severamente afectada por las pérdidas de agua durante el almacenamiento, que dependen de la temperatura y de la humedad relativa (Perez *et al.*, 2003). Por otro lado, se ha mencionado que el almacenamiento a bajas temperaturas es el método más eficiente para mantener la calidad en frutas y hortalizas, por su efecto sobre la reducción de la tasa de respiración, transpiración, producción de etileno, maduración y desarrollo de pudriciones (Casierra y Aguilar, 2008).

La temperatura juega un papel importante en el mantenimiento de la calidad de cosecha en tomates (Ball, 1997). El efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la calidad y la cantidad de cambios fisicoquímicos en frutos de tomate es altamente dependiente del cultivar, el tiempo de exposición y las condiciones de cosecha (Casierra y Aguilar, 2008). Un enfoque tecnológico para controlar estos cambios de calidad es la aplicación de tecnologías poscosecha para extender la vida útil de frutas y vegetales, siendo el almacenamiento a baja temperatura ampliamente utilizado para cumplir con estos objetivos (Pinheiro *et al.*, 2013).

Shin *et al.* (2008) reportaron que los frutos almacenados a temperaturas más altas presentan mayores tasas de respiración y más corto período de almacenamiento, lo que contribuye al rápido deterioro de calidad del fruto. Soto *et al.* (2005) y Polenta *et al.* (2006) afirman que las temperaturas de almacenamiento por debajo de 13 °C pueden causar un desorden fisiológico (daño por frío), sobre todo en frutos estado pintón. El daño por frío se caracteriza por el aumento de permeabilidad de la membrana, la reducción de vigor y desarrollo de susceptibilidad a la enfermedad, tales como manchas oscuras en la piel, siendo un factor importante en la evaluación de la calidad de tomate para fines de marketing. Los desórdenes fisiológicos en el fruto se producen cuando no se cumplen las condiciones de almacenamiento adecuadas y la gravedad de los síntomas depende de la temperatura y tiempo de exposición. Recomendar la temperatura de almacenamiento para mantenimiento de la calidad del tomate depende de la etapa de la madurez (Passam *et al.*, 2007; Suslow y Cantwell, 2009), cultivares (Martins *et al.*, 2003) y las condiciones de almacenamiento (Almeida *et al.*, 2005).

2.5 Empaque

El embalaje es el principal uso de los productos plásticos debido a su bajo peso y la versatilidad de acoplarse a distintas formas. Entre las mayores aplicaciones del embalaje se encuentra los empaques plásticos para productos alimenticios, los mismos que necesitan cumplir con estrictos parámetros de calidad y mantener su contenido apto para

el consumo sabiendo que los alimentos tienen distintos comportamientos dependiendo de la naturaleza del ambiente donde se conservan (Quintana *et al.*, 2007).

Los plásticos tienen costo relativamente bajo, buena barrera contra la humedad y los gases, son termosellables, tienen buena resistencia a la humedad, presentan facilidad para imprimir y son de bajo peso. Los plásticos se pueden utilizar en láminas rígidas para termoformados tipo blíster en los que se empaquetan pequeñas cantidades de frutos y en cajas o canastillas; en fibras para mallas o en películas para bolsas. Cada tipo de material tiene diferentes propiedades mecánicas, ópticas, permeabilidad, y en el caso de las películas facilidad de sellado al calor (Smith *et al.*, 2003).

Las técnicas que permiten mejorar la calidad de la fruta en almacenaje refrigerado son el uso de bolsas de polietileno, PVC y absorbentes de etileno. Los empaques plásticos ejercen una acción modificadora sobre los procesos fisiológicos. Estos empaques, casi impermeables al vapor de agua, permiten, dependiendo de su calibre, un intercambio gaseoso. Yahia (1998) sostiene que el uso de filmes plásticos poliméricos permeables baja el nivel de oxígeno y aumenta el de gas carbónico de manera adecuada, lo que se traduce en una mejor conservación de las frutas. El empleo de los absorbentes, que tienen la capacidad de desdoblar y eliminar el etileno del ambiente, implica el uso de un embalaje apropiado que lo dan las bolsas plásticas (Castro *et al.*, 2003).

Condiciones experimentales utilizadas por varios autores varían con respecto al espesor de la película de polietileno, el uso de bolsas perforadas, la temperatura, el uso de absorbentes de etileno, etc. Sin embargo, todos ellos llegaron a la conclusión que el embalaje en film de polietileno, así como con absorbentes de etileno y las bajas temperaturas llevaron a un aumento considerable en la vida útil de frutas, mediante el aumento de la concentración de CO₂, la reducción de la pérdida de agua y la respiración, la inhibición de la actividad de etileno y, en consecuencia, la reduciendo el metabolismo de la fruta (Kim y Wills, 1998; Chaves *et al.*, 2007).

2.6 Materiales y métodos

Este estudio se llevó a cabo en el laboratorio de Poscosecha de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Como material vegetal, se evaluaron frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) chonto cv "Santa Clara" obtenidos del municipio de Madrid Cundinamarca, en el estado de madurez 1 tomando como parámetro de selección el color, teniendo en cuenta las recomendaciones citadas por Heuvelink (2005) para este estado de madurez en el cual toda la superficie del fruto es verde sin color rojo visible.

Los frutos se empacaron en bolsas de Polietileno de baja densidad (PE) y empaques termoformados de polietileno tereftalato (PET) con absorbedores de etileno compuestos por 1% de vermiculita y 1,5% de permanganato de potasio (KMnO_4) y se almacenaron en cámaras de almacenamiento a 8°C, 12°C y 18°C a una humedad relativa del 90%.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de $3 \times 2 \times 2 + 1$, donde el primer factor correspondió a la temperatura de almacenamiento (8°C, 12°C y 18°C), el segundo factor fue el tipo de empaque (Polietileno y polietileno tereftalato), el tercer factor estuvo compuesto por la utilización o no del absorbedor de etileno, más un testigo absoluto, para un total de 13 tratamientos con 3 repeticiones, cada una de las 39 unidades experimentales (UE) estuvo compuesta por aproximadamente 1kg de frutos.

2.6.1 Variables

Se midieron las siguientes variables cuando los frutos alcanzaron la madurez de consumo:

- Firmeza del fruto (N): mediante la utilización de un penetrómetro digital PCE-PTR 200.
- Acidez total titulable (ATT): se realizó mediante cálculos con datos de volumen de NaOH, incorporado en 5 g de jugo de frutos agregando 3 gotas de fenoftaleína en

una titulación potenciométrica hasta pH de 8,2. Para ello, se utilizó la fórmula. $\%Acidez = (A*B*C)*100/D$. En donde: A = Volumen de NaOH gastado; B = Normalidad del NaOH; C = peso equivalente expresado en g de ácido predominante en el fruto; D = peso en gramos de la muestra utilizada (5g).

- Sólidos solubles totales (SST): a través de mediciones de grados Brix con un refractómetro digital HANNA de rango 0 a 85% a 20°C.
- Relación de madurez (RM): relación entre los SST/ATT.
- Tasa de respiración ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) se midió periódicamente durante el almacenamiento, para lo cual se pusieron a respirar aproximadamente 200 g de muestra en cámaras herméticas de 2L, en la cámara fue ubicado un sensor infrarrojo de CO_2 , el cual se conectó a una Labquest (equipo de captura de datos). Cada 4 segundos y durante 5 minutos se registraron los valores de CO_2 , con estos valores se calculó la pendiente, que correspondió a la tasa respiratoria, se tuvo en cuenta el peso de los frutos y el volumen de la cámara para convertir los datos a $\text{mg de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.
- Extracción y cuantificación de carotenoides totales: se pesó aproximadamente 1g de tejido, se agregó 5 mL de acetona, se agitó en vórtex durante 1 min y luego se centrifugó durante 10 min a 4000 rpm. Después se vertió el sobrenadante en un balón de 25 ml, al pelet nuevamente se le agregó acetona, se agitó en vórtex y luego se llevó a centrifuga, este procedimiento se repitió 3 veces. El sobrenadante obtenido se llevó a volumen de 25mL con acetona para luego hacer la lectura en espectrofotómetro. Se determinó la absorbancia en espectrofotómetro a 450 nm, y la cuantificación se hizo mediante curva de calibración con B-caroteno.

2.6.2 Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza factorial (Anava) para determinar la presencia de diferencias significativas; cuando se presentaron diferencias significativas se llevó a cabo la prueba de comparación múltiple de Tukey (5%) con el fin de establecer los mejores tratamientos. Todo mediante la utilización del software SAS v. 9.1 (Cary, N.C).

2.7 Resultados y discusión

2.7.1 Duración poscosecha

La duración poscosecha fue afectada por la temperatura de almacenamiento y los empaques, donde Los frutos almacenados a 8°C en empaques de polietileno (PE) y polietileno tereftalato (PET) con o sin adición de permanganato de potasio (KMnO₄) tuvieron la mayor duración poscosecha (35 días), seguido por los frutos almacenados a 12°C en empaques PE y PET con o sin adición de KMnO₄ (30 días), mientras que la duración poscosecha de los frutos testigo fue de solo 9 días (Tabla 2-1).

Lo anterior debido a que una baja temperatura es uno de los métodos más importantes y empleados para desacelerar el proceso de deterioro de los frutos, generando una disminución en la producción de etileno, lo que genera un aumento en la vida útil y calidad poscosecha de los frutos (Téllez *et al.*, 2007), razón por la cual, se observó que a menor temperatura hubo mayor duración poscosecha, sin embargo, a 8 °C se presentaron síntomas de daños por frío, por lo que esta temperatura no es favorable para la conservación de frutos de tomate chonto, siendo la refrigeración a 12°C la recomendación más adecuada para aumentar la vida poscosecha de estos frutos.

Resultados similares se encontraron durante el almacenamiento a bajas temperaturas en chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz y Pavón) (Espinosa, *et al.*, 2010) y en aguacate (Zamorano *et al.*, 1994).

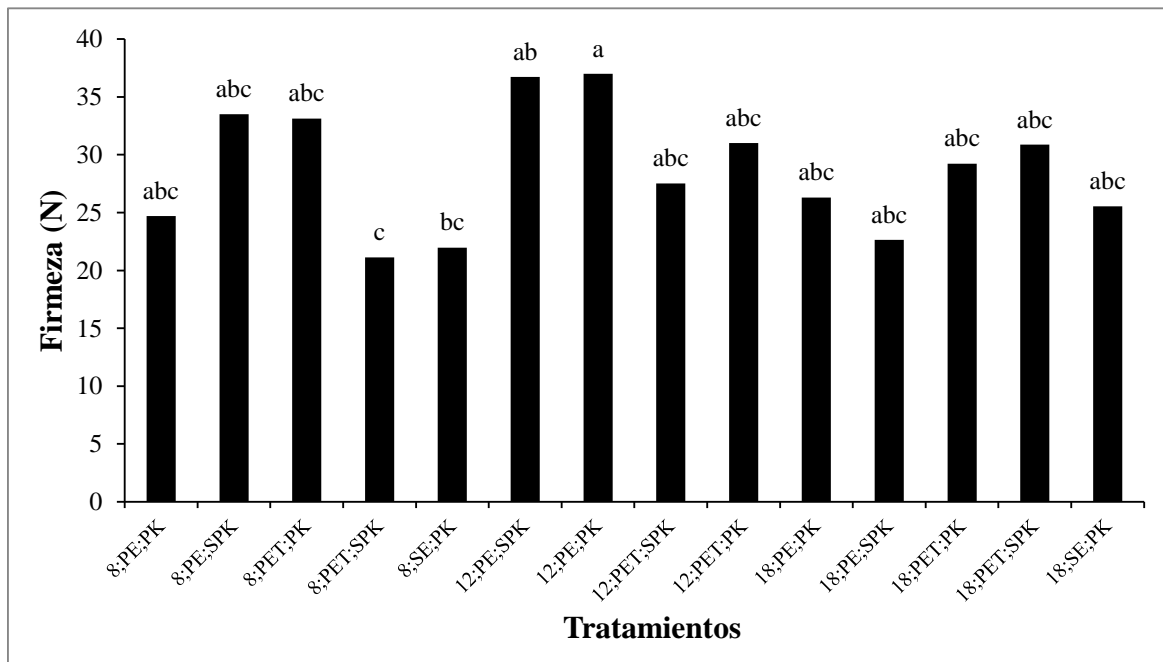
Tabla 2-1: Duración poscosecha de frutos de tomate almacenados en diferentes temperaturas de refrigeración, diferentes empaques con la adición o no de permanganato de potasio. Polietileno (PE) y polietileno tereftalato (PET).

TEMPERATURA (°C)	EMPAQUE	KMNO ₄	DÍAS
8	PE	SI	35
8	PE	NO	35
8	PET	SI	35
8	PET	NO	35
8	Sin Empaque	NO	33
12	PE	SI	30
12	PE	NO	30
12	PET	SI	30
12	PET	NO	30
12	Sin Empaque	NO	30
18	PE	SI	13
18	PE	NO	13
18	PET	SI	13
18	PET	NO	13
18	Sin Empaque	NO	9

2.7.2 Firmeza

Se presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0,01$) en los tratamientos, donde se encontró mayor firmeza en los frutos de tomate almacenados a 12°C en empaques de PE con adición de permanganato de potasio, mientras que la menor firmeza se obtuvo con los frutos de tomate almacenados a 8°C en empaques de PET sin adición de permanganato de potasio (Figura 2-1).

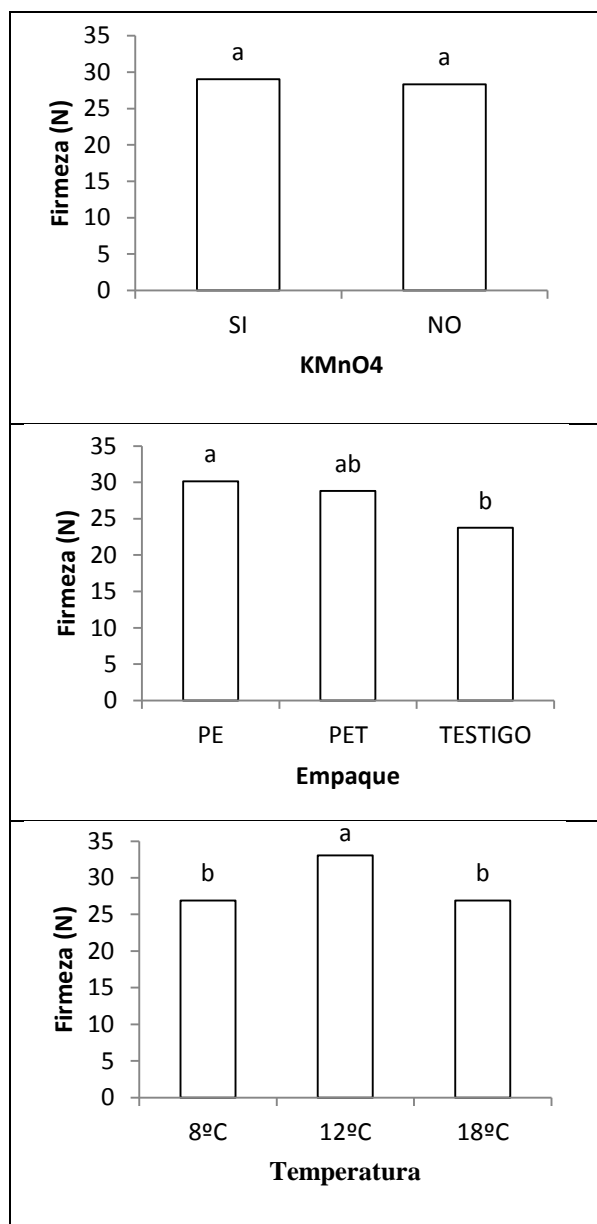
Figura 2-1: Efecto del empaque y la temperatura durante el almacenamiento con la utilización de un absorbedor de etileno compuesto por vermiculita y permanganato de potasio sobre la firmeza de frutos de tomate. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).



8, 12 y 16 corresponden a las temperaturas en grados Celsius, PE: polietileno, PET: polietileno tereftalato, PK: permanganato de potasio, SPK: sin permanganato de potasio.

Respecto al factor permanganato de potasio, no se encontraron diferencias estadísticas; Sin embargo, el factor empaque mostró diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) donde la mayor firmeza se presentó en los frutos almacenados en empaques de polietileno (PE). Respecto al efecto de las temperaturas se presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0,01$) donde se observa que los frutos almacenados a 12°C obtuvieron la mayor firmeza (Figura 2-2).

Figura 2-2: Efecto de los factores permanganato de potasio, empaques y temperatura sobre la firmeza. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%)



En frutos de tomate durante la poscosecha la firmeza tiende a disminuir y es principalmente una consecuencia de las modificaciones en el metabolismo de carbohidratos de la pared celular y de su estructura debido a la acción del etileno (Morais *et al.*, 2008; Shackel *et al.*, 1991), lo que limita la vida útil en poscosecha, por tanto,

cualquier mejora en el ablandamiento de los frutos puede tener una significativa importancia comercial (Jiménez-Bermúdez *et al.*, 2002).

De acuerdo con Kehr (2002), el uso de embalaje sellado con películas plásticas es mejor que el almacenaje en frío por sí solo, al retrasar el deterioro fisiológico de la fruta, debido a la modificación de las concentraciones de CO₂, O₂, y etileno, mientras que el almacenamiento a temperatura ambiente provoca un incremento en la producción de CO₂ y etileno del fruto, y con ello, mayor susceptibilidad a enfermedades y permeabilidad de las membranas celulares (Espinosa *et al.*, 2010).

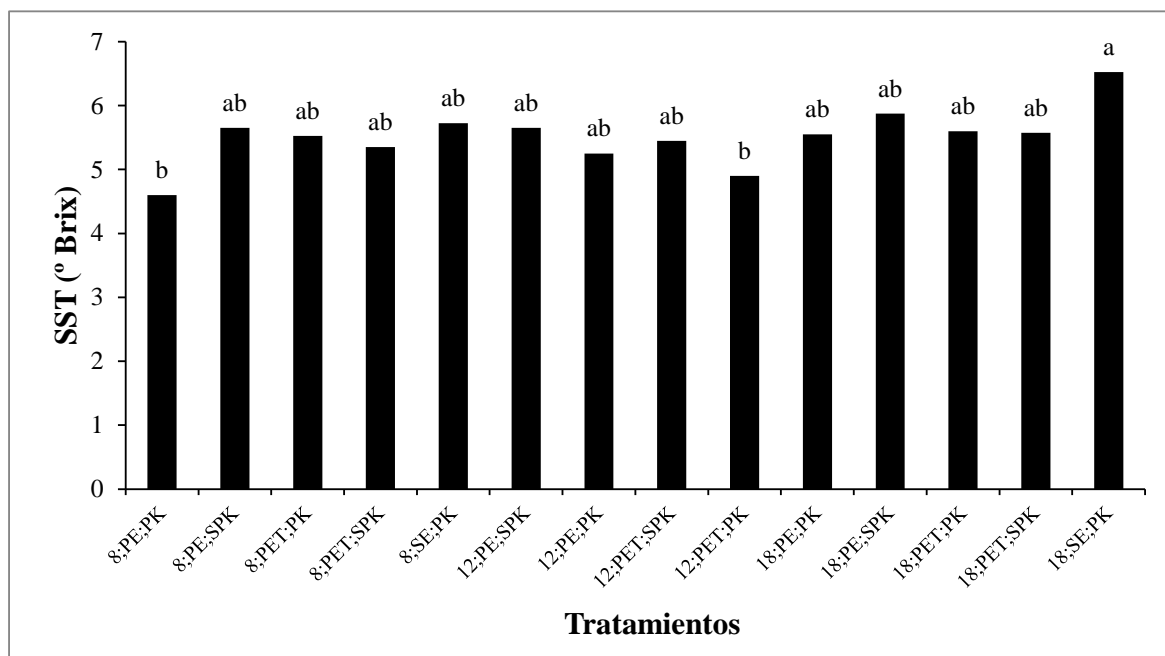
Adicionalmente, la exposición de los frutos a temperaturas fuera del intervalo recomendado usualmente es causa de problemas que conducen a la disminución de la calidad y la vida de almacenamiento, lo cual depende de la duración de la exposición a dicha temperatura (Macrae *et al.*, 1993), lo que concuerda con Suslow y Cantwell (2009), donde mencionan que a temperaturas de almacenamiento por debajo de 10°C, los tomates son sensibles a daños por frío y por el contrario temperaturas en el rango de 18°C a 21°C, son óptimas para la maduración de los frutos, dado que se presenta un incremento de la producción de etileno y por consiguiente una disminución en la firmeza, tal como lo mostraron los resultados de este estudio. Sin embargo, a temperaturas entre 12°C y 15°C se evidencia un retardo en la madurez de los frutos y por consiguiente una disminución en la producción de etileno y mayor calidad poscosecha, lo cual se comprobó con los resultados obtenidos, donde a 12 °C la firmeza fue mayor en frutos almacenados en PE con KMnO₄, probablemente como resultado de la oxidación del etileno, donde disminuye la actividad enzimática que degrada la pared celular (Imsabai *et al.*, 2006; Zewter *et al.*, 2012). Lo anterior concuerda con lo reportado por Amarante y Steffens (2009) en manzana, Bal y Celik, (2010) en kiwi y por Chauhan *et al.* (2006) en banano AAA.

2.7.3 Sólidos solubles totales

Se presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) en el contenido de sólidos solubles totales de los tratamientos, donde los frutos almacenados a 8°C en empaques de polietileno (PE) en presencia de permanganato de potasio presentaron menor contenido

de sólidos solubles totales mientras que el tratamiento con los frutos testigo presentaron un mayor valor (Figura 2-3).

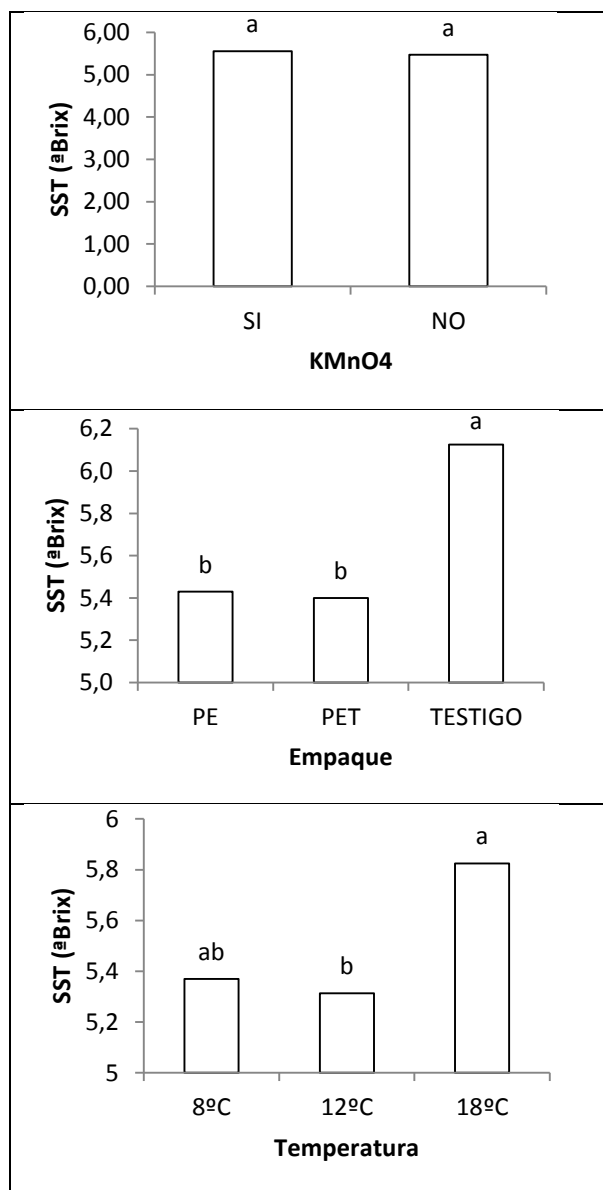
Figura 2-3: Efecto del empaque y la temperatura durante el almacenamiento con la utilización de un absorbedor de etileno compuesto por vermiculita y permanganato de potasio sobre los sólidos solubles totales de frutos de tomate. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).



8, 12 y 16 corresponden a las temperaturas en grados Celsius, PE: polietileno, PET: polietileno tereftalato, PK: permanganato de potasio, SPK: sin permanganato de potasio.

Al evaluar los factores se observó que el factor permanganato de potasio no presentó diferencias significativas (Figura 2-4), no obstante, el factor empaque presentó diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$), donde los frutos testigo presentaron la mayor cantidad de sólidos solubles mientras que los frutos almacenados en empaques PE y PET no presentaron diferencias estadísticas (Figura 2-4). El factor temperatura presentó diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$), donde los frutos almacenados a 12°C presentaron menor contenido de SST con respecto a los frutos almacenados a 18°C (Figura 2-4).

Figura 2-4: Efecto de los factores permanganato de potasio (KMnO_4), empaque y temperatura sobre los sólidos solubles totales en frutos de tomate. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%)



Chitarra y Chitarra (2005) afirman que a medida que los frutos maduran, parte de los sólidos se transforman en azúcares simples como glucosa, fructosa y sacarosa,

generando aumento en los contenidos de sólidos solubles y azúcares solubles, como se demostró en este estudio con los frutos almacenados a 18°C.

Por otra parte, las condiciones de temperatura contribuyen a modificar la fisiología poscosecha del tomate. Las bajas temperaturas retrasan el proceso del deterioro del fruto ya que reduce la producción de etileno y respiración (Trevor y Cantwell, 2000), lo cual es consistente con los resultados presentados en este estudio donde las temperaturas de almacenamiento de los frutos de tomate de 8°C y 12°C presentaron menor contenido de SST.

A nivel de empaques, se observó que los frutos almacenados en PE y PET presentaron menor acumulación de SST con relación al testigo, esto se debe posiblemente a que los dos tipos de empaques generaron una atmósfera modificada que disminuyó la tasa respiratoria y la producción de etileno de los frutos (Kader, 2008), debido a esto, el proceso de maduración de los frutos es menor y por tanto, un menor contenido de SST.

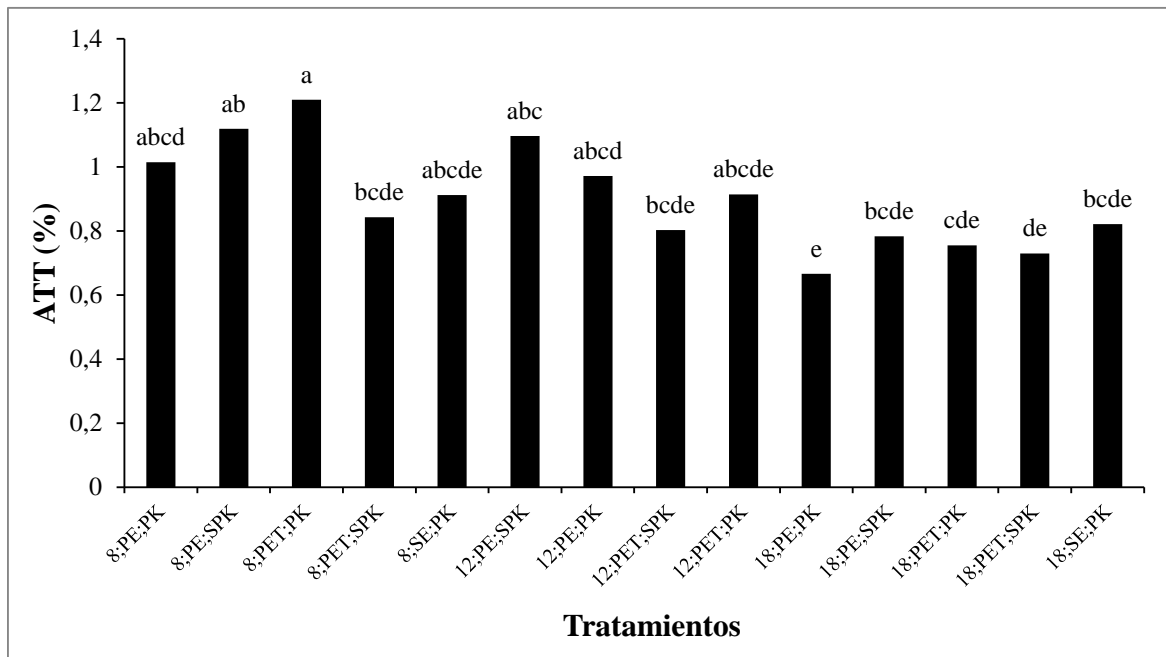
Choudhury *et al.* (2009) encontraron que el KMnO_4 disminuyó la actividad de la enzima sacarosa fosfato sintasa en banano, lo cual puede ser una de las posibles causas de la menor acumulación de SST bajo los tratamientos de KMnO_4 en los diferentes frutos. Resultados similares fueron reportados por Pereira *et al.* (2009) en papaya y por Buthia *et al.* (2011) en sapote.

2.7.4 Acidez total titulable

La acidez total titulable presentó diferencias significativas ($P \leq 0,01$) en los tratamientos, donde se observó que el tratamiento que presentó mayores valores fue el compuesto por frutos almacenados a 8°C en empaques de polietileno tereftalato (PET) en presencia de permanganato de potasio, mientras que el tratamiento compuesto por frutos almacenados a 18°C en empaques de polietileno (PE) en presencia de permanganato de potasio presentó menor acidez (**Figura 2-5: Efecto del empaque y la temperatura durante el almacenamiento con la utilización de un absorbedor de etileno compuesto por**

vermiculita y permanganato de potasio sobre la acidez total titulable de frutos de tomate. Figura 2-5).

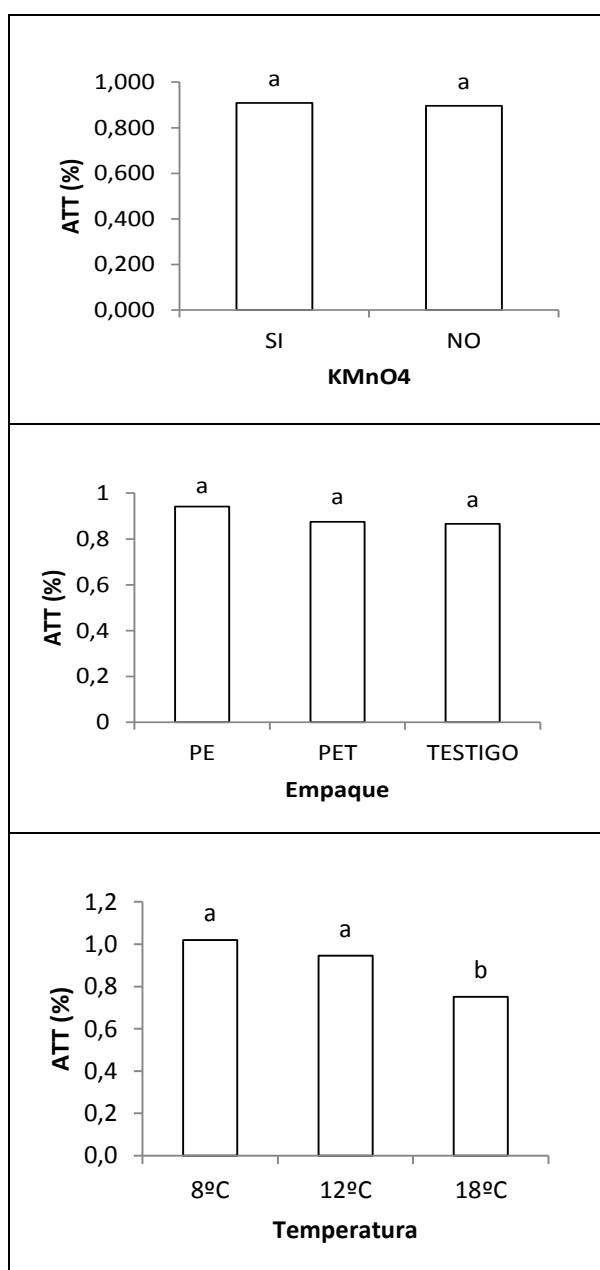
Figura 2-5: Efecto del empaque y la temperatura durante el almacenamiento con la utilización de un absorbedor de etileno compuesto por vermiculita y permanganato de potasio sobre la acidez total titulable de frutos de tomate. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).



8, 12 y 16 corresponden a las temperaturas en grados Celsius, PE: polietileno, PET: polietileno tereftalato, PK: permanganato de potasio, SPK: sin permanganato de potasio.

No se presentaron diferencias estadísticas en los factores permanganato de potasio y empaque. Sin embargo el factor temperatura presentó diferencias estadísticas ($P \leq 0,01$) donde los frutos almacenados a 18°C presentaron menor acidez (figura 2-6).

Figura 2-6: Efecto de los factores permanganato de potasio (KMnO_4), empaque y temperatura sobre la acidez total titulable en frutos de tomate. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%)



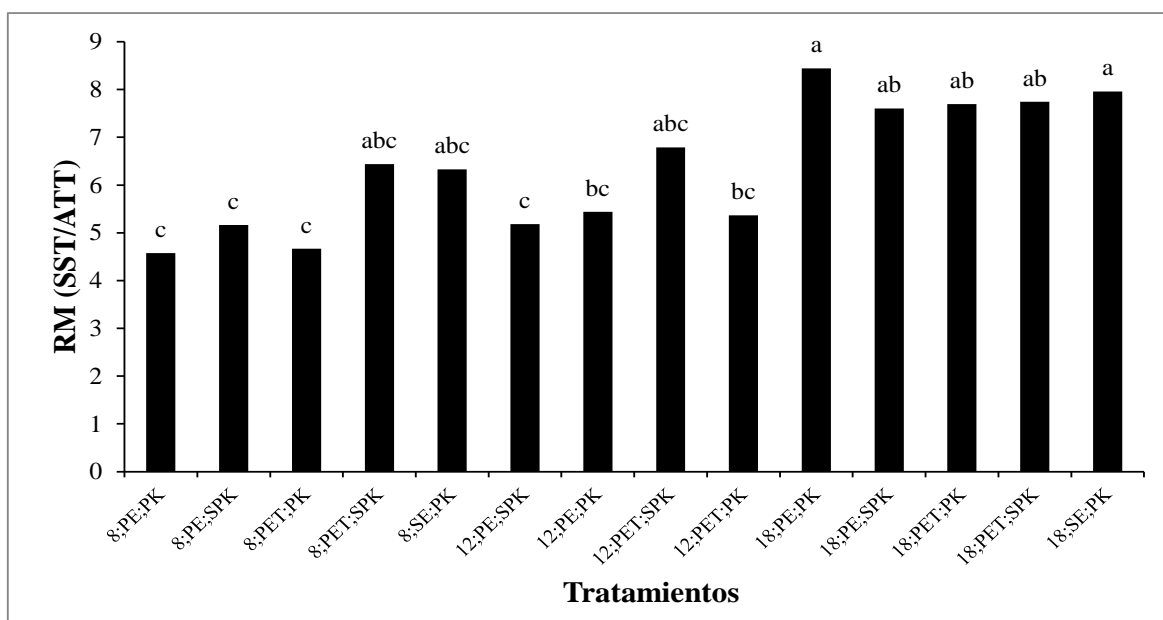
Los ácidos orgánicos son sustratos importantes para la respiración del fruto, varios de estos ácidos son componentes esenciales en el ciclo respiratorio de los ácidos

tricarboxílicos (Kays, 2004), por lo cual, se esperaría que la ATT disminuyera durante la poscosecha de los frutos de tomate por la actividad metabólica que se desarrolla en la maduración (Heredia *et al.*, 1997), de tal forma que los ácidos orgánicos pueden ser considerados una fuente de energía, pues son después de los carbohidratos, el depósito energético más importante para el fruto (Osterloh *et al.*, 1996), lo cual se evidenció en los resultados obtenidos durante el almacenamiento de los frutos a 18°C. Debido a que las bajas temperaturas retardaron el proceso de maduración en los frutos al disminuir la producción de etileno (Alía, 2000), se evidenció también que a 8°C y 12°C el contenido de ATT es menor con respecto a los frutos testigo. Resultados similares se encontraron en chile manzano, donde el almacenamiento a bajas temperaturas prologó la vida útil presentando mayores valores de acidez (Espinosa *et al.*, 2010)

2.7.5 Relación de madurez

Las mediciones registradas para la variable relación de madurez en los tratamientos, que relaciona los sólidos solubles totales y la acidez total titulable, presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0,01$), donde el tratamiento compuesto por frutos almacenados a 8°C en empaques de polietileno con permanganato de potasio presentó el menor valor de relación de madurez; contrario al tratamiento compuesto por frutos almacenados a 18°C en empaques de polietileno en presencia de permanganato de potasio (figura 2-7).

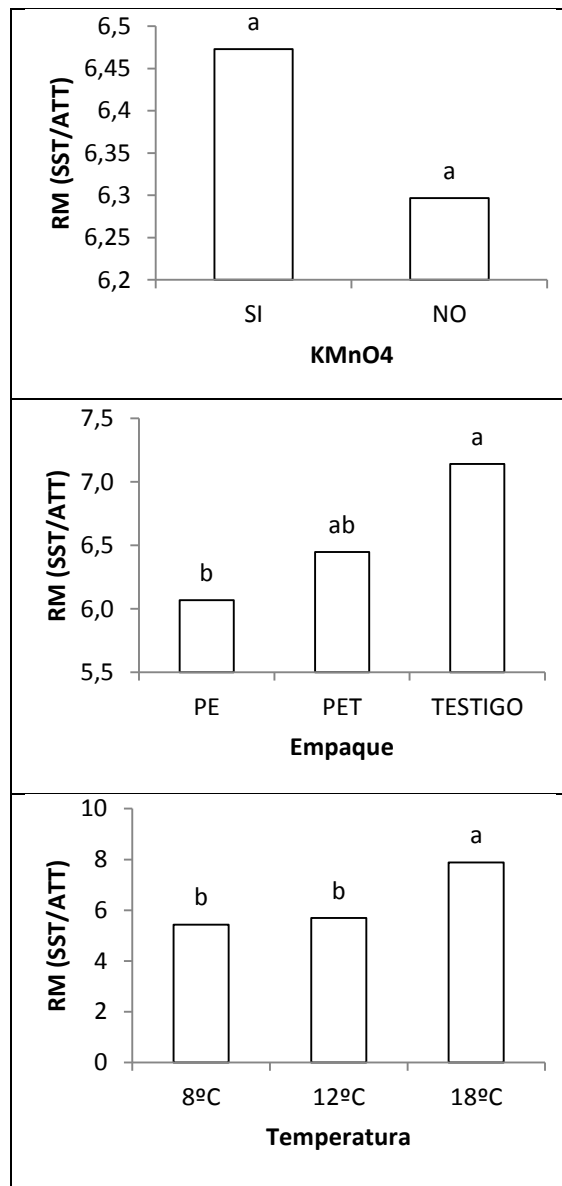
Figura 2-7: Efecto del empaque y la temperatura durante el almacenamiento con la utilización de un absorbedor de etileno compuesto por vermiculita y permanganato de potasio sobre la relación de madurez de frutos de tomate. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).



8, 12 y 16 corresponden a las temperaturas en grados Celsius, PE: polietileno, PET: polietileno tereftalato, PK: permanganato de potasio, SPK: sin permanganato de potasio.

Al evaluar el factor permanganato de potasio no se observaron diferencias significativas, sin embargo en el factor empaque se observaron diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$), donde, los frutos almacenados en empaques de polietileno (PE) presentaron menor valor de relación de madurez con respecto al testigo y al evaluar el factor temperatura se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,01$), donde los frutos almacenados a 18°C presentaron la mayor relación de madurez (figura 2-8).

Figura 2-8: Efecto de los factores permanganato de potasio (KMnO_4), empaque y temperatura sobre la relación de madurez en frutos de tomate. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).



En frutos climatéricos tales como el tomate, el proceso de maduración se ve afectada por la tasa de producción de etileno, lo que causa cambios en el contenido de azúcar de la fruta y el metabolismo de ácidos orgánicos durante el proceso de maduración (Carrari y

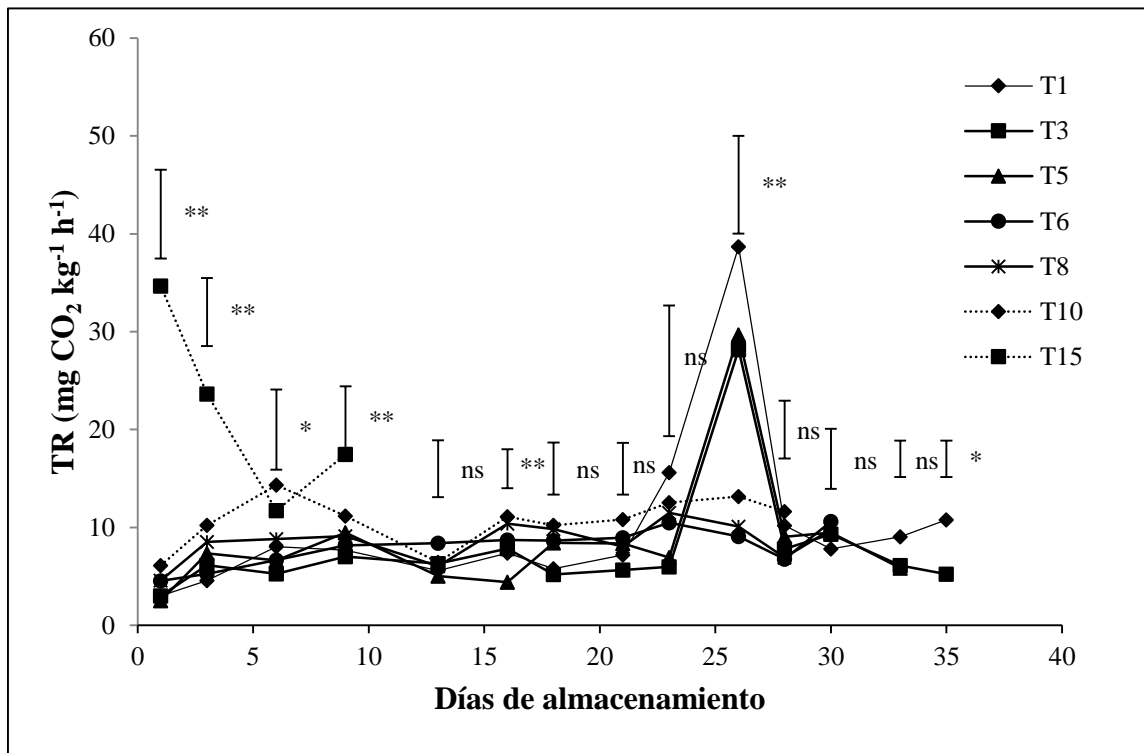
Fernie, 2006; Alexander y Grierson, 2002), tal como se evidencia en los frutos almacenados a 18°C, los cuales presentaron el mayor valor de relación de madurez indicando que los frutos alcanzaron la madurez más rápidamente que los almacenados a 8°C y a 12°C, debido a la acción de la temperatura.

La disminución en el nivel de acidez se ha asociado con la pérdida de calidad del tomate durante el almacenamiento poscosecha y, junto con el contenido de sólidos solubles, pueden influir en la aceptabilidad de los consumidores (Guillén *et al.*, 2006; Zapata *et al.*, 2008).

2.7.6 Respiración

Al evaluar la tasa respiratoria se encontró diferencias significativas ($P \leq 0,05$) al final del almacenamiento (35 días), donde el tratamiento compuesto por frutos almacenados a 8°C, en empaques PET en presencia de $KMnO_4$ presentó la menor tasa respiratoria. El tratamiento compuesto de frutos almacenados a 8°C en empaques de PE en presencia de $KMnO_4$ mostró el mayor pico climatérico a los 26 días de almacenamiento, donde se presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0,01$) con respecto a los tratamientos restantes (Figura 2-9). Al inicio del almacenamiento, los frutos testigo presentaron altas tasas respiratorias, lo cual está relacionado con una menor vida poscosecha.

Figura 2-9: Efecto del empaque y la temperatura durante el almacenamiento con la utilización de un absorbedor de etileno compuesto por vermiculita y permanganato de potasio sobre la tasa de respiración de frutos de tomate.



T1: temperatura 8°C en empaques PE con KMnO_4 , T3: temperatura 8°C en empaques PET con KMnO_4 , T5: temperatura 8°C sin empaque sin KMnO_4 , T6: temperatura 12°C en empaques PE con KMnO_4 , T8: temperatura 12°C en empaques PET con KMnO_4 , T10: temperatura 12°C sin empaque sin KMnO_4 , T15: temperatura 18°C sin empaque sin KMnO_4 .

Los resultados encontrados se deben posiblemente a que de acuerdo con Sammi y Masud (2008), el KMnO_4 al oxidar el etileno produce CO_2 y H_2O , lo cual genera al interior de los empaques una atmósfera modificada con altas concentraciones de CO_2 y de humedad que reduce la transpiración y la respiración. Además, la temperatura es el

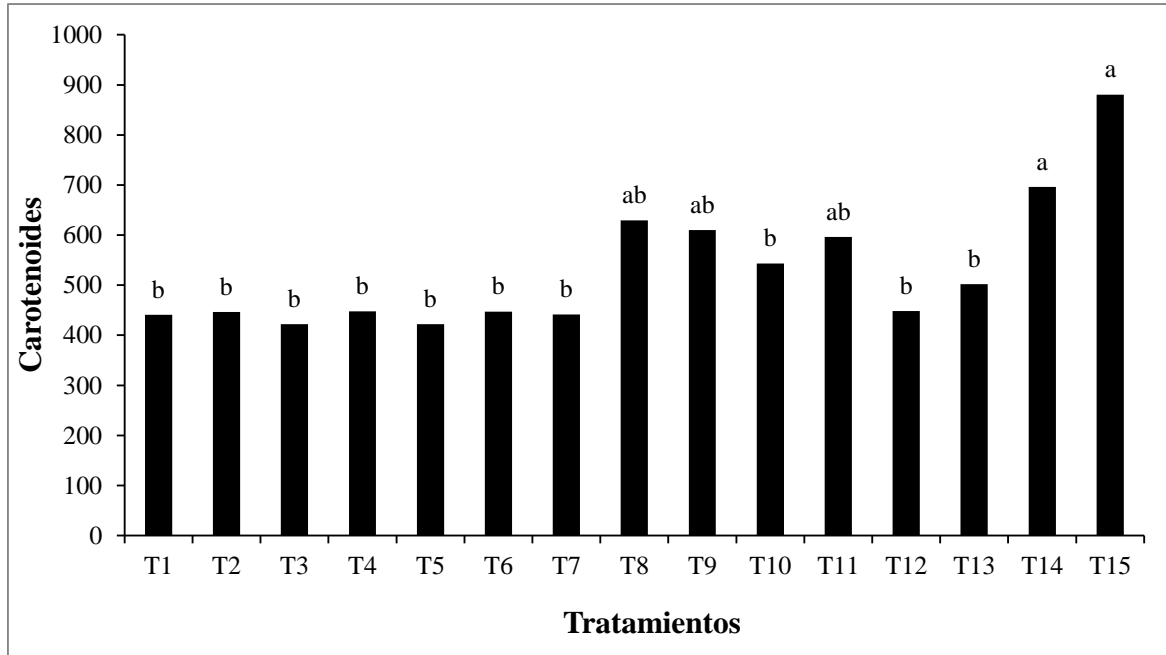
factor externo más importante que afecta la respiración y es el más usado para disminuir la intensidad respiratoria y poder aumentar la vida útil del producto (Villamizar, 1991).

Con la disminución del etileno por parte del KMnO_4 (Wills y Warton, 2004) y las bajas temperaturas, es posible que todos los efectos que produce esta hormona durante la maduración y senescencia de los frutos se vean disminuidos, pues se elimina el etileno de la atmosfera circundante que se encarga de incrementar la maduración de los productos agrícolas y la producción autocatalítica de más etileno, del mismo modo, la oxidación incrementa la concentración de CO_2 , compuesto que al parecer bloquea la síntesis de etileno endógeno (Mehta *et al.*, 1987). Al respecto Pangaribuan (2009), reporta que el KMnO_4 disminuye considerablemente la tasa respiratoria y la producción de etileno en frutos de tomate, así como también puede alargar el periodo pre-climatérico (Resende *et al.*, 2001).

2.7.7 Carotenoides

Al realizar la evaluación del contenido de carotenoides entre los tratamientos se presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0,01$), donde el tratamiento testigo (T15) mostró mayor contenido de carotenoides (Figura 2-10)

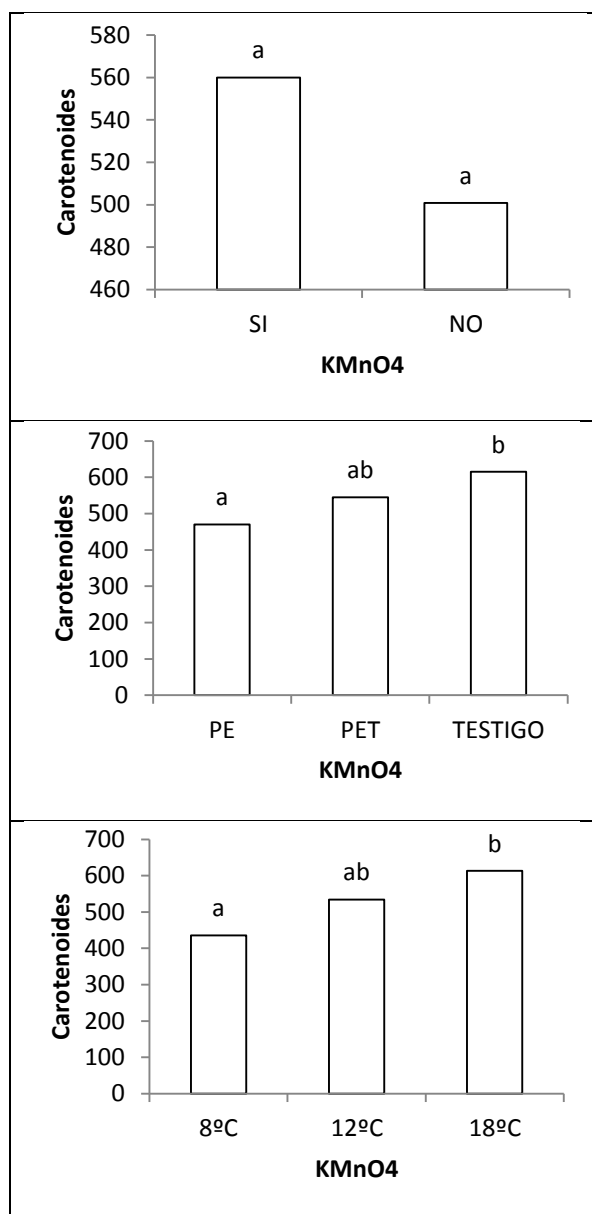
Figura 2-10: Efecto del empaque y la temperatura durante el almacenamiento con la utilización de un absorbedor de etileno compuesto por vermiculita y permanganato de potasio sobre el contenido de carotenoides de frutos de tomate. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).



T1: temperatura 8°C en empaques PE con KMnO_4 , T2: temperatura 8°C en empaques PE sin KMnO_4 , T3: temperatura 8°C en empaques PET con KMnO_4 , T4: temperatura 8°C en empaques PET sin KMnO_4 , T5: temperatura 8°C sin empaque sin KMnO_4 , T6: temperatura 12°C en empaques PE con KMnO_4 , T7: temperatura 12°C en empaques PE con KMnO_4 , T8: temperatura 12°C en empaques PET con KMnO_4 , T9: temperatura 12°C en empaques PET con KMnO_4 , T10: temperatura 12°C sin empaque sin KMnO_4 , T11: temperatura 18°C en empaques PE con KMnO_4 , T12: temperatura 18°C en empaques PE sin KMnO_4 , T13: temperatura 18°C en empaques PET con KMnO_4 , T14: temperatura 18°C en empaques PET sin KMnO_4 , T15: temperatura 18°C sin empaque sin KMnO_4 .

Al realizar la evaluación de los factores, no se encontraron diferencias estadísticas en el factor KMnO_4 , pero sí se presentaron diferencias significativas en los factores empaque y temperatura ($P \leq 0,01$), donde los frutos testigo presentaron mayor contenido de carotenoides (Figura 2-11)

Figura 2-11: Efecto de los factores permanganato de potasio (KMnO_4), empaque y temperatura sobre la relación de madurez en frutos de tomate. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas según la prueba de Tukey (5%).



Los carotenoides son responsables del color de los tomates. En las fases tempranas de desarrollo, la clorofila imparte un color verde y cuando el tomate marca con asterisco el

proceso maduración, la clorofila se degrada y los carotenoides son sintetizados (Aguilar *et al.*, 2005).

La conversión de cloroplastos a cromoplastos y la degradación asociada a la clorofila y a la acumulación de carotenoides, son las principales características de la transición de la maduración del tomate y son irreversibles. El principal regulador enzimático del flujo en la vía de carotenoides, fitoeno sintasa (PSY), está bajo un fuerte control del etileno durante la maduración, lo que indica una relación entre el desarrollo de los cromoplastos y la hormona principal de la maduración (Alquézar, 2007), tal como lo muestran los resultados obtenidos con los frutos almacenados a 18°C.

El almacenamiento a 8°C y 12°C en empaques PE y PET, al crear una atmosfera modificada, disminuye la producción de etileno, por lo cual la acumulación de carotenoides en el fruto es menor, lo que indica un retardo en la madurez del tomate.

3. Conclusiones

Al evaluar el efecto de absorbedores de etileno compuestos por mezclas de vermiculita y permanganato de potasio como retardantes de madurez de frutos de tomate chonto (*Solanum lycopersicum* L), se obtuvo que con dosis de 1% de vermiculita y 1,5% de permanganato de potasio se reduce la maduración y la senescencia de los frutos, pues al final del almacenamiento (29 días), dichos frutos presentaron la mayor firmeza, mayor retención del color verde expresado en el índice de color y acidez total titulable, menor valor de sólidos solubles totales, pérdida de peso y relación de madurez, haciendo de este absorbedor una buena opción para mantener la calidad poscosecha de los frutos de tomate por mayor tiempo.

Los empaques empleados en el presente estudio no presentaron diferencias estadísticas sobre las variables evaluadas en la calidad poscosecha de los frutos de tomate chonto y el almacenamiento a bajas temperaturas prolongó su vida de anaquel. La temperatura de almacenamiento a 8°C y 12°C prolongó la calidad de los frutos, al mantener la mayor firmeza y acidez total titulable, menor valor de sólidos solubles totales, relación de madurez y contenido de carotenoides, aunque a 8°C se evidenció daño por frío lo que indica que la temperatura de 12°C es la recomendada para el almacenamiento de los frutos junto con el KMnO_4 y así tener una alternativa más de comercialización de los frutos de tomate chonto.

Bibliografía

- Agronet. (2012). Área Cosechada, Producción y Rendimiento de Tomate. Recuperado el Enero de 2014 de <http://www.agronet.gov.co/>
- Alam, M., Rahman, M., Mamun, M., Ahmad, I., & Islam, K. (2006). Enzyme activities in relation to sugar accumulation in tomato. *Proc. Pak. Acad. Sci*, 241-248.
- Alba, R., Payton, P., Fei, Z., McQuinn, R., & Debbie, P. (2005). Transcriptome and selected metabolite analyses reveal multiple points of ethylene control during tomato fruit development. *Plant Cell*, 17, 2954-2965.
- Alexander, L., & Grierson, D. (2002). Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. *Journal of Experimental Botany*, 2039-2055.
- Alía, T. (2000). Temperaturas de almacenamiento y maduración en frutos de mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. More & Stearn). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 73-77.
- Alia-Tejacal, I., Villanueva-Arce, R., Pelayo-Zaldívar, C., Colinas-Léon, M., López-Martínez, V., & Bautista-Baños, S. (2007). Postharvest physiology and technology of sapote mamey fruit (*Pouteria sapota* (jacq.) H.E. Moore & Stearn). *Postharvest Biology and Technology*, 285-297.
- Almeida, R., Resende, E., Vitorazi, L., Carlos, L., Pinto, L., & Sila, H. (2005). Chilling injury in papaya fruits (*Carica papaya* L.) cv. 'Golden'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 17-10.
- Alquézar, B. (2007). Caracterización bioquímica y molecular de la carotenogénesis en frutos cítricos. *Tesis de Doctorado presentada en la universidad de Valencia*.
- Amarante, C., Steffens, C. (2009). O tratamento pré-colheita com AVG, aliado à absorção de etileno durante o armazenamento refrigerado, preserva a qualidade de maçãs 'Gala'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 334-342.

- Apri, m., Kromdijk, j., Visser, p., De gee, m., & Molenaar, J. (2014). Modelling cell division and endoreduplication in tomato fruit pericarp. *Journal of Theoretical Biology* , 32-43.
- Assis J. y M. Steineker. (2003). Qualidade do mamão Solo cv. Golden transportado sob atmosfera controlada em contêiner Rolf. In: MARTINS, D. dos S. (Ed). *Papaya Brasil: qualidade do mamão para o mercado interno*. Vitória: Incaper, 2003. 659-662p.
- Awad, M. (1993). Fisiología pós-colheita de frutos. São Paulo:Nobel , 114.
- Bal, E., & Celik, S. (2010). The effects of postharvest treatments of salicylic acid and potassium permanganate on the storage of kiwifruit. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 576-584.
- Ball, J. (1997). Evaluation of two lipid-based edible coatings for their ability to preserve post harvest quality of green ball peppers. *M.Sc. thesis*, 89.
- Batu, A. (1998). Some factors affecting on determination and measurement of tomato firmness. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 411-418.
- Berlardinelli, F. (2011). Vermicula Intersum. Recuperado el 15 de Octubre de 2011, de Vermicula : Mineral absorbente: <http://www.vermiculitaintersum.com.ar.html>
- Bergougnoux, V. (2013). The history of tomato: From domestication to biopharming. *Elsevier*, 171-186.
- Bertin, N., Guichard, S., Leonardi, C., Longuenesse, J.J., Langlois, D., Navez, B., (2000). Seasonal evolution of the quality of fresh glasshouse tomatoes under Mediterranean conditions, as affected by air vapour pressure deficit and plant fruit load. *Ann. Bot.* 85, 741–750p.
- Bhutia, W., Pal, R., Sen, S., & Jha, S. (2011). Response of different maturity stages of sapota (*Manilkara achras* Mill.) cv. Kallipati to in-package ethylene absorbent. *J. Food Sci. Technol*, 763-768.
- Brackmann, A., Giehl, R., Freitas, S., Eisermann, A., & Mello, A. (2006). Uso de filmes de polietileno e absorção de etileno para o transporte refrigerado de maçã 'Gala'. *Ciências Agrárias*, 423-428.
- Brody, A., Strupinsky, E., & Kline, L. (2002). *Active packaging for food applications*. London: CRC Press.

- Campos, J., Hasegawa, P., Purgatto, E., Lajolo, F., & Cordenunsi, B. (2007). Qualidade póscolheita de nêsperas submetidas ao armazenamento sob baixa temperatura e atmosfera modificada. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 401-407.
- Cantwell, M., Stoddard, S., LeStrange, M., & Aegerter, B. (2007). Report to the California tomato commission. Tomato variety trials: postharvest evaluations for 2006. *UCCE Fresh Market Tomato Variety Trial 2006 Postharvest Evaluation*, 16.
- Carrari, F., & Fernie, A. (2006). Metabolic regulation underlying tomato fruit development and response to environmental stress. *Trends Plant Sci*, 419–426.
- Casierra-Posada, F., & Aguilar-Avenidaño, Ó. (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agron. colomb*, 300-307.
- Castro, J., Pfaffenbach, L., Carvalho, C., & Rossetto, C. J. (2003). Efecto del empaque plástico sobre la vida de anaquel del mango keitt. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 33-37.
- Cenci, S, A. Soares, M. Souza y M. Moura. (1999). Efecto de la aplicación de absorbedor de etileno KMnO4 en las características de calidad y conservación de la papaya cv. 'Sunrise Solo'. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha*, v.1. 150- 155p.
- Ceretta, M.; Antunes, P. L.; Brackmann, A.; Nakasu, B. H. (2000). Conservação em atmosfera controlada de pêssego Eldorado. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 30, n. 1. 73-79p.
- Chauhan, O., Raju, P., Dasgupta, D., & Bawa, A. (2006). Modified atmosphere packaging of banana (cv. Pachbale) with ethylene, carbon dioxide and moisture scrubbers and effect on its ripening behaviour., Vails Gate. *American Journal of Food Technology*, 179-189.
- Chaves, M.A.; Bonomo, R.C.F.; Silva, A.A.L.; Santos, L.S.; Carvalho, B.M.A.; Souza, T.S.; Gomes, G.M.S.; Soares, R.D. (2007). Uso de permanganato de potasio en la preservación postcosecha de frutas de chirimoya. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, v.5. 346-351p.
- Cheema, A., Padmanabhan, P., Subramanian, J., Blom, T., & Paliyath, G. (2014). Improving quality of greenhouse tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by pre- and postharvest applications of hexanal-containing formulations. *Postharvest Biol. Technol*, 13-19.
- Chitarra, M., & Chitarra, A. (2005). Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. *Lavras: ESAL-FAEPE*, 785.

- Choudhury, S., Roy, S., & Sengupta., D. (2009). A comparative study of cultivar differences in sucrose phosphate synthase gene expression and sucrose formation during banana fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 15-24.
- Corpas, E., & Tapasco, O. (2014). Hallazgos de la biosíntesis del etileno en frutas climatéricas y de los factores que afectan la ruta metabólica . *Alimentos Hoy*, 46-63.
- Corrêa S, M. Souza, T. Pereira, G. Alves, Oliveira, J, M. Silva y H. Vargas. (2005). Determinação da difusibilidade térmica na polpa do mamão (*Carica papaya* L.) genótipo 'Golden'. In: MARTINS, D. dos S. (Ed.). Papaya Brasil: mercado e inovações tecnológicas para o mamão. Vitória: Incaper. 561-563p.
- Dash, S. K., Kulkarni, M., Mohanty, U. C., & Prasad, K. (2009). Changes in the characteristics of rain events in India. *J. Geophys. Res*, 1984-2012.
- Esguerra, E. B., & Pantastico, E. B. (1978). Regulation of fruit ripening. II. Use of perlite-KMnO₄ as an ethylene absorbent. *J Sci* 107 , 23-31.
- Espinosa, L., Pérez, M., Martínez, M., Castro, R., & Barrios, G. (2010). Efecto de empaques y temperaturas en el almacenamiento de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz y Pavón). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 115-121.
- Finagro. (2011). Tomate. Recuperado el Noviembre de 2011, de http://www.finagro.com.co/html/i_portals/index.php?p_origin=internal&p_name=content&p_id=MI-256&p_options=
- Forsyth, F., Eaves, C., & C.L, L. (1967). Controlling ethylene levels in the atmosphere of small containers of apples. *Canadian Journal of plant Sci* , 717-718.
- Fraser, P. D., Truesdale, M., Bird, C., Schuch, W., & P., B. (1994). Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development (Evidence for tissue-specific gene expression). *Journal of Plant Physiology*, 405-413.
- Fu, Y. L., Shao, L., & Liu, h. (2011). Ethylene removal efficiency and bacterial community diversity of natural zeolite biofilter. *Bioresourse Technology* , 576-584.
- García, J., Balaguera, H., & Herrera, A. (2012). Conservación del fruto de banano bocadillo (*Musa AA Simmonds*) con la aplicación de permanganato de potasio (KMnO₄). *rev.colomb.cienc.hortic*, 161-171.
- González, C., Salas, S., Urrestarazu, G. (2004). Producción y calidad en el cultivo de tomate cherry. En: Tratado de cultivo sin suelo. Urrestarazu, G. (coord) 3ª Edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 703-748 p.

- Grierson, D., & Kader, A. (1986). Fruit ripening and quality. En J. Atherton, & J. Rudich, *The Tomato Crop* (págs. 241-280). London: Chapman and Hall .
- Guerra, M., & Casquero, A. (2005). Evolución de la Madurez de Variedades de Manzana y Pera en Almacenamiento Frigorífico Conjunto con Absorbedor de Etileno. *Información Tecnológica* , 16, 11-16.
- Guillén, F., Castillo, S., Zapata, P., Martínez-Romero, D., Serrano, M., & Valero, D. (2006). Efficacy of 1-MCP treatment in tomato fruit. 2. Effect of cultivar and ripening stage at harvest. *Postharvest Boil. Tec.*, 235-242.
- Guo, Q., LV, X., XU, F., WANG, J., LIN, H., & WU, B. (2013). Chlorine dioxide treatment decreases respiration and ethylene synthesis in fresh-cut 'Hami' melon fruit. *Journal of Food Science and Technology*, 1775-1782.
- Guo, Q., WUB, B., PENG, X., WANG, J., LIA, Q., JINA, J., & HAA, Y. (2014). Effects of chlorine dioxide treatment on respiration rate and ethylene synthesis of postharvest tomato fruit. *Elsevier*, 9-14 .
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., & Maybeck, A. (2011). *Global food losses and food waste*. Obtenido de Food and Agriculture Organization of the United Nations: www.fao.org
- Gutiérrez, J. (1997). Efecto del uso del absorbente de etileno en el almacenamiento de banano bocadillo (*Musa acuminata*). *Trabajo de grado. Departamento de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.*
- Hamilton, A., Lycett, G., & Grierson, D. (1990). Antisense gene that inhibits synthesis of the hormone ethylene in transgenic plants. *Nature*, 284-287.
- Hardenberg, R., Watada, A., & Wang, C. (2004). The commercial storage of fruits, vegetables, and florist, and nursery stocks. *Agriculture Handbook* , 130.
- Heredia, J., Siller, J., Báez, M., Araiza, E., Portillo, T., García, R., & Mury, M. (1997). Cambios en la calidad y el contenido de carbohidratos en frutas tropicales y subtropicales a nivel de supermercado. *Soc. trop. Hort.*, 104-109.
- Hernández, M.S.; Martínez, O.; Fernández-Trujillo, J.P. (2007). Behavior of arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) fruit quality traits during growth, development and ripening. *Sci. Hort. (Holanda)*. 111:220-227p.
- Heuvelink, Ep. (2005). Tomatoes. Londres: CABI Publishing. p.339.
- Hirschberg, J. (2001). Carotenoid biosynthesis in flowering plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 4, 210-218.

- Hyang, L., Ho, B., Sang, B., & Seung, K. (2009). Regulation of ethylene biosynthesis by nitric oxide in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit harvested at different ripening stages. *Eur. Food Res. Technol*, 331–338.
- Illeperuma, C., & Jayasuriya, P. (2002). Prolonged storage of 'Karuthacolomban' mango by modified atmosphere packaging at low temperature. *J. Hort. Sci. Biotechnol*, 153-157.
- Imsabai, W., Ketsa, S., & Van Doorn, W. (2006). Physiological and biochemical changes during banana ripening and finger drop. *Postharvest Biology and Technology*, 211–216.
- Javanmardi, J., & Kubota, C. (2006). Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 151-155.
- Jeronimo, E. M., & Kaneshiro, M. (2000). Efeito da associação de armazenamento sob refrigeração e atmosfera modificada na qualidade de mangas Palmer. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 22 (2), 237-243.
- Jiménez-Bermúdez, S. J., Redondo-Nevado, J., Muñoz-Blanco, J., Caballero, J., López-Aranda, V., Valpuesta, F., . . . Mercado. (2002). Manipulation of Strawberry Fruit Softening by Antisense Expression of a Pectate Lyase Gene. *Plant Physiology*, 751–759.
- Kader, A. (2002). Quality and safety factors: definition and evaluation for fresh horticultural crops. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, 279-286.
- Kader, A. A. (2003). A Perspective on Postharvest Horticulture. *Hortscience*, 1004-1008.
- Kader, A. A. 2002. Postharvest technology of horticultural crops, University of California (System). Division of Agriculture and Natural Resources. Tercera edición, ANR Publications, 535 pág
- Kader, A., Zagory, D., & Kerbel, E. (1989). Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical reviews in Food Science and Nutrition*, 1-30.
- Kays, S. (2004). Postharvest biology. Exon Press. Athens, Georgia. 568
- Kehr, E. (2002). Susceptibilidad a daño por enfriamiento en postcosecha de pimiento y tratamientos para disminuir su efecto. *Revista Agricultura Técnica*, 509-518.

- Kim, G., & Wills, R. (1998). Interaction of enhanced carbon dioxide and reduced ethylene on the storage life of strawberries. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 181-184.
- Kondo, S., Seta, S., Rudell, D., Buchanan, D., & Mattheis, J. (2005). Aroma volatile biosynthesis in apples affected by 1-MCP and methyl jasmonate. *Postharvest Biol. Technol.*, 61-68.
- Ileperuma, C., & C, N. (2002). Extension of the postharvest life of 'Pollock' avocado using modified atmosphere packaging. *Fruits*, 287-295.
- Lewinsohn E., Sitrit Y., Bar E., Azulay Y., Ibdah M., Meir A., Yosef E., Zamir D. y Y.Tadmor. (2005). Not just colors-carotenoid degradation as a link between pigmentation and aroma in tomato and watermelon fruit, en: *Food Science & Technology*. Vol.16. 407-415p.
- Lima C., E. de Oliveira, D. Terao y A. Oster. (2008). Efeito do KMnO₄ e 1-MCP com atmosfera modificada na conservação pós-colheita de melão Cantaloupe. *Rev. Ciên. Agron., Fortaleza*, v. 39, n. 01. 60-69p.
- Liu, F. (1970). Storage of bananas in polyethylene bags with ethylene absorbent. *HortScience*, 25-27.
- López Camelo, A, P. Gómez y J. Cacace. (1996). Modelo para describir los cambios de color del tomate (cv. Tommy) durante la postcosecha. In: XVIII Congreso Argentino De Horticultura, 1996, Termas de Río Hondo, Actas...Termas de Río Hondo. 212p.
- López, J., Valverde, F., MEJÍA, S., López, G., & Vega, M. (2011). Efecto del almacenamiento en atmósfera controlada sobre la calidad poscosecha y Nutricional del tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 115-128.
- Lurie, S., & Paliyath, G. (2008). Enhancing postharvest shelf life and quality in horticultural commodities using 1-MCP technology. En g. Paliyath, d. Murr, a. Handa, & s. Lurie, *Postharvest Biology and Technology of Fruit, Vegetables, and Flowers* (págs. 139-61). USA: Wiley-Blackwell.
- Macrae, R., Robinson, R., & Sadler, M. (1993). *Encyclopaedia of Food Science, Food Technology and Nutrition*, Academic Press. Londres.
- Marín, M., Orchard, J., & Seymour, G. (2002). Pectate lyases, cell wall degradation and fruit softening. *Journal of Experimental Botany*, 2115-2119.
- Martins, L., Silva, S., Alves, R., & Figueiras, H. (2003). Fisiologia do dano pelo frio em ciriguela (*Spondias purpurea* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 23-26.
- Marques E, M. Brunini, M. Arruda, J. Sodário, I. Fischer y G. Castro. (2007). Conservação pós-colheita de mangas 'Tommy Atkins' armazenadas sob-atmosfera modificada. *Ciências Agrárias, Londrina*, v. 28, n. 3. 417 - 426p.

- Morais P, M. Miranda, L. Lima, J. Alves, R. Alves and J. Silva. (2008). Cell wall biochemistry of sapodilla (*Manilkara zapota*) submitted to 1-methylcyclopropene, *Braz. J. Plant Physiol.* 20(2): 85-94p.
- Mehta, A., Jordan, R., Mattoo, A., Sloger, M., & Anderson, J. (1987). ACC synthase from tomato fruit, identification, general occurrence and developmental regulation using monoclonal antibodies. . *Plant Physiol*, 114.
- Morais, P., Miranda, M. R., Lima, L. C., Alves, J., & E., R. (2008). Cell wall biochemistry of sapodilla (*Manilkara zapota*) submitted to 1-methylcyclopropene. *Braz. J. Plant Physiol*, 85-94.
- Nakatsuka, A., Murachi, S., Okunishi, H., Shiomi, S., Nakano, R., Kubo, Y., & Inaba, A. (1998). Differential expression and internal feedback regulation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase, 1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase, and ethylene receptor genes in tomato fruit during development and ripening. *Plant Physiol*, 1295-1305.
- Nava, G. (2001). Efeito da atmosfera controlada, eliminação do etileno da câmara e do pré-resfriamento sobre a qualidade de pêssegos, cv. Chiripá. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- Nishiyama, I., Yamashita, Y., Yamanaka, M., Shimohashi, A., Fukuda, T., & Oota, T. (2004). Varietal difference in vitamin C content in the fruit of kiwifruit and other *Actinidia* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 5472-5475.
- Nuez, F. (1995). *El cultivo del tomate*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Núñez, N., García, N., M.G., M., R., M., A., R., & D, H. (2005). Efecto sobre el Contenido de Licopeno de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Var.Gironda) Sembrado en Invernadero bajo Diferentes Sistemas de Cultivo con y sin Injerto. *VII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos y III Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 340-345.
- Ospina, S., & Cartagena, J. (2008). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista de Investigación* , 5 (2), 112-123
- Osterloh, A. G., Ebert, W., Held, H., Schulz, H., & Urban., E. (1996). Lagerung von Obst und Südfrüchten. *Verlag Ulmer, Stuttgart*, 253.
- Pangaribuan, D. (2009). The effect of ethylene in maintaining quality of tomatoes slices. *J.Teknologi Industri Pangan*, 51-56.

- Passam, H., Karapanos, I., Bebeli, P., & Savvas, D. (2007). A review of recent research on tomato nutrition, breeding and post-harvest technology with reference to fruit quality. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 1-21.
- Paul, V., Pandey, R., & Srivastava, G. (2010). Ripening of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Part I: 1-Methylcyclopropene mediated delay at higher storage temperature. *Journal of Food Science*, 519-526.
- Patdhanagul, N. T., & Rangsrwatananon., r. y. (2010). Ethylene adsorption on cationic surfactant modified zeolite NaY. *Microporous and Mesoporous Materials*, 97-102.
- Pereira, D., Chamhum, L., Lopes, D., Cecon, P., & Rocha, A. (2009). Potassium permanganate effects in postharvest conservation of the papaya cultivar Sunrise Golden. *Pesq. Agropec. Bras*, 669-675.
- Perez, K., Mercado, J., & Soto-Valdez, J. (2003). Effect of storage temperature on the shelf life of Hass avocado (*Persea americana*). *Food Sci. Tech. Int*, 73-77.
- Pinheiro, J., Alegria, C., Abreu, M., Gonçalves, E., & Silva, C. (2013). Kinetics of changes in the physical quality parameters of fresh tomato fruits (*Solanum lycopersicum*, cv. 'Zinac') during storage. *Journal of Food Engineering*, 338-345.
- Presidencia de la República. (03 de Abril de 2007). Presidencia de la república de colombia. Recuperado el 03 de 10 de 2011, de http://www.presidencia.gov.co/prensa_new/sne/2007/abril/03/01032007.htm
- Polenta, G., Lucangeli, C., Budde, C., González, C., & Murray, G. (2006). Heat and anaerobic treatments affected physiological and biochemical parameters in tomato fruits. *Food Science and Technology*, 27-34.
- Quintana, J., Cornejo, F., & Rigail, A. (2007). Análisis y Diseño de Empaques Flexibles para Alimentos. *Revista Tecnológica ESPOL*, 11-18.
- Ramirez, H., Encina, L., Benavidez, A., Robledo, V., Hernández, J., & Alonso, S. (2004). Influencia de la Temperatura sobre Procesos Fisiológicos en Postcosecha de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Agraria -Nueva Epoca*, 31-37.
- Ramírez, M., Sáenz, M. V., & Vargas, A. (2011). Efecto de la inmersión en agua caliente sobre la secreción de látex por la corona de gajos recién conformados de frutos de banano. *Agronomía Costarricense*, 1-14.
- Reina, C. E., Guzmán, J. C., & Sanchez, J. M. (1998). Manejo poscosecha y evaluación en la calidad del tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill) que se comercializa en la ciudad de neiva. 127.

- Resende, J., Vilas Boas, E. d., & Chitarra, M. (2001). Uso de atmosfera modificada na conservação pós-colheita do maracujá-amarelo. . *Ciênc. Agrotec*, 159-168.
- Reddy, N.S. y Haripriya, K. 2002. Extension of storage life of mango cvs. Bangalora and Neelum. *South Indian Hortic*. 50:7-18.
- Riquelme, F. (1995). Poscosecha. En: El cultivo de tomate. Nuez, F. (ed.) Edit. Mundi Prensa. Madrid, España. 793p
- Rocha, A. (2005). Uso de Permanganato de Potássio na concervação pós-colheita de banana "Prata". 78f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Rodríguez M, H. Arjona y J. Galvis. (2006). Maduración del fruto de feijoa (*Acca sellowiana* Berg) en los clones 41 (Quimba) y 8 - 4 a temperatura ambiente en condiciones de Bogotá. *Agron. Colomb*. 24(1):68-76p.
- Salamanca, F., Balaguera-López, H., & Herrera, A. (2014). Efecto del Permanganato de Potasio sobre Algunas Características Poscosecha de Frutos de Tomate 'Chonto' (*Solanum lycopersicum* L.). *Postharvest and Quality Management of Horticultural*, 171-176.
- Sammi, S., & Masud , T. (2007). Effect of Different Packaging Systems on Storage Life and Quality of Tomato (*Lycopersicon esculentum* var. Rio Grande) during Different Ripening Stages. *Internet Journal of Food Safety*, 37-44.
- Sammi, S., & Masud., T. (2008). Effect of Different Packaging Systems on Storage Life and Quality of Tomato (*Lycopersicon esculentum* var. Rio Grande) during Different Ripening Stages. *Internet Journal of Food Safety*, 37-44.
- San Martín, C., Ordaz, V., Sánchez, P., Beryl, M., & Borges, L. (2012). calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Producido en hidroponia con diferentes granulometrías de tezontle. *Revista Agrociencia*, 243-254.
- Scott, K., & Chaplin, G. (1978). Reduction of chilling injury in avocados stored in sealed polythene bags. *Tropical Agriculture* , 87-90.
- Serek, M., E.J. Woltering, E.C. Sisler, S. Frello, S. Sriskandarajah. (2006). Controlling ethylene responses in flowers at the receptor level, *Biotechnology Advances* 24,368–381.
- Silva, E. (1995). Efeito da embalagem plástica e da temperatura sobre a qualidade pos-colheita do mamão. Viçosa, MG: UFV. Mestrado em fitotecnia. Brasil. 65p.

- Stoeckinger, A. (2004). Zeolite packed biologically active filter (biofilter) to reduce odorous emissions from a confined swine building. Oregon State University .
- Shackel, K. G., Labavitch, J., & Ahmadi, H. (1991). Cell turgor changes associated with ripening in tomato pericarp tissue. *Plant Physiol*, 814–816 .
- Shin, Y., Ryu, J., Liu, R., Nock, J., & Watkins, C. (2008). Harvest maturity, storage temperature and relative humidity affect fruit quality, antioxidant contents and activity, and inhibition of cell proliferation of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 201-209.
- Smith, J., Ramaswamy, H., Vijaya, G., & Ranganna, B. (2003). Packaging of fruits and vegetables. pp 539-546. . En A. A. Chakraverty, *Handbook of postharvest technology. Primera edición* (pág. 907). New York: Marcel Dekker Inc.
- Soto, G., Yahia, E., Brecht, J., & Gardea, A. (2005). Effects of postharvest hot air treatments on the quality and antioxidant levels in tomato fruit. *Food Science and Technology*, 657-663.
- Suslow, T., & Cantwell, M. (2009). Tomato – Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. *Postharvest Technology Research Information Center*.
- Suslow, T. V., y Cantwell, M. (2010). Tomate (Jitomate): Recomendaciones para Mantener la Calidad Postcosecha. Recuperado el 02 de Septiembre de 2011, de Department of Vegetable Crops, University of California: http://postharvest.ucdavis.edu/Hortalizas/Tomate__Jitomate/#
- Taiz, L. y E. Zeiger. (2006). *Plant physiology*, 4a ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Thompson, A. (2010). *Controlled Atmosphere Storage of Fruits & Vegetables*. CAB International Preston UK , 272p.
- Téllez, C., Fischer, G., & Quintero, O. (2007). Comportamiento fisiológico y fisicoquímico de frutos de curuba (*Passiflora mollissima* Bailey) encerados y almacenados a dos temperaturas. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic*, 67-80.
- Tiwari, K., & Paliyath, G. (2011). Microarray analysis of ripening-regulated geneexpression and its modulation by 1-MCP and hexanal. *Plant Physiol. Biochem*, 329-340.
- Trevor, S., & Cantwell, M. (2000). Indicadores básicos del manejo postcosecha de tomate. *Department of Vegetable Crops, University of California, Davis, California*, 1-5.
- United States Department of Agriculture. (Octubre de 1991). United States Standards for Grades of fresh tomatoes. USA.

- Véles, L., Soto, H., Gavara, R., & Catalá, R. (2007). Efectividad de absorbedores de etileno en la conservación de platanos envasados. V Congreso Iberoamericano de Tecnología postcosecha y agroexportaciones. España.
- Vidal T. C., & Steffens, C. A. (2009). Sachês Absorvedores De Etileno Na Pós-Colheita De Maçãs 'Royal Gala. *Revista Brasileira de Fruticultura* , 71-77.
- Villamizar, F. (1991). Comportamiento fisiológico de la curuba almacenada a 3 temperaturas (18°C, 10°C y 6°C) desde la cosecha hasta la senescencia. *Convenio Sena-Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.*, 11-17.
- Vu, T., Smout, C., Sila, D., LyNguyen, B., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2004). Effect of preheating on thermal degradation kinetics of carrot texture. *Innovative Food Science and Emerging Technology*, 37-44.
- Wills, R., & Warton, M. (2004). Efficacy of potassium permanganate impregnated into alumina beads to reduce atmospheric ethylene. *J. Amer. Soc. Hort. Sci*, 433-438.
- Xu, F., Yuan, S., Zhang, D., Lv, X., & Lin, H. (2012). The role of alternative oxidase in tomato fruit ripening and its regulatory interaction with ethylene. *Journal of Experimental Botany*, 5705-5716.
- Xu, F., Zhang, D., Wang, J., Zhang, Z., Wen, L., DU, J., . . . Lin, H. (2011). n-Propyl gallate is an inhibitor to tomato fruit ripening. *Journal of Food Biochemistry*, 657-666.
- Yahia, E. (1998). Modified and controlled atmospheres for tropical fruits. *Horticultural Reviews*, 123-183.
- Yahia, E., & Brecht, J. (2012). Tomatoes. *Science and Technology*.
- Zambrano, J., Moyeja, J., & Pacheco, L. (1995). Efecto del estado de madurez en la composición y calidad de frutos de tomate . *Agronomía Tropica*, 61-72.
- Zamorano, J. P., Dopico, B., & Lowe, A. (1994). Effect of low temperature storage and ethylene removal on ripening and gene expression changes in avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 331-342.
- Zapata, P., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Valero, D., & Serrano, M. (2008). Use of alginate or zein as edible coatings to delay postharvest ripening process and to maintain tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) quality. *J. Sci. Food Agric*, 1287-1293.

Zewter, A., Woldetsadik, k., & Workneh, T. (2012). Effect of 1-methylcyclopropene, potassium permanganate and packaging on quality of banana. *African Journal of Agricultural Research*, 2425-2437.