



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POSGRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

**COMPORTAMIENTO POSTCOSECHA DE PIMIENTO MORRÓN
AFECTADO POR EL ESTADO DE MADUREZ Y UNA
ATMÓSFERA MODIFICADA CON MICROPERFORADO**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

Presenta:

FRIDA BEATRIZ LÓPEZ GONZÁLEZ

Bajo la supervisión de: Salvador Valle Guadarrama, Dr. MEXICO



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Chapingo, Estado de México, diciembre de 2017

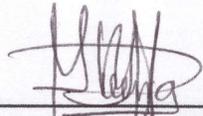
COMPORTAMIENTO POSTCOSECHA DE PIMIENTO MORRÓN AFECTADO
POR EL ESTADO DE MADUREZ Y UNA ATMÓSFERA MODIFICADA CON
MICROPERFORADO

Tesis realizada por **FRIDA BEATRIZ LÓPEZ GONZÁLEZ** bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial
para obtener el grado de:

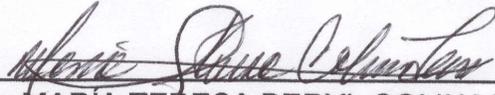
MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

DIRECTOR: 

DR. SALVADOR VALLE GUADARRAMA

ASESORA: 

DRA. DIANA GUERRA RAMÍREZ

ASESORA: 

DRA. MARÍA TERESA BERYL COLINAS LEÓN

ASESOR: 

DR. MARCELO ACOSTA RAMOS

CONTENIDO

1.	Introducción general	1
2.	Revisión de literatura	4
2.1	Taxonomía y origen del pimiento	4
2.2	Importancia del cultivo de pimiento	4
2.3	Características fisicoquímicas del fruto	5
2.3.1	Antioxidantes	5
2.3.2	Compuestos fenólicos	8
2.3.3	Capsaicinoides	9
2.4	Maduración del pimiento	10
2.5	Calidad postcosecha del pimiento	12
2.5.1	Daños en postcosecha	13
2.6	Manejo postcosecha	15
2.6.1	Refrigeración	15
2.6.2	Empaque en atmósfera modificada (AM)	15
3	COMPORTAMIENTO POSTCOSECHA DE FRUTOS DE PIMIENTO MORRÓN (<i>Capsicum annum</i>) CON MADURACIÓN EN ROJO AFECTADO POR EL ESTADO DE MADUREZ	18
3.1	Introducción	20
3.2	Materiales y métodos	20
3.2.1	Material vegetal	20
3.2.2	Organización experimental	21
3.2.3	Variables físicas y fisiológicas	21
3.2.3	Variables químicas	22
3.2.4	Análisis estadístico	24
3.3	Resultados y discusión	25

3.3.1	Análisis de varianza	25
3.3.2	Pérdida de peso	25
3.3.3	Firmeza	27
3.3.4	Color.....	29
3.3.5	Sólidos solubles totales (SST)	33
3.3.6	Acidez titulable	34
3.3.7	pH.....	35
3.3.8	Azúcares totales.....	36
3.3.9	Capacidad antioxidante.....	37
3.3.10	Contenido de fenoles solubles totales (FST)	38
3.3.11	Carotenoides totales	39
3.3.12	Capsaicina	40
3.4	Conclusiones	41
4	MANEJO DE FRUTOS DE PIMIENTO MORRÓN CON MADUREZ TEMPRANA EN ATMÓSFERAS MODIFICADAS CON MICROPERFORADO	42
4.1	Introducción	44
4.2	Materiales y Métodos.....	45
4.2.1	Material vegetal.....	45
4.2.2	Organización experimental.....	45
4.2.3	Variables fisiológicas y físicas.....	46
4.2.4	Análisis estadístico.....	50
4.3	Resultados y Discusión.....	50
4.3.1	Variables fisiológicas y físicas.....	50
4.3.2	Variables químicas.....	60
4.4	Conclusiones	69
5	LITERATURA CITADA	71

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1 Valores percentiles de la distribución de Fisher (0.05) con $\alpha=0.05$ y valores de F correspondientes al análisis de varianza de la evaluación de tres estados de madurez sobre el comportamiento postcosecha de frutos de pimiento.	26
Cuadro 2 Valores percentiles de la distribución de Fisher (0.05) con $\alpha=0.05$ y valores de F correspondientes al análisis de varianza de la evaluación CO ₂ en empaques en AM con microperforado usados en frutos de pimiento.	51
Cuadro 3 Valores percentiles de la distribución de Fisher (0.05) con $\alpha=0.05$ y valores de F correspondientes al análisis de varianza de la evaluación de frutos de pimiento en empaques en AM con microperforado en dos temperaturas de almacenamiento.....	54
Cuadro 4 Porcentaje de incidencia de daño patológico en el pedúnculo de frutos de pimiento con manejo en bolsas de PBD y dos temperaturas de almacenamiento.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Efecto del estado de madurez al corte y la temperatura de almacenamiento sobre la pérdida de peso de pimientos almacenados por 28 días.	25
Figura 2 Efecto del estado de madurez al corte y la temperatura de almacenamiento sobre la firmeza de pimientos almacenados por 28 días.....	28
Figura 3 Efecto del estado de madurez al corte y la temperatura de almacenamiento (20 °C Izq.; 8 °C Der.) sobre la luminosidad (L*) de pimientos almacenados por 28 días.....	29
Figura 4 Efecto del estado de madurez al corte y la temperatura de almacenamiento sobre el ángulo de tono de pimientos almacenados por 28 días..	30
Figura 5 Evolución de la coloración y apariencia de los frutos de pimiento en diferentes estados de madurez al corte durante su almacenamiento a 8 y 20 °C.	31
Figura 6 Efecto del estado de madurez al corte sobre la cromaticidad de pimientos almacenados a 20 °C (Izq) y 8 °C (Der.) por 28 días.	32
Figura 7 Efecto del estado de madurez al corte sobre los SST de pimientos almacenados a 20 °C (Izq) y 8 °C (Der.) por 28 días. L.....	33
Figura 8 Efecto del estado de madurez al corte sobre la acidez de pimientos almacenados a 20 °C (Izq) y 8 °C (Der.) por 28 días.....	34
Figura 9 Efecto del estado de madurez al corte sobre el pH de pimientos almacenados a 20 °C (Izq) y 8 °C (Der.) por 28 días.....	35
Figura 10 Efecto del estado de madurez al corte sobre el contenido de azúcares totales en pimientos almacenados a 20 °C (izquierda) y 8 °C (derecha) por 28 días.	36

Figura 11 Efecto del estado de madurez y la temperatura de almacenamiento (T20 Izq. y T8 Der.) sobre la capacidad antioxidante determinada por el ensayo ABTS en frutos de pimiento.	37
Figura 12 Efecto del estado de madurez y la temperatura de almacenamiento (T20; izquierda y T8; derecha) sobre la capacidad antioxidante determinada por el ensayo FRAP en frutos de pimiento.....	38
Figura 13 Efecto del estado de madurez y la temperatura de almacenamiento (T20; izquierda y T8; derecha) en el contenido de FST de frutos de pimiento..	39
Figura 14 Efecto del estado de madurez y la temperatura de almacenamiento (T20; izquierda y T8; derecha) postcosecha en el contenido de carotenoides de frutos de pimiento	40
Figura 15 Efecto del empaque en bolsas PBD y la temperatura de almacenamiento sobre la concentración de CO ₂ por 21 (T20) y 42 (T8) días...	52
Figura 16 Efecto del empaque en bolsas de PBD y la temperatura de almacenamiento sobre la pérdida de peso en frutos de pimiento por 21 (T20) y 42 (T8) días.....	53
Figura 17 Efecto del empaque en PBD y la temperatura de almacenamiento sobre la firmeza de frutos de pimiento por 21 (T20) y 42 (T8) días.	56
Figura 18 Efecto del empaque en PBD y la temperatura de almacenamiento sobre la Luminosidad en frutos de pimiento por 21 (T20) y 42 (T8) días.....	57
Figura 19. Efecto del empaque en PBD y la temperatura de almacenamiento en el ángulo de tono en frutos de pimiento por 21 (T20) y 42 (T8) días.	58
Figura 20. Evolución del color y la apariencia de frutos de pimiento con diferente manejo postcosecha almacenados a 8 y 20 °C.	59
Figura 21 Efecto del empaque en PBD y la temperatura de almacenamiento sobre el croma en frutos de pimiento por 21 (T20) y 42 (T8) días..	60
Figura 22 Efecto del empaque en PBD y la temperatura de almacenamiento sobre el contenido de SST en frutos de pimiento por 21 (T20) y 42 (T8) días. Le.	61

Figura 23 Efecto del empaque en PBD y la temperatura de almacenamiento sobre el pH de frutos de pimienta por 21 (T20) y 42 (T8) días. 62

Figura 24 Efecto del empaque en bolsas PBD y la temperatura de almacenamiento sobre la acidez titulable de frutos de pimienta por 21 (T20) y 42 (T8) días.. 63

Figura 25 Efecto del empaque en PBD y la temperatura de almacenamiento sobre la el contenido de FST en frutos de pimienta por 21 (T20) y 42 (T8) días. 64

Figura 26 Efecto del empaque en AM y la temperatura de almacenamiento sobre la capacidad antioxidantes de frutos de pimienta por 21 (T20) y 42 (T8) días, determinada por ABTS. 65

Figura 27 Efecto del empaque en AM y la temperatura de almacenamiento sobre la capacidad antioxidantes de frutos de pimienta por 21 (T20) y 42 (T8) días, determinada por FRAP. 65

Figura 28 Efecto del empaque en AM y la temperatura de almacenamiento sobre el contenido de carotenoides de frutos de pimienta por 21 (T20) y 42 (T8) días. 66

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el financiamiento que se me otorgó para realizar mis estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo, al Departamento de Ingeniería Agroindustrial, al Departamento de Preparatoria Agrícola, al Departamento de Fitotecnia y al Departamento de Parasitología Agrícola por las facilidades brindadas para la realización de esta investigación.

Al Dr. Salvador Valle Guadarrama, por su apoyo en la dirección para realizar este trabajo de investigación y contribuir a mi formación.

A la Dra. Diana Guerra Ramírez por su asesoría, apoyo y confianza brindados para realizar este proyecto.

A la Dra. María Teresa Beryl Colinas y al Dr. Marcelo Acosta Ramos por su asesoría y las facilidades otorgadas para el desarrollo de esta investigación.

A la Sra. Alejandra Galván, Araceli Ayala, Jhoana, Daniel y Angélica por su apoyo en el laboratorio y sobre todo por su amistad.

A mis compañeros del Posgrado por su amistad y apoyo, en especial a Dulce por su paciencia.

A mi mamá por impulsarme a cada paso que doy y enseñarme sobre la fortaleza, a Carlos mi hermano por tu alegría y apoyo incondicional, a mi papá que aun cuando su corazón no late más, su alma en la eternidad me acompaña.

A Eliseo por ser mi compañero durante estos años, por enseñarme sobre la perseverancia y los sueños.

DATOS BIOGRÁFICOS

Frida Beatriz López González, nació el 29 de agosto de 1988 en Yehualtepec, Puebla. Realizó sus estudios de educación media superior en la Preparatoria Enrique Cabrera Barroso de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y posteriormente obtuvo su título de Ingeniero Agrónomo especialista en Parasitología Agrícola por sus estudios de licenciatura en la Universidad Autónoma Chapingo. Ejerció como Jefa de Calidad e Inocuidad en una empresa dedicada a la producción y exportación de pimiento en el periodo de 2011 a 2015.

RESUMEN GENERAL

COMPORTAMIENTO POSTCOSECHA DE PIMIENTO MORRÓN AFECTADO POR EL ESTADO DE MADUREZ Y UNA ATMÓSFERA MODIFICADA CON MICROPERFORADO

La caracterización de frutos durante la postcosecha permite diseñar un manejo para preservar su calidad por más tiempo. Estos frutos, clasificados como no climatéricos son altamente perecederos, su alta transpiración en condiciones ambientales ocasiona su deshidratación y pérdida de calidad. Los objetivos de este trabajo fueron determinar el estado de madurez de frutos de pimiento que permita preservar su calidad por mayor tiempo y evaluar el efecto de una atmosfera modificada (AM) mediante el uso de bolsas de polietileno de baja densidad (PBD) sin y con microperforado, como una alternativa de manejo postcosecha. En una primera fase experimental se determinaron las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes de frutos de pimiento en tres diferentes etapas de madurez al corte (10, 50 y 100 % de color rojo) a dos temperaturas de almacenamiento (8 y 20 °C). En la segunda fase se evaluaron las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes de los frutos de pimiento, con porcentaje de maduración 10 %, almacenados a 8 y 20 °C en tres condiciones diferentes de AM (cero, dos y cinco micro perforaciones). De acuerdo con los resultados, los frutos de pimiento cosechados con 10 % de color rojo, a una temperatura de almacenamiento de 8 °C retardaron su maduración ya que no alcanzaron a madurar después de 28 días de almacenamiento, mientras que a 20 °C lograron una coloración completa a los 7 días, aunque perdieron peso y firmeza. En cuanto al uso de la AM la maduración de los frutos en las tres AM a 8 °C fue más lenta, a 20° los frutos en bolsas de PBD con cinco microperforaciones alcanzaron el 100% de la coloración sin pérdida apreciable de la calidad y atributos fisicoquímicos en comparación de aquellos sin empaque. Las mejores condiciones de manejo que permitieron madurar y mantener los atributos de calidad de los frutos de pimiento, después de 21 días, fueron en una AM en bolsas de PBD con cinco microperforaciones y almacenados a 20°

Palabras clave: *Capsicum annum*, calidad postcosecha, conservación, maduración.

Tesis: Maestría en Ciencias en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.
Autor: Frida Beatriz López González
Director de Tesis: Dr. Salvador Valle Guadarrama

GENERAL ABSTRACT

POSTHARVEST BEHAVIOR OF MORRON PEPPER AFFECTED BY THE RIPENESS STAGE AND A MODIFIED ATMOSPHERE WITH MICROPERFORATION

The characterization of the postharvest behavior of fruit is necessary for developing management strategies that allow preserving quality for a longer time. The fruit of pepper, classified as non-climacteric, are highly perishable at environmental conditions and due to high transpiration a rapid dehydration and loss of quality occur. The aim of this work were to determine the state of ripeness of pepper fruits that allows to preserve its quality for a longer time and to evaluate the effect of a modified atmosphere (MA) by using low density polyethylene bags (LDP) with and without microperforation, as an alternative postharvest handling. In a first experimental phase the physicochemical and antioxidant properties of pepper fruits were determined in three different maturity stages (10, 50 and 100% of red color) at two storage temperatures (8 and 20 ° C). In the second phase the physicochemical and antioxidant properties of the pepper fruits were evaluated, with 10% maturity percentage, stored at 8 and 20 ° C in three different MA conditions (zero, two and five micro perforations). According to the results, the fruits of pepper harvested with 10% of red color, at a storage temperature of 8 ° C, delayed their maturation since they did not reach maturity after 28 days of storage, while at 20 ° C they managed to a full color after 7 days, although they lost weight and firmness. Regarding the use of AM, the maturation of the fruits in the three AM at 8 ° C was slower, at 20 ° the fruits in bags of PBD with five microperforations reached 100% of the coloration without appreciable loss of quality and physicochemical attributes compared to those without packaging. The best management conditions that allowed to mature and maintain the quality attributes of the pepper fruits, after 21 days, were in an AM in bags of PBD with five microperforations and stored at 20 °

Key words: *Capsicum annum*, postharvest quality, preservation, ripening.

Thesis: Universidad Autónoma Chapingo.
Author: Frida Beatriz López González
Advisor: Dr. Salvador Valle Guadarrama

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los pimientos son vegetales populares por su color, sabor y valor nutrimental (Pérez-López, Del Amor, Serrano-Martínez, Fortea, & Núñez-Delicado, 2007). De manera natural y derivado del propio metabolismo, los frutos transitan por etapas de maduración y senescencia que alteran sus características físicas y químicas (Contreras-Padilla & Yahia, 1998), y por lo tanto se relacionan con la calidad y la vida postcosecha del fruto (Tadesse, Hewett, Nichols, & Fisher, 2002). En este contexto, después de la cosecha ocurren cambios fisiológicos asociados con la maduración del pimiento (Tadesse *et al.*, 2002), y de acuerdo al estado de madurez en que se cosechan pueden comportarse diferente. Existe poca información disponible sobre la fisiología del crecimiento y maduración de los frutos de pimiento, los cuales son clasificados como no climatéricos (Saltveit, 1977). Aunque se ha reportado comportamiento climatérico en el cultivar “Domino” (Tadesse *et al.*, 2002). Al respecto, Paul, Pandey & Srivastava (2012) han encontrado que al interior de una misma especie pueden existir variedades climatéricas y no climatéricas, lo que sugiere que no puede hacerse una generalización del comportamiento respiratorio por especies, sino que cada variedad debe estudiarse en forma particular. Los frutos de pimiento son altamente perecederos en condiciones ambientales, lo que causa pérdida de calidad por la rápida deshidratación, pérdida de firmeza (Priya Sethu, Prabha, & Tharanathan, 1996) y la incidencia de enfermedades por desarrollo de hongos como *Fusarium* (Ragab, Ashour, Kader, El-Mohamady, & Abdel-Aziz, 2012). La refrigeración es la principal estrategia de

conservación de la calidad del pimiento. Sin embargo esta práctica se limita al uso de temperaturas mayores a 7 °C, por la susceptibilidad a daños por frío (Sayyari & Ghanbari, 2013), otra estrategia es el uso de empaques en atmósfera modificada que retrasan el deterioro fisiológico de la fruta.

El uso de películas plásticas limita la pérdida de agua y mantiene la firmeza de los pimientos, y se puede utilizar a través de las últimas etapas de la comercialización (aproximadamente 2-3 semanas) como una manera de mantener la calidad, prolongar la vida útil y reducir las susceptibilidad al daño por frío (Ben-Yehoshua, Shapiro, Chen, & Lurie, 1983; Forney & Lipton, 1990; González & Tiznado, 1993; Mahajan et al., 2016; Manolopoulou, Xanthopoulos, Douros, & Lambrinos, 2010).

La maduración del pimiento puede retrasarse o adelantarse en determinadas condiciones y con la presencia de determinadas sustancias. La presencia de inhibidores respiratorios y la falta de oxígeno o el exceso de CO₂ son factores que frenan el proceso de maduración, pudiendo incluso alterar el sabor del fruto como consecuencia de procesos fermentativos y enzimáticos. Por el contrario, una tensión elevada de oxígeno puede estimular la maduración. Igualmente se puede acelerar la maduración mediante el empleo de etileno en tratamientos postcosecha (Ena & Namesny, 2006). De acuerdo con Cantwell, (2013) la maduración o el cambio de color en pimientos es más rápida a temperaturas entre 20 y 25 °C, sin embargo si los frutos son cosechados inmaduros, pueden no desarrollar un sabor aceptable al madurar y esto puede llevar a la pérdida de la confianza del consumidor (Gil & Tudela, 2012). Es por ello que la caracterización del comportamiento postcosecha de un fruto en función del estado de madurez al corte es necesario para el desarrollo de un manejo que permita preservar su calidad por más tiempo. En el presente estudio, una primera fase experimental, se evaluaron los cambios físicoquímicos, fisiológicos y el valor nutracéutico de frutos de pimiento en tres estados de madurez (10, 50 y 100 % rojo) a dos temperaturas de almacenamiento (8 y 20 °C). Dados los resultados de la primera

fase, una segunda fase experimental se condujo a fin de evaluar el efecto del almacenaje de los frutos de pimiento, cosechados al 10 % de coloración roja, en tres diferentes condiciones de AM mediante el uso de bolsas de PBD con y sin micro-perforaciones a dos temperaturas a 8 y 20 °C.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Taxonomía y origen del pimiento

El chile pimiento (*Capsicum annuum* L.) es miembro de la familia Solanaceae (Eshbaugh, 2012). El género *Capsicum* fue descubierto en las regiones tropicales de Américas. Por lo menos cinco especies diferentes fueron finalmente domesticadas por los pueblos indígenas de los neotrópicos, de las cuales *Capsicum annuum* es, quizá, la especie más extensamente cultivada e incluye al pimiento dulce, al chile poblano y al chile jalapeño. Los datos arqueológicos, la fitogeografía y los análisis genéticos han llevado a sugerir que *Capsicum annuum* fue inicialmente domesticado en México o en el norte de Centroamérica (Perry, 2012). El cultivo del pimiento se difundió a través de Europa y Asia después del año 1500. Los pimientos varían ampliamente en forma, tamaño, color, grosor de la pared y el número de lóculos; todos son verdes en estado inmaduro y dependiendo de la variedad maduran en diferentes colores que incluyen al rojo, amarillo, naranja, púrpura y otros colores (Eshbaugh, 2012).

2.2 Importancia del cultivo de pimiento

La producción de chile en sus diferentes variedades en México alcanzó en 2016 las 2.3 millones de toneladas, con un valor que rebasa los 22 mil 500 millones de pesos y junto con los pimientos se ubica en el quinto lugar dentro de los 20 principales productos que comercializa el país a nivel internacional, informó la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2016).

Según el Servicio de Información Agrícola y Pesquera (SIAP, 2016), este producto participa con cerca del 20% de producción de hortalizas en el país y, a

nivel mundial, México se ubica como el segundo productor de chile verde; donde sus principales destinos de exportación son Estados Unidos, Canadá y España, entre otros. Con respecto al chile verde morrón (pimiento), la producción en el año 2016 fue de 458.7 mil toneladas con un valor de tres mil 937 millones de pesos y los estados que se destacan en su producción son Guanajuato, Jalisco, Querétaro, Durango y Coahuila. En lo que corresponde a la exportación, los chiles y pimientos se ubican en el quinto lugar dentro de los 20 principales productos que comercializa el país a nivel internacional. Dentro del sector agrícola, la exportación de chiles y pimientos ocupa el tercer lugar, antecedido sólo por la venta de tomate y aguacate. El valor de las exportaciones de chiles y pimientos alcanzó en el periodo enero–agosto de 2016, los 789 millones de dólares, lo que representó un aumento en términos anuales de 31.6 %, uno de los crecimientos más destacados de este grupo.

2.3 Características fisicoquímicas del fruto

El color, sabor y el valor nutritivo del chile (*Capsicum* spp.) puede ser atribuido a un conjunto de diferentes metabolitos. Los pigmentos carotenoides son responsables de generar los cambios de color durante la maduración de los frutos y un coctel de ácidos orgánicos y capsaicinoides, que son metabolitos secundarios encontrados exclusivamente en el género *Capsicum* y brindan la característica de pungencia de los chiles. Las propiedades antioxidantes de los frutos del género *Capsicum* se atribuyen a los compuestos fenólicos, (principalmente flavonoides), capsaicinoides, vitamina C y carotenoides. En investigaciones recientes se ha encontrado que los niveles de estos compuestos dependen del desarrollo genotípico del fruto, el estado y las condiciones de crecimiento (Frary & Frary, 2012).

2.3.1 Antioxidantes

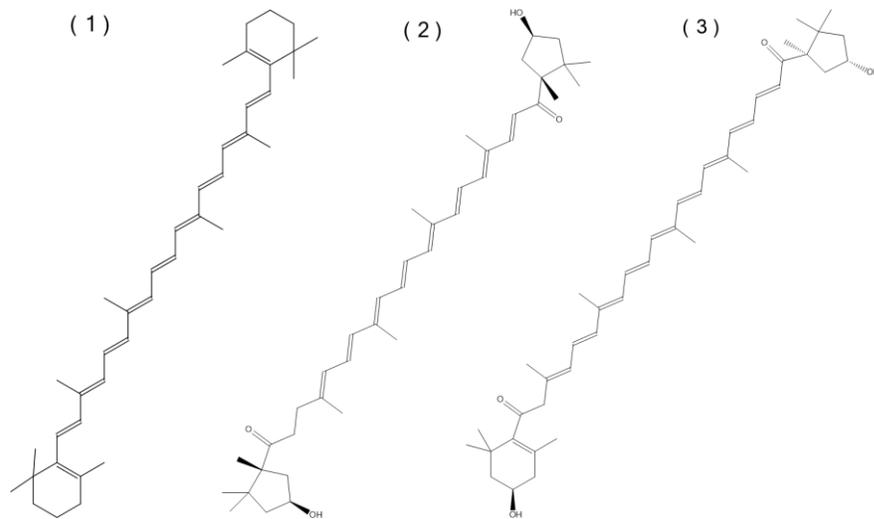
Los compuestos antioxidantes protegen a las macromoléculas de los radicales libres, por ejemplo, especies reactivas de oxígeno. Los radicales libres son

compuestos inestables, altamente reactivos y producidos como resultado del metabolismo aeróbico normal y en respuesta al estrés. Si no son neutralizados por antioxidantes endógenos o exógenos, las especies reactivas pueden dañar ácidos nucleicos, proteínas, y lípidos, los cuales pueden acelerar el envejecimiento y el comienzo de enfermedades, incluyendo cáncer, enfermedades cardíacas, arterosclerosis y cataratas. Aunque el cuerpo humano puede producir una variedad de compuestos antioxidantes, éstos pueden ser complementados desde la dieta. El chile es una excelente fuente de antioxidantes incluyendo flavonoides, capsaicinoides, vitamina C y carotenoides. Aunque es posible medir el contenido individual de compuestos con actividad antioxidante, una valoración del potencial total antioxidante de frutos y vegetales es valioso porque tiene en cuenta las interacciones sinérgicas entre diferentes antioxidantes (Frary & Frary, 2012).

Cuando se compara con otros vegetales, el pimiento es clasificado como alto en actividad antioxidante. En un ensayo usando la técnica de poder de reducción férrica antioxidante (FRAP, por sus siglas en inglés), los pimientos rojos se ubicaron en el número tres cuando fueron comparados con otros vegetales, sólo por debajo de las espinacas. Resultados similares fueron observados con la técnica de capacidad antioxidante en equivalentes de Trolox usando el ensayo del radical ABTS, 8.40 mmol Trolox/kg de peso fresco (Pellegrini et al., 2003). Algunos estudios sugieren que la capacidad antioxidante en *Capsicum annum* puede variar entre genotipos (Deepa, Kaur, Singh, & Kapoor, 2006): Por su parte, en otros estudios se encontró que la capacidad antioxidante de los frutos de pimiento también incrementa con la madurez (Howard, Talcott, Brenes, & Villalon, 2000; Navarro, Flores, Garrido, & Martinez, 2006; Deepa, Kaur, George, Singh, & Kapoor, 2007). Carotenoides

Los carotenoides son una familia de pigmentos liposolubles amarillos, naranjas y rojos (Shewfelt, 2002), sintetizados por plantas, hongos, bacterias y algas. Los carotenoides tienen diversas funciones en las plantas: sirven como pigmentos

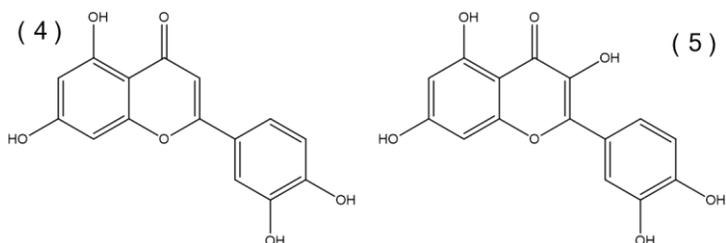
accesorios en la fotosíntesis, son atrayentes de insectos, lo cual facilita la dispersión de polen y frutos, y también son capaces de secuestrar radicales libres protegiendo sistema fotosintético contra la foto-oxidación provocada por la luz. En la dieta humana, los carotenoides tienen actividades benéficas antioxidantes y de provitamina A. Por su parte los extractos de carotenoides (oleorresinas) se utilizan como agentes colorantes para las industrias de comida, cosméticos y farmacéuticas. En los pimientos rojos su atractivo color es debido a los diversos pigmentos carotenoides (Figura 1), los cuales incluyen al β -caroteno (1), capsorubina (2) y capsantina (3) principalmente (Matsufuji *et al.* 1998).



El contenido de carotenoides es un indicador del valor nutricional y la calidad en pimientos, y éste puede variar dependiendo del estado de desarrollo, madurez del fruto y las condiciones de cultivo. La madurez es quizás el más importante de estos factores (Frery & Frery, 2012), ya que el contenido de carotenoides totales y β -caroteno incrementa significativamente de acuerdo al estado de madurez (Deepa *et al.*, 2007) lo cual es acorde con otros estudios realizados con pimientos rojos en los que se observa que tanto el estado de madurez como el tipo de cultivo (orgánico o convencional) influye en la concentración de carotenoides, siendo mayor en pimientos orgánicos (Pérez-López *et al.*, 2007).

2.3.2 Compuestos fenólicos

El interés en estos metabolitos presentes en las plantas se ha incrementado debido a sus propiedades antioxidantes. Estos compuestos incluyen fenoles simples, ácidos fenólicos, derivados del ácido hidroxicinámico y flavonoides. Los compuestos fenólicos incluyen pigmentos y compuestos de sabor, los cuales actúan como atrayentes para la polinización de flores y dispersión de semillas. Aunque es posible extraer, cuantificar e identificar compuestos fenólicos individuales en plantas, el proceso es caro y laborioso. En contraste, ensayos relativamente simples han sido creados para la determinación del contenido fenólico de materiales. Los chiles usualmente se encuentran en primer o segundo lugar con respecto al contenido fenólico con niveles más altos que los encontrados en espinaca, brócoli y ajo (Gunduc & El, 2003). Los pimientos rojos contienen niveles de moderados a altos de fenoles neutrales o flavonoides como la luteolina (4) y quercetina (5) cuyas estructuras químicas se muestran (Hasler, 1998).



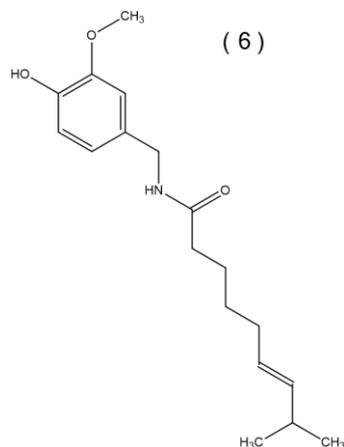
De acuerdo con algunos estudios los pimientos verdes tienen 1.6 veces más fenoles totales que la espinaca y dos veces más que el brócoli (Chun *et al.*, 2005). El contenido de fenoles en frutos de pimiento se incrementa con la madurez (Howard *et al.*, 2000; Pérez-López *et al.*, 2007; Serrano *et al.*, 2010). Sin embargo, cuando son comparados pimientos maduros, hay algunas diferencias entre los resultados. En algunos estudios se ha encontrado que el contenido de fenoles de pimientos rojos es más alto, seguido por los pimientos naranjas y los amarillos. Otros trabajos indican que los pimientos amarillos son más ricos en fenoles, seguido por los pimientos naranjas y rojos (Wu *et al.*, 2004; Kwon Young-

In, Apostolidis Emmanouil, 2007), lo que sugiere que la variación genotípica es importante en la determinación del contenido fenólico. Unos pocos estudios sugieren que no hay cambios en el contenido fenólico durante la maduración (Fox *et al.*, 2005; Navarro *et al.*, 2006) o que los frutos verdes tienen más fenoles que los frutos maduros (Marín, Ferreres, Tomás-Barberán, & Gil, 2004). Estas contradicciones encontradas pueden reflejar diferencias genotípicas. Sin embargo, como muchos compuestos contribuyen al contenido total de fenoles, no es sorpresa que los resultados de estos estudios puedan diferir (Frary & Frary, 2012).

2.3.3 Capsaicinoides

Los capsaicinoides son un grupo de alcaloides fenólicos específicos del género *Capsicum* y formados por una cabeza de vanililamina y una cola de ácido graso. Son sintetizados en la placenta de los frutos. Los capsaicinoides son responsables de la pungencia única de los chiles. Sin embargo, no todos los miembros del género acumulan capsaicinoides (Tewksbury, Manchego, Haak, & Levey, 2006).

La capsaicina (6) y la dihidrocapsaicina no son detectables en variedades de pimientos dulces, pero se han identificado cantidades significativas de estos compuestos en tipos picantes (Garces, Arnedo, Abadia, Gil, & Alvarez, 2006; Kozokue *et al.*, 2005)



La acumulación de capsaicinoides durante la maduración de los frutos de chile ha sido examinada y existe una amplia variabilidad entre genotipos. La síntesis de capsaicinoides generalmente inicia una semana después de la antesis y continúa conforme se desarrolla el tejido de la placenta. Los niveles más altos de estos compuestos fueron encontrados 40-50 días después de antesis (Barrera, Hernandez, Melgarejo, Martinez, & Fernandez-Trujillo, 2008; Mueller-Seitz, Hiepler, & Petz, 2008). Mueller-Seitz *et al.* (2008) observaron que el perfil de los tres principales capsaicinoides (capsaicina, dihidrocapsaicina, y nordihidrocapsaicina) se mantuvo bastante uniforme durante el desarrollo de los frutos. Acerca de la maduración, los niveles de capsaicina en varios cultivares ha mostrado una notable tasa de decremento asociado con un incremento en la actividad de enzimas peroxidasas, las cuales oxidan a los capsaicinoides, en frutos maduros (Deepa *et al.*, 2007).

2.4 Maduración del pimiento

La maduración de los frutos de pimiento se caracteriza por un metabolismo muy intenso, emitiendo compuestos orgánicos volátiles con la respiración (etileno y aromas), con destrucción de clorofila que enmascara pigmentos subyacentes, síntesis de nuevos pigmentos (carotenoides y antocianos), formación de pectina, síntesis de proteínas y alteración del sabor como consecuencia de cambios de acidez, pH y astringencia. Estas transformaciones bioquímicas continúan una vez separado el pimiento de la planta, con cierta variación del proceso como consecuencia de interrumpirse la circulación de la savia. La maduración del pimiento puede ser frenada o acelerada en determinadas condiciones y con la presencia de determinadas sustancias. La presencia de inhibidores respiratorios y la falta de oxígeno o el exceso de CO₂ son factores que frenan el proceso de maduración, pudiendo incluso alterar el sabor del fruto como consecuencia de procesos fermentativos y enzimáticos. Por el contrario, una concentración elevada de oxígeno puede estimular la maduración. Igualmente se puede

acelerar la maduración mediante el empleo de etileno en tratamientos postcosecha (Ena & Namesny, 2006).

Los frutos de pimiento se cosechan ya sea en estado verde maduro o en el color característico de la variedad. La determinación precisa de la madurez del pimiento dulce es difícil en la cosecha. El índice de madurez del pimiento dulce depende de varias características. Los criterios de madurez para pimientos verdes incluyen tamaño de la fruta, firmeza y color. Para pimientos de color el criterio adicional es tener un mínimo de 50 % de color (Aguilar, 2016). Generalmente, los frutos se cosechan con diferentes grados de maduración y una proporción de frutos puede estar inmadura. La cosecha simultánea de frutos de pimiento con diferente madurez es un problema común, aunque los frutos puedan tener el mismo color de piel al cosecharlos (Tadesse *et al.*, 2002). Si los frutos son elegidos inmaduros, pueden no desarrollar un sabor aceptable al madurar y esto puede llevar a la pérdida de la confianza del consumidor. Además, el crecimiento de los frutos continúa hasta la cosecha, y puede ocurrir que el tamaño de los frutos inmaduros será menor que los frutos maduros, lo que resultaría en una pérdida de rendimiento (Gil & Tudela, 2012).

Hay poca información disponible sobre la fisiología del crecimiento y maduración de los frutos de pimiento, los cuales son no-climatéricos (Saltveit, 1977), aunque se ha reportado comportamiento climatérico en el cultivar "Domino" (Tadesse *et al.*, 2002).

Así como la sensibilidad la emisión de etileno es baja ($0.1-0.2 \mu\text{l kg}^{-1} \text{h}^{-1} \text{C}_2 \text{H}_4$) la emisión de etileno y la producción de dióxido de carbono (CO_2) son significativamente diferentes entre cultivares en las etapas verde-maduro y roja. Al respecto, hay datos disponibles sobre los atributos químicos o físicos durante la maduración de frutos de pimiento, tales como los cambios en el contenido de carbohidratos de frutos de pimiento (Nielsen, Skjaerbaek, & Karlsen, 1991). El incremento de sólidos solubles totales (SST) de pimientos dulces durante la maduración es probablemente resultado del incremento de acumulación de

azúcares durante la maduración del fruto (Nielsen *et al.*, 1991). El cambio de color en la superficie es un indicador clave de la madurez porque tiene una cercana asociación con otros atributos como SST y firmeza (Tadesse *et al.*, 2002). La tonalidad o ángulo de matiz o ángulo hue es un buen indicador de los cambios de color de verde a amarillo y rojo. Este parámetro, es importante para evaluar de forma paralela los cambios asociados con la degradación enzimática de las clorofilas. Los cambios de color en pimientos dulces corresponden a la reducción en clorofilas y en un incremento en la síntesis de carotenoides (Petrel, Serrano, Amoros, Riquelme, & Romojaro, 1995) reflejando la transformación de cloroplastos a cromoplastos. En consecuencia, un incremento en la intensidad del color (cromaticidad o chroma) ocurre con el decremento en el ángulo hue (Tadesse *et al.*, 2002). Como los consumidores prefieren frutos maduros y razonablemente firmes, los productores pueden fácilmente medir SST y firmeza. Basado en resultados de Tadesse *et al.* (2002) los valores de madurez óptimos para cultivar 'Domino' son una firmeza de 35 N y un mínimo de 6 °Brix. El almacenamiento de pimientos a temperaturas de 20-25 °C con humedad relativa (HR) de más de 90 % son las mejores condiciones para completar maduración o los cambios de color. Sin embargo, la madurez en la cosecha es clave para una adecuada vida útil y calidad de la fruta (Aguilar, 2016).

2.5 Calidad postcosecha del pimiento

En el caso del pimiento es importante que la forma y el tamaño del fruto sea la típica del cultivar. Un pimiento de alta calidad se distingue por tener una coloración brillante, de paredes gruesas y firmes, libre de daños (heridas, rozaduras, golpes, daño de sol, pudrición, etc.) y con el cáliz y pedúnculo de un color verde fresco y turgente (Aguilar, 2016; Fernández, Liverotti, & Sánchez, 1997). En contraparte, si los frutos tienen la superficie opaca, el cáliz y el pedúnculo decolorado, se toma como indicativo de envejecimiento y posible deterioro de los mismos (Fernández *et al.*, 1997).

La firmeza y textura de los frutos está asociada con la estructura y composición de la pared celular, y particularmente con los cambios que le ocurren a ésta durante la maduración (Toivonen & Brummell, 2008). La firmeza inicial de los frutos, al momento de cosecha es mayor en pimientos verdes que en los rojos. La pérdida de firmeza puede ser causada tanto por pérdida de turgencia, como la degradación de componentes de la pared celular. La forma irregular de algunos frutos no afecta su calidad alimenticia o culinaria, pero sí reduce su valor comercial (Fernández *et al.*, 1997).

2.5.1 Daños en postcosecha

Los pimientos son frutos con alta perecibilidad que presentan vida en postcosecha de 2 a 4 semanas. Los factores que afectan este periodo son la deshidratación, infecciones fúngicas o bacterianas, el daño por frío (Aguilar, 2016) y los cambios asociados a la senescencia, que implican un cambio en la permeabilidad de las membranas (Namesny, 1999).

Pérdida de agua

La calidad de los pimientos después de la cosecha es afectada por la pérdida de agua (Ben-Yehoshua *et al.*, 1983), debido a la alta actividad transpiratoria de los frutos, lo que resulta en pérdida de peso, firmeza y arrugamiento del fruto y un ablandamiento del tejido (Namesny, 1999) reduciendo su vida de anaquel. El almacenamiento en condiciones de alta humedad relativa resulta en la reducción de la transpiración del fruto tiene un efecto más pronunciado en el retraso de la senescencia que incluso el almacenamiento a bajas temperaturas (Lurie, Shapiro, & Ben-Yehoshua, 1986; Lownds, Banaras, & Bosland, 1994). El uso de ceras y películas poliméricas naturales y sintéticas para cubrir al fruto pueden ayudar a reducir la pérdida de agua y a mantener su calidad (González & Tiznado, 1993). Al respecto, los frutos que han mostrado alta pérdida de agua han madurado en menor tiempo que los frutos con menor pérdida de agua (Kissinger *et al.*, 2005).

Enfermedades

Las enfermedades postcosecha provocan aproximadamente un 40 % de las pérdidas. Entre los agentes causales más importantes se encuentran *Botrytis cinera*, *Alternaria alternata* y *Erwinia carotovora*, aunque también se puede encontrar podredumbre por *Rhizopus* (Namesny, 1999). El moho gris causado por *Botrytis cinerea* es comúnmente encontrado en pimientos. La sanidad en el cultivo y la prevención de heridas en el fruto ayudan a reducir su incidencia. *Botrytis* crece bien a las temperaturas de almacenamiento recomendadas para pimiento. Los niveles altos de CO₂ (>10 %) pueden controlar a *Botrytis*, pero dañan al pimiento. La inmersión durante 4 minutos en agua caliente (53-55 °C) es un control efectivo para control de *Botrytis* spp. sin causar daño al fruto (González-Aguilar *et al.*, 2000).

La presencia de la pudrición negra, especialmente al final del pedúnculo es causada por varias bacterias que atacan al tejido dañado. El pedúnculo carnoso de los pimientos es altamente susceptible y frecuentemente el punto inicial de la pudrición bacteriana es causada por *Erwinia carotovora* ssp. *carotovora*. Los frutos verdes y maduros pueden ser afectados. Los frutos deben mantenerse limpios y en un lugar fresco y seco durante el empaque y almacenamiento (Gil & Tudela, 2012).

Daños por frío

El daño por frío es acumulativo y la severidad depende de la temperatura y la duración de exposición. Los pimientos resisten hasta temperaturas de 7 °C, pero a temperaturas inferiores sufren daños, provocando manchas en el pericarpio, así como una susceptibilidad a los ataques de *Alternaria*, y cuando la temperatura es inferior de 4 °C se favorece la aparición de *Botrytis*, perdiendo los frutos en definitiva el aspecto externo, sabor y aromas (Namesny, 1999). La sensibilidad varía con el cultivar, pero en general los pimientos maduros o rojos son menos sensibles al frío que los pimientos verdes del mismo cultivar (Lin, Canada, Box,

& Saltveit, 1993). En adición a los síntomas visibles, varios procesos bioquímicos y fisiológicos son alterados como un efecto directo de las bajas temperaturas sobre los constituyentes celulares, tales como las poliaminas putrescina y espermidina , las cuales han mostrado estar directamente relacionadas con la tolerancia al frío, por su capacidad para preservar la integridad de las membranas celulares (González-Aguilar *et al.*, 2000). Las temperaturas relativamente altas son recomendadas para el manejo de los pimientos; sin embargo, como el aumento de la temperatura provoca pérdida de agua, la selección adecuada de la temperatura es un factor importante del almacenamiento para los pimientos (Gil & Tudela, 2012).

2.6 Manejo postcosecha

2.6.1 Refrigeración

Una vez empacados los pimientos se deben llevar a conservación en cámara frigorífica, hasta su envío a comercialización (Ena & Namesny, 2006). Los pimientos deben enfriarse tan pronto como sea posible para reducir la pérdida de agua. Los pimientos almacenados por encima de 7.5 °C (45 °F) sufren más la pérdida de agua y se arrugan. El almacenamiento a 7.5 °C es mejor para una máxima vida útil (3-5 semanas). Los pimientos se pueden almacenar a 5 °C durante 2 semanas, y aunque esto reduce la pérdida de agua, el daño por frío comenzará a aparecer después de ese periodo. Por ello, es necesario mantener la humedad relativa del aire en el almacenamiento arriba del 95 % para prevenir la deshidratación y arrugamiento del fruto (Cantwell, 1999). Las temperaturas por arriba de 13 °C aceleran la maduración y la pudrición blanda bacteriana. Un buen manejo de la temperatura puede controlar efectivamente la tasa de maduración de frutos maduros (Aguilar, 2016).

2.6.2 Empaque en atmósfera modificada (AM)

Un hecho importante cuando se trata con vegetales es que todavía son estructuras vivas y continúan respirando mientras haya nutrientes y gases

disponibles. Así, la respiración y la transpiración continúan después de la cosecha. Dado que el producto se desprende de su fuente de agua, de fotosintatos y de minerales, es totalmente dependiente de sus propias reservas de alimentos y el contenido de humedad, que es la base del almacenamiento de las atmósferas modificadas (AM). Es decir, el empaquetado en AM consiste en sellar una cierta cantidad de frutas o vegetales mediante el uso de películas plásticas con una permeabilidad particular a la difusión de gas. A continuación, por la respiración de los productos, aumenta la concentración de CO₂ y disminuye las concentraciones de O₂ dentro del envase, mientras que la tasa de transpiración aumenta la presión de vapor (Valero & Serrano, 2010). Esas modificaciones sobre la composición de la atmósfera dentro la película de empaque lleva a la reducción en la tasa de respiración, consecuentemente se reducen las pérdidas en las reservas de energía almacenadas en los productos vegetales. En adición, los frutos almacenados bajo condiciones de AM muestran prevención o retraso del proceso de maduración y los cambios bioquímicos y fisiológicos asociados y la inhibición del crecimiento de microorganismos causantes de deterioro, con lo que puede lograrse un incremento significativo en la vida de anaquel de las frutas y vegetales (Valero & Serrano, 2010).

De acuerdo con Cantwell (1999), los pimientos obtienen un beneficio ligero de las atmósferas controladas (AC) y modificadas (AM), debido a que se han clasificado como productos de baja tasa de respiración (5-8 ml CO₂/kg·hr a 10 °C).

Los pimientos pueden ser empaquetados en bolsas de película plástica en el que está involucrado el uso de AM para la rápida acumulación de CO₂ de la respiración del fruto. La película plástica limita la pérdida de agua, mantiene la firmeza de los pimientos y se puede utilizar a través de las últimas etapas de la comercialización (aproximadamente 2-3 semanas). Los estudios existentes han reportado el efecto benéfico de AM en pimientos “bell” en películas poliméricas como una manera de mantener la calidad y prolongar la vida útil (Ben-Yehoshua *et al.*, 1983; González & Tiznado, 1993; Mahajan *et al.*, 2016; Manolopoulou *et*

al., 2010). Estos efectos benéficos pueden explicarse por la AM creada dentro de un empaque, así como por la reducción de pérdida de agua. La reducción de la susceptibilidad al daño por frío por el uso de un AM también se ha reportado (Forney & Lipton, 1990; Manolopoulou *et al.*, 2010). Estudios realizados por Gil y Tudela (2012) demostraron que el uso de CO₂ con niveles mayores a 5 % causa picadura (pitting) cuando la temperatura era inferior a 10 °C. Las películas poliméricas de alta permeabilidad son recomendadas para evitar la acumulación de CO₂ más allá de 5 %. Al respecto, se ha reportado que cuando el equilibrio del sistema AM entre la tasa de respiración de pimientos y el flujo gaseoso en la película plástica ha consistido de 20 % O₂+ 2 % CO₂ se han evitado picaduras. Cuando los pimientos han sido empacados bajo películas macroperforadas (orificios en el plástico de 8mm) la calidad visual ha disminuido después de 14 días y los frutos han sido calificados por debajo del límite de aceptación, incluso con el almacenamiento a 10 °C, mientras que los pimientos almacenados bajo AM fueron aceptables al final del periodo de almacenamiento. Asimismo, se ha reportado que después de 14 días a 8 °C, la pérdida de agua de los pimientos almacenados bajo AM ha sido de sólo 0.2 %, mientras que la pérdida de agua de los frutos almacenados en películas macro-perforadas ha sido de 4 %. Una de las principales ventajas de este empaque fue la alta humedad relativa alrededor del fruto (aproximadamente 95 %).

Aunque las AM reducen la pérdida de agua, las enfermedades postcosecha pueden incrementarse por la alta HR en las bolsas. A una alta HR, incluso pequeños cambios de temperatura pueden provocar la condensación de humedad, una condición favorable para el crecimiento de organismos causantes de pudriciones. La incidencia de frutos podridos se incrementa con el incremento del nivel de HR durante el almacenamiento (Polderdijk, Boerrigter, Wilkinson, Meijer, & Janssens, 1993).

3 COMPORTAMIENTO POSTCOSECHA DE FRUTOS DE PIMIENTO MORRÓN (*Capsicum annum*) CON MADURACIÓN EN ROJO AFECTADO POR EL ESTADO DE MADUREZ

Resumen

El estado de madurez de los frutos en el momento de su cosecha es uno de los factores más importantes que determinan su comportamiento y calidad postcosecha. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del estado de madurez de los frutos de pimiento sobre los cambios en sus propiedades fisicoquímicas y antioxidantes, durante el proceso de maduración y senescencia. Los frutos de pimiento cosechados en tres estados de madurez determinados por su porcentaje de coloración en rojo (10, 50 y 100%), fueron almacenados a 20 y 8 °C durante 28 días. En el primer día y cada 72 horas fueron tomadas muestras de cada tratamiento para evaluar sus características fisicoquímicas y antioxidantes. De acuerdo con los resultados, todos los frutos, sin importar condiciones de almacenamiento sufrieron cambios propios de la maduración como la síntesis de carotenoides, los frutos almacenados a 20° C perdieron en promedio el 20% de su peso inicial mientras que a 8° C sólo un 3%. Las pérdidas de peso y firmeza fueron menores en frutos con maduración 10 % almacenados a 8 °C. Los pimientos almacenados a 20 °C completaron su coloración a los 7 días, sin embargo, sólo los frutos al 50% almacenados a 8 °C alcanzaron la coloración de madurez a los 28 días. El contenido de SST y la acidez titulable alcanzaron su máximo en frutos 100% maduros y en los almacenados a 20 °C. El contenido de azúcares totales fue mayor en frutos con maduración 100 %. La capacidad antioxidante y el contenido fenólico total no fueron afectados por el estado de madurez, pero estos parámetros alcanzaron su valor máximo en pimientos almacenados a 20 °C. Finalmente, la capsaicina no fue detectada para ninguno de los tratamientos. Estos resultados sugieren que el pimiento, siendo un fruto clasificado como no climatérico, al ser cosechado en el momento de presentar un 10% de color rojo, puede continuar su proceso de maduración y este proceso se ve retardado por una temperatura de almacenamiento de 8 °C.

Palabras clave: *Capsicum annum*, calidad, condiciones de almacenamiento, maduración.

POSTHARVEST BEHAVIOUR OF MORRON PEPPERS FRUITS WITH RED RIPPENING AFFECTED BY THE STAGE OF MATURITY

Abstract

The state of maturity of the fruits at the time of harvest is one of the most important factors that determine their postharvest quality and behavior. The aim of this work was to determine the effect of the state of maturity of the pepper fruits on the changes in their physicochemical and antioxidant properties, during the maturation and senescence process. The fruits of pepper harvested in three stages of maturity by their percentage of red coloring (10, 50 and 100%), were stored at 20 and 8 ° C for 28 days. On the first day and every 72 hours, samples of each treatment were taken to evaluate their physical, chemical and antioxidant characteristics. The treatments stored at 20 ° lost on average 20% of their initial weight while at 8 ° 3%. The weight and firmness losses were lower in fruits with 10% maturation stored at 8 ° C. The peppers stored at 20 ° C completed their coloring after 7 days, however, only fruits with 50% maturation stored at 8 ° C reached maturity after 28 days. SST content and titratable acidity peaked in 100% mature fruits and those stored at 20 ° C. The content of total sugars was higher in fruits with 100% maturation. The antioxidant capacity and the total phenolic content were not affected by the state of maturity, but these parameters reached their maximum value in peppers stored at 20 ° C. Finally, capsaicin was not detected for any of the treatments. These results suggest that the pepper, being a fruit classified as non-climacteric, when harvested at the time of presenting 10% red, can continue its maturation process and this process is delayed by a storage temperature of 8 ° C.

Key words: *Capsicum annuum*, quality, storage conditions, ripening.

Thesis: Universidad Autónoma Chapingo.
Author: Frida Beatriz López González
Advisor: Dr. Salvador Valle Guadarrama

3.1 Introducción

De manera natural y derivado del propio metabolismo, los frutos de pimiento transitan por etapas de maduración y senescencia que alteran sus características físicas y químicas (Contreras-Padilla & Yahia, 1998) y por lo tanto se relacionan con la calidad y su vida postcosecha (Tadesse *et al.*, 2002). Los frutos de pimiento son clasificados como no climatéricos (Saltveit, 1977) y por ello se les cosecha en estado de madurez de consumo, sin embargo se ha reportado comportamiento climatérico en el cultivar Domino (Tadesse *et al.*, 2002). Al respecto, Paul, Pandey & Srivastava (2012) han encontrado que al interior de una misma especie es posible tener variedades climatéricas y no climatéricas, lo que sugiere que no es posible hacer una generalización del comportamiento respiratorio por especies, sino que cada variedad debe estudiarse en forma específica.

En particular, debido a su alta transpiración, los frutos de pimiento son altamente perecederos en condiciones ambientales, lo que causa rápida deshidratación, pérdida de firmeza (Priya Sethu, Prabha, & Tharanathan, 1996) y la incidencia de enfermedades por el desarrollo de hongos (Ragab *et al.*, 2012). En la literatura disponible hay poca información sobre el comportamiento postcosecha en función del estado de madurez al momento de la cosecha. La caracterización del comportamiento postcosecha de un fruto es necesaria para el desarrollo de un manejo que permita preservar su calidad por más tiempo. Por todo lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios que ocurren en frutos de pimiento morrón variedad Triple 5 cosechados en los estados de madurez fisiológica y madurez de consumo.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Material vegetal

Se seleccionaron frutos de pimiento morrón (*Capsicum annuum* var. *annuum*) con maduración en rojo (cultivar 'Triple 5'), producidos en un invernadero en el

municipio de Colón, Querétaro. Los frutos, de tamaño homogéneo y libres de defectos, fueron cosechados en tres diferentes etapas de madurez, tomando en cuenta la coloración roja en porcentajes de 10 (M10), 50 (M50) y 100 (M100) %.

3.2.2 Organización experimental

De cada grado de madurez (M10, M50 y M100) se formaron 66 unidades experimentales (UE) compuestas por dos frutos cada una. La mitad de las UE se colocaron a una temperatura de 20 ± 0.3 °C (T20), considerada representativa de la condición térmica ambiental en el lugar de producción, y la otra mitad a una temperatura de 8 ± 1 °C (T8), considerada como una condición que no genera riesgo de daño por frío. De esta forma se tuvieron dos factores de variación, dados por la temperatura (T) y el estado de madurez (M), formando así seis tratamientos. Todos los tratamientos se evaluaron durante el almacenamiento y por triplicado. Para ello, en el día de la cosecha, a las 24 horas y cada 72 horas, hasta un tiempo de almacenamiento de 28 días, se tomaron tres UE de cada tratamiento para someter los frutos a evaluación de peso (pérdida acumulada de peso), color, firmeza, sólidos solubles totales (SST, °Brix), acidez titulable, azúcares, fenoles y carotenoides totales, capsaicina y capacidad antioxidante.

3.2.3 Variables físicas y fisiológicas

Pérdida de peso

El peso de cada UE fue evaluado con balanza digital (Ohaus, USA) y la pérdida de peso fue calculada en porcentaje con respecto al peso fresco inicial.

Color

El color fue evaluado con un colorímetro HunterLab (Mini Scan XE Plus 45/0-L, USA) y se midieron los parámetros L^* , a^* y b^* , que fueron la base para expresar dicha variable en ángulo de tono ($H^* = \tan^{-1} b^*/a^*$) y la cromaticidad (C^*) (McGuire, 1992).

Firmeza

La firmeza fue expresada en Newtons (N), como el promedio de tres determinaciones hechas en la región ecuatorial de los frutos con un analizador de textura (TA-XT2i; Stable Micro Systems, UK), con un accesorio cilíndrico en una rutina de compresión, donde se empleó distancia de deformación de 3 mm y velocidad de ensayo de 2 mm s⁻¹.

3.2.3 Variables químicas

Sólidos solubles totales, acidez y pH

Se midieron sólidos solubles totales (SST, °Brix) en el jugo de la pulpa con un refractómetro portátil Abbe (Atago Co., Japan). Para la determinación del pH, 20 g de pimiento se molieron con 100 mL de agua y la mezcla se filtró para evaluar el pH de la fracción líquida con un potenciómetro portátil (Thermo Scientific, Orion 3 Star, Singapur). La acidez fue evaluada por titulación de 10 mL de la misma mezcla con NaOH 0.1 N, hasta que se ajustó a un pH de 8.2 (AOAC, 1980) y se expresó en porcentaje de ácido cítrico.

Preparación de extractos

Se obtuvieron extractos metanol-agua de los frutos de pimiento de cada tratamiento por el método descrito por Hernández-Rodríguez (2016). Cada muestra (2 g) fue suspendida en 10 mL de una mezcla de metanol/agua (4:1 v/v); la muestra se agitó durante 1 min y se ajustó el pH a 3.0 con HCl al 10 %. Se aplicó agitación durante 3 min (Vortex synergy, WVR International), sonicación durante 15 min (Ultrasonic Cleaner 8890, Cole Parmer), agitación en una incubadora durante 30 min a 30 °C (Orbital Prendo INO-650 M) y centrifugación por 15 min a 4000 rpm (SOLBAT J-600, México). El sobrenadante se recuperó y se transfirió a un matraz volumétrico de 10 mL, donde se aforó con el disolvente empleado para la extracción. Los extractos obtenidos se almacenaron a -20 °C

en frascos color ámbar para el análisis posterior de azúcares totales, capacidad antioxidante y fenoles.

Contenido de azúcares totales

Se realizó una dilución del extracto de cada muestra con agua destilada para evaluar el contenido de azúcares por el método de fenol-sulfúrico (Dubois, Gilles, Hamilton, Rebers, & Smith, 1956; Šafařík & Šantrůčková, 1992), para lo cual se preparó una curva estándar de glucosa en concentraciones de 11.43 a 81.04 $\mu\text{g mL}^{-1}$.

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante fue determinada por los ensayos ABTS (Re et al., 1999) y FRAP (Benzie & Strain, 1996) adaptados a microplacas (Biotek Instruments Inc., Winoosky, VT, USA). La curva de trolox (6-hidroxy-2,5,7,8-tetramethylchomane-2-carboxylic acid) se preparó en concentraciones de 5.11 a 61.36 μM y los resultados se presentan en $\mu\text{moles equivalentes de trolox por gramo de muestra en peso fresco}$ ($\mu\text{mol ET g}_{\text{PF}}^{-1}$).

Determinación de fenoles solubles totales

El contenido de fenoles solubles totales (FST) fue determinado por el método Folin-Ciocalteu (Singleton & Rossi, 1965) adaptado a microplacas (Biotek Instruments Inc., Winoosky, VT, USA). Una curva de ácido gálico se preparó en un intervalo de concentraciones de 0.001 a 0.1 mg mL^{-1} . Los resultados fueron expresados en $\text{miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de peso fresco}$ ($\text{mg EAG g}_{\text{PF}}^{-1}$).

Carotenoides totales

La cuantificación de carotenoides totales se llevó a cabo de acuerdo con el método de Camargo, da Silva, Alves, Flach y Ruffo (2015). La pulpa del pimiento (0.2 g) fue suspendida en la solución de extracción, hexano-acetona (6:4 v/v), la

muestra se agitó durante 1 min y se incubó a temperatura ambiente por 9 min, se filtraron e inmediatamente se sometieron a medición de absorbancia con un espectrofotómetro (DR 500 HACH, Germany) a 450 nm. Se realizó una curva de calibración estándar de β -caroteno en un intervalo de concentración de 0.4 a 3.75 $\mu\text{g mL}^{-1}$. Los resultados se reportaron como mg de β -caroteno/100 g de muestra.

Capsaicina

La determinación de capsaicina se llevó a cabo por el método de Parrish (1996). Para la extracción de cada muestra se pesó un gramo de pulpa de pimiento y se suspendió en 5 mL de acetonitrilo. La mezcla se colocó en un termo-baño a 65 °C durante 4 h. Los extractos se filtraron con acrodiscos de 0.2 μm de poro y 25 mm de diámetro (Agilent) y se colocaron en viales ámbar para su posterior evaluación. La identificación se realizó en un cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC) en fase reversa, calibrado a una longitud de onda de 284 nm de absorbancia, para lo cual se utilizó una columna con partículas de 5 μm de diámetro (Hypersil ODS, Agilent) 250 mm de longitud y 4.6 mm de diámetro. Se inyectaron 10 μL de extracto en el equipo con un tiempo de análisis de 15 min para cada muestra. La fase móvil consistió en una mezcla de acetonitrilo/agua 73:27 (v/v). La cuantificación se hizo con base en una curva patrón correspondiente al estándar de capsaicina (8-metil-N vanillil-6-nonemamida, Sigma Co.) en un intervalo de concentración de 0.01 a 0.13 mg mL^{-1} .

3.2.4 Análisis estadístico

Esta fase experimental se condujo en forma congruente con un arreglo factorial completo alojado en un diseño completamente al azar. El estado de madurez constituyó uno de los factores de variación, con tres niveles (M10, M50 y M100), mientras que la temperatura constituyó el segundo factor de variación con dos niveles (T8 y T20), el tiempo de almacenamiento constituyó un tercer factor. Los datos obtenidos se manejaron través de un análisis de varianza que fue

complementado con pruebas de comparación de medias (Tukey, $Pr \leq 0.05$). Se utilizó el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc., 1999).

3.3 Resultados y discusión

3.3.1 Análisis de varianza

El Cuadro 1 muestra los resultados del análisis de varianza de las distintas variables respuesta.

3.3.2 Pérdida de peso

El análisis estadístico mostró que la temperatura, el estado de madurez y el tiempo de almacenamiento y la interacción tiempo y temperatura de almacenamiento, tuvieron efecto significativo ($Pr \leq 0.05$) sobre la pérdida de peso (Cuadro 1). La pérdida de peso incrementó progresivamente durante el tiempo de almacenamiento a las dos temperaturas examinadas (Figura 1).

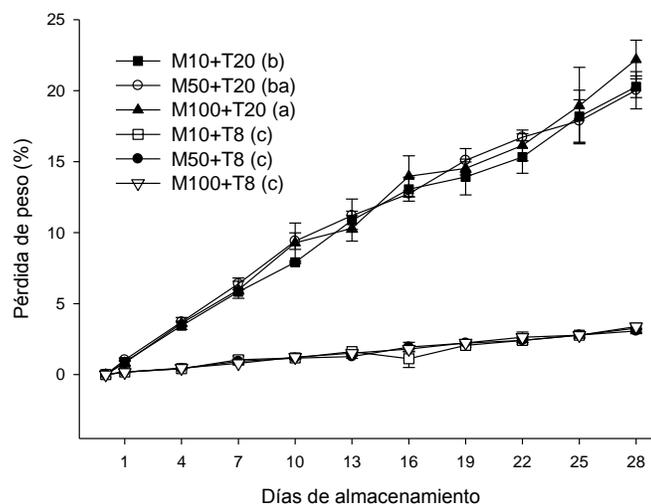


Figura 1 Efecto del estado de madurez al corte y la temperatura de almacenamiento sobre la pérdida de peso de pimientos almacenados por 28 días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $Pr \leq 0.05$). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

Cuadro 1 Valores percentiles de la distribución de Fisher (0.05) con $\alpha=0.05$ y valores de F correspondientes al análisis de varianza de la evaluación de tres estados de madurez sobre el comportamiento postcosecha de frutos de pimiento.

Variable	Factor de variación						Error	CV (%)
	T	M	Φ	TxM	Tx Φ	Mx Φ		
	(Temp)	(Madurez)	(Día)					
GL	1	2	10	2	10	20	132	
F _{0.05}	3.91	3.06	1.9	3.06	1.9	1.65		
	Variables respuesta							
%PP	7835.8*	3.55*	605.11*	2.11 ^s	327.50*	1.07 ^{ns}		11.85824
Firmeza	1985.3*	16.66*	166.90*	8.42*	29.49*	1.68*		12.08884
L*	146.17*	334.83*	11.78*	9.16*	18.09*	5.06*		3.066929
H*	441.81*	469.62*	29.63*	84.6*	10.33*	10.29*		10.42698
C*	25.71*	21.57*	39.41*	44.0*	15.92*	8.23*		7.170601
SST	0.72 ^{ns}	58.71*	8.61*	0.65 ^{ns}	1.82 ^{ns}	1.23 ^{ns}		9.593765
Acidez	6.78*	92.19*	15.69*	2.10 ^{ns}	2.01*	1.34 ^{ns}		10.14413
pH	101.96*	49.73*	7.88*	2.58 ^{ns}	3.50*	3.03*		1.323417
Azúcares	0.00 ^{ns}	10.38*	2.87*	1.16 ^{ns}	2.14*	1.10 ^{ns}		28.14623
CapAntiox FRAP	28.12*	0.62 ^{ns}	3.75*	0.19 ^{ns}	1.05 ^{ns}	1.25 ^{ns}		17.73692
CapAntiox ABTS	6.77*	1.27 ^{ns}	8.41*	0.99 ^{ns}	2.68*	1.25 ^{ns}		20.75624
FST	11.63*	2.03 ^{ns}	6.53*	0.42 ^{ns}	0.42 ^{ns}	1.25 ^{ns}		13.88246
Carotenoides	379.18*	194.81*	12.42*	2.89 ^{ns}	10.27*	0.47 ^{ns}		25.94212

^z Los símbolos * y ns significan efecto significativo y no significativo, respectivamente, de los factores de variación sobre las variables respuesta.

Sin embargo, los frutos almacenados a T8 perdieron en promedio 3 % de peso al final del periodo de almacenamiento, mientras que los frutos almacenados T20 alcanzaron pérdidas del 20-22 %.

Los tratamientos a T8 no mostraron diferencias estadísticas significativas ($Pr \leq 0.05$), mientras que frutos M100+T20 perdieron significativamente más peso que los frutos M10+T20 (Figura 1). El pimiento es considerado un fruto con alta transpiración (Priya Sethu et al., 1996); es decir, la pérdida de agua de los tejidos vegetales por evaporación equivale a pérdida de peso comercial (Wills, McGlasson, & Joyce, 1998). De acuerdo a un estudio realizado por Edusei *et al.* (2012) con frutos de pimiento, la baja pérdida de peso a 8 ± 1 °C puede ser atribuida al retraso de los procesos fisiológicos como la respiración y transpiración que ocurren a bajas temperaturas (Edusei, Ofosu, Johnson, & Cornelius, 2012). Una tendencia similar fue observada por Tano *et al.* (2008), quienes evaluaron el efecto de diferentes temperaturas de almacenamiento sobre la calidad fresca de pimientos y observaron que a menor temperatura de almacenamiento menor era la pérdida de agua. Los principales factores fisiológicos que impactan negativamente a los frutos de pimiento durante su envío, almacenamiento y posterior comercialización son la pérdida de agua y el daño por frío (Smith, Stommel, Fung, Wang, & Whitaker, 2006). Las pérdidas de agua afectan fundamentalmente el aspecto por marchitamiento, arrugamiento y cambios de textura, mientras que temperaturas por debajo de 7 °C causan daños por frío (Sayyari & Ghanbari, 2013), lo cual fue tomado en cuenta para utilizar la condición de 8 °C en el presente trabajo.

3.3.3 Firmeza

De acuerdo con el análisis estadístico los factores temperatura, estado de madurez, tiempo de almacenamiento y sus interacciones tuvieron un efecto significativo ($Pr \leq 0.05$) sobre la firmeza de los frutos de pimiento. La firmeza de los frutos de pimiento disminuyó durante el periodo de almacenamiento (Figura 2).

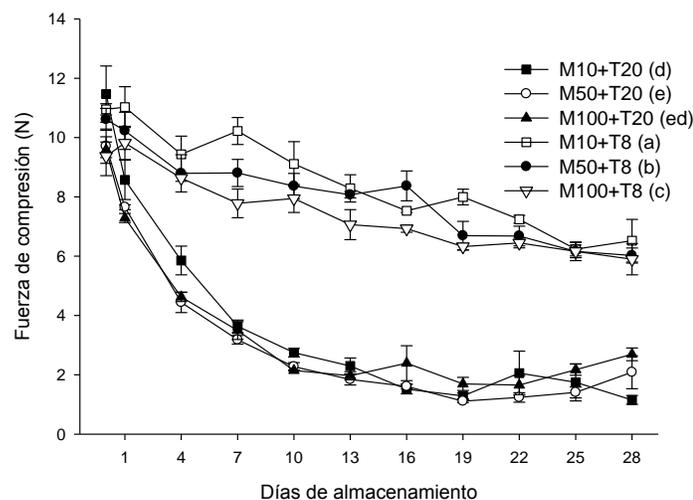


Figura 2 Efecto del estado de madurez al corte y la temperatura de almacenamiento sobre la firmeza de pimientos almacenados por 28 días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $Pr \leq 0.05$). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

Los frutos almacenados a T20 presentaron valores de firmeza en el intervalo de 1.15 a 2.69 N al final del periodo de almacenamiento, considerablemente menor a los de T8 (5.9 a 6.5 N). Los frutos M10+T8 presentaron valores de firmeza estadísticamente superiores ($Pr \leq 0.05$) a los demás tratamientos, seguido de M50+T8 y M100+T8. En un estudio realizado en chiles jalapeños Mendoza-Sánchez *et al* (2015) encontraron que chiles verdes presentaron valores mayores de firmeza en epicarpio y pulpa que en chiles rojos. La firmeza es uno de los parámetros más importantes en los frutos de chile con respecto a la aceptación del consumidor. El mayor problema postcosecha de estos frutos es un ablandamiento excesivo que puede causar arrugamiento y cambios bioquímicos que reducen gravemente su calidad y aceptabilidad. El pimiento se ablanda intensamente durante la maduración (Priya Sethu *et al.*, 1996), lo que sugiere que frutos menos maduros son más firmes que aquéllos que están en avanzado estado de madurez y tal comportamiento fue observado en este estudio. El ablandamiento, que se produce en cualquier fruta es debido principalmente a un cambio en el metabolismo de carbohidratos de la pared celular, lo que resulta en

una disminución neta en ciertos componentes estructurales. Los cambios en la composición de la pared celular resultan de la acción de las enzimas hidrolíticas producidas por el fruto. Dado que la temperatura es el factor ambiental más eficaz para reducir la senescencia, ésta tiene influencia en las enzimas (Priya Sethu *et al.*, 1996), lo que puede explicar una menor reducción de firmeza en frutos almacenados a T8. La disminución de la firmeza en pimientos está asociada con la pérdida de agua (Cantwell, 1999). Dicha asociación también fue observada en este estudio, ya que los frutos que sufrieron mayor pérdida de agua, presentaron valores menores de firmeza.

3.3.4 Color

Luminosidad

El parámetro de color L^* representa la luminosidad (brillantez), con valores entre 0 (negro) a 100 (blanco) (Shewfelt, 2002). La luminosidad L^* resultó ser afectada por los factores, estados de madurez, temperatura y tiempo de almacenamiento (Cuadro 1). Los tratamientos con estado de madurez diferente a M100 tendieron al aumento de la luminosidad (Figura 3).

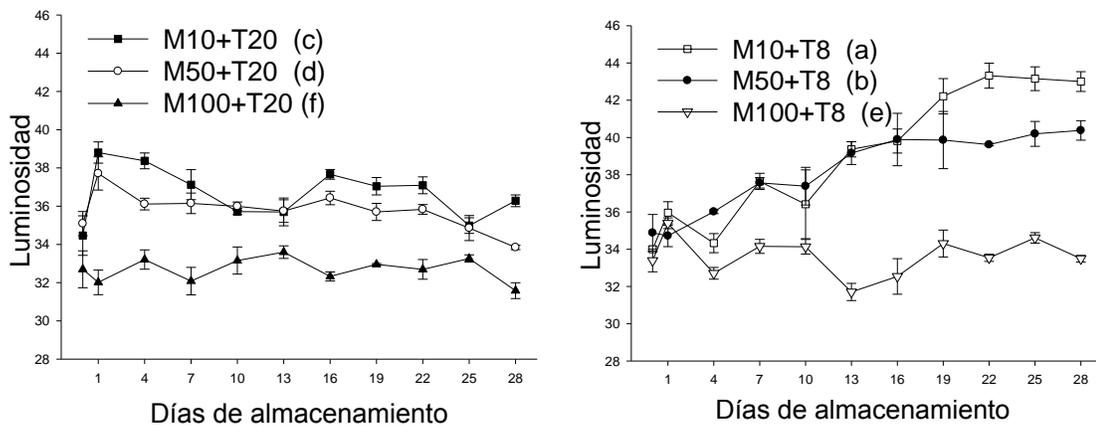


Figura 3 Efecto del estado de madurez al corte y la temperatura de almacenamiento (20 °C Izq.; 8 °C Der.) sobre la luminosidad (L^*) de pimientos almacenados por 28 días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $Pr \leq 0.05$). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

Frutos M10+T8 y M50+T8 resultaron con valores de L* más altos con respecto a aquéllos almacenados a T20, como resultado del retardo del proceso de maduración a T8 ya que el tratamiento M10+T8 no alcanzó a completar su coloración roja al 100 % al término del estudio. En un estudio en el que se evaluó el efecto del estado de madurez de pimientos cultivar “Almuden” al momento de la cosecha (verde inmaduro, verde y rojo) y dos sistemas de cultivo (orgánico y convencional), se observó que L* disminuyó con la maduración en ambos sistemas de cultivo evaluados (Pérez-López et al., 2007).

Ángulo de tono

Los factores evaluados, estado de madurez, temperatura y el tiempo de almacenamiento, así como sus interacciones, resultaron ser significativos ($Pr \leq 0.05$) para explicar el comportamiento de esta variable (Cuadro 1). La Figura 4 representa el comportamiento del ángulo de tono de los pimientos, el cual fue disminuyendo durante el tiempo de almacenamiento.

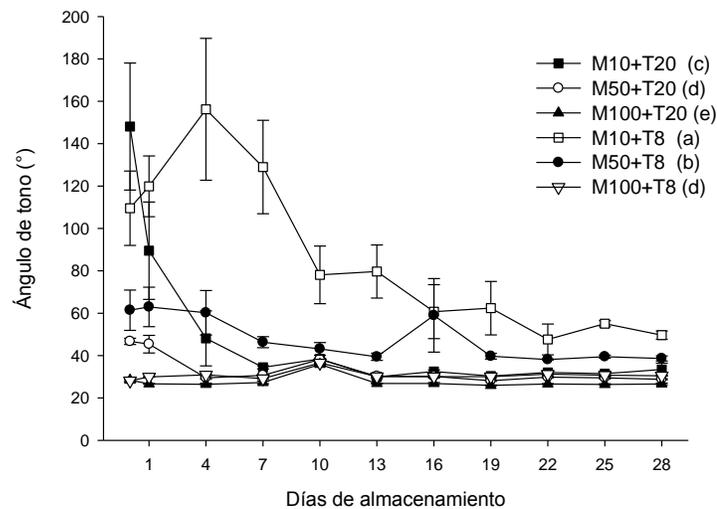


Figura 4 Efecto del estado de madurez al corte y la temperatura de almacenamiento sobre el ángulo de tono de pimientos almacenados por 28 días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $Pr \leq 0.05$). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

Los frutos M100 presentaron valores de ángulo de tono entre 27 y 30° durante el almacenamiento, el tratamiento M100+T20 reportó los valores estadísticamente más bajos de ángulo de tono, seguido por los tratamientos M50+T20 y M100+T8 (estadísticamente iguales, $Pr \leq 0.05$) M10+T20, M50+T8 y M10+T8. Indicando la interacción entre el estado de madurez y la temperatura de almacenamiento. Frutos M50+T20 lograron alcanzar un ángulo de tono cercano a los frutos M100 en menor tiempo que los M50+T8. Sin embargo, el tratamiento M10+T8 no alcanzó a completar su coloración completa roja al final del periodo de almacenamiento, lo que sí sucedió con los frutos M10+T20. El comportamiento de la coloración de los frutos de pimiento se puede apreciar en la Figura 5.

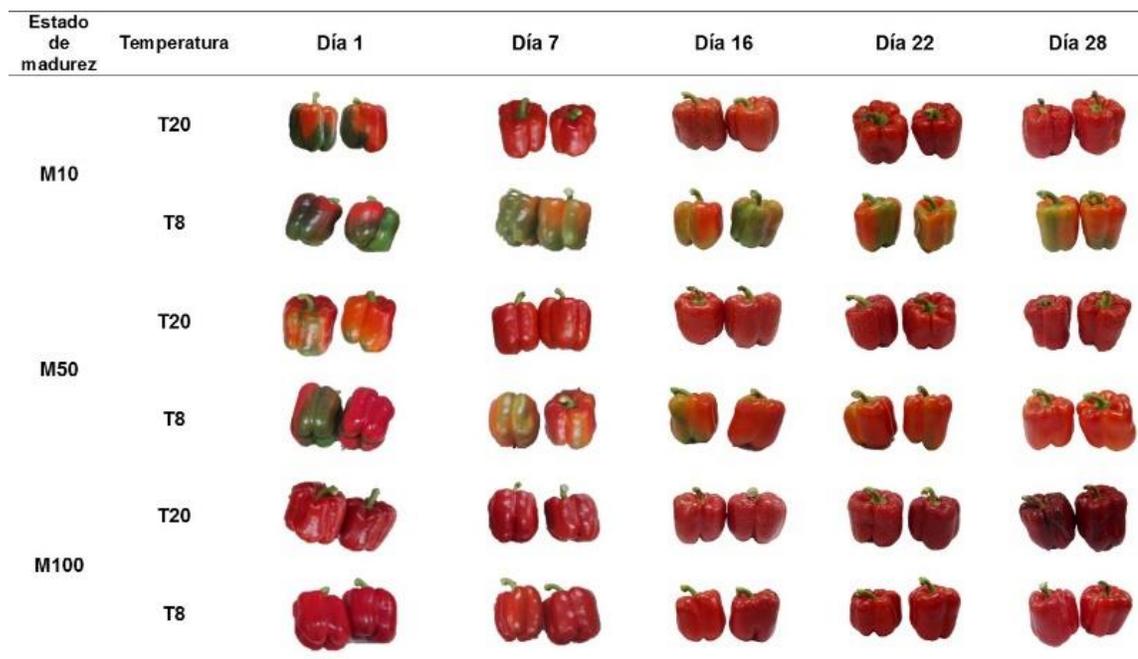


Figura 5 Evolución de la coloración y apariencia de los frutos de pimiento en diferentes estados de madurez al corte durante su almacenamiento a 8 y 20 °C.

El ángulo de tono es un indicador de los cambios de color de verde a amarillo y rojo (Shewfelt, 2002). El cambio en el color de la superficie de los pimientos toma lugar como resultado de la degradación de clorofila y un importante incremento en su contenido de carotenoides, lo cual está influenciado por la temperatura e iluminación a la que los frutos están expuestos (Pérez-López et al., 2007). De

acuerdo a Cantwell (2013) temperaturas entre 20 y 25°C aceleran la maduración o el cambio de color en pimientos, mientras que las bajas temperaturas restringen la tasa de maduración y senescencia en frutos y vegetales (Edusei *et al.*, 2012), lo que puede explicar el comportamiento observado en este estudio.

Croma

La cromaticidad o croma es definida como la intensidad de color o pureza del tono. Valores cercanos a 0 corresponden a colores neutrales (ej. color gris) y valores cercanos a 60 a colores brillantes (McGuire, 1992). Esta variable fue afectada por todos los factores evaluados y sus interacciones. Los valores de croma fueron aumentando en todos los tratamientos durante el tiempo de almacenamiento (Figura 6).

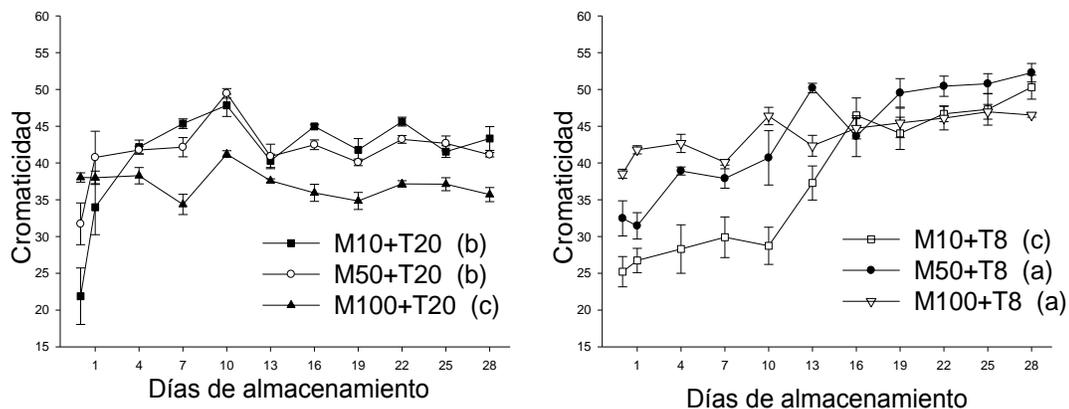


Figura 6 Efecto del estado de madurez al corte sobre la cromaticidad de pimientos almacenados a 20 °C (Izq) y 8 °C (Der.) por 28 días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $Pr \leq 0.05$). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

Los tratamientos M50+T8 y M100+T8 resultaron con los valores más altos de croma (>45), mientras que los tratamientos M100+T20 y M10+T8 presentaron los valores más bajos, cercanos a 35. Tadesse *et al.* (2002) indicaron que un incremento en la intensidad del color (croma) ocurre con el decremento en el ángulo de tono, comportamiento observado en los tratamientos almacenados a

T8. Sin embargo, los tratamientos M100+T20 M50+T20 y M10+T20 que resultaron con ángulos de tono más bajos no presentaron los valores de croma más altos, lo que sugiere que la temperatura de refrigeración al retrasar la maduración y senescencia de los frutos permitió la conservación de la intensidad del color en frutos almacenados en estas condiciones.

3.3.5 Sólidos solubles totales (SST)

El estado de madurez y el tiempo de almacenamiento resultaron ser factores significativos ($Pr \leq 0.05$) en el contenido de SST de las muestras (Cuadro 1). Los frutos con M100 presentaron, durante el almacenamiento, mayor contenido de SST que los M50 y M10 en las dos temperaturas evaluadas, aunque no se presentó un comportamiento constante de esta variable a lo largo del periodo de almacenamiento (Figura 7).

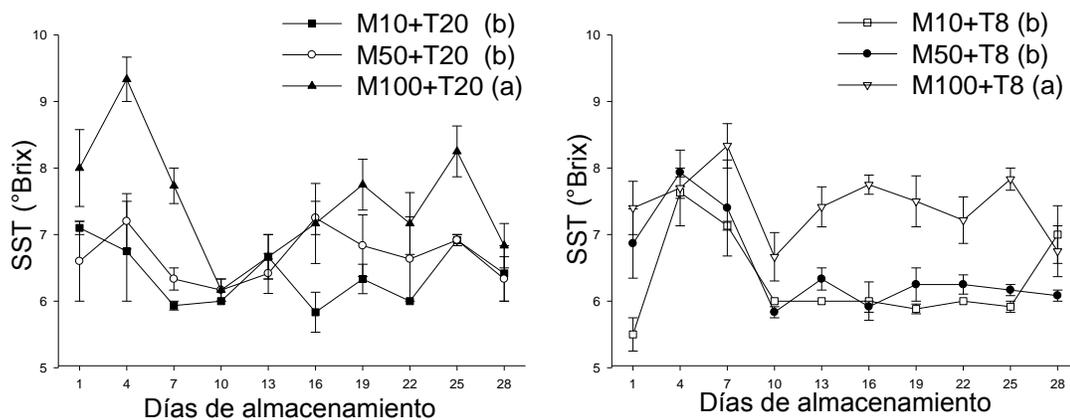


Figura 7 Efecto del estado de madurez al corte sobre los SST de pimientos almacenados a 20 °C (Izq) y 8 °C (Der.) por 28 días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $Pr \leq 0.05$). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

Tadesse *et al.* (2002) reportaron un incremento en SST de frutos de pimiento en relación a la maduración de los frutos. El incremento de sólidos solubles totales (SST) de pimientos dulces durante la maduración es probablemente resultado del incremento de acumulación de azúcares durante la maduración del fruto (Nielsen *et al.*, 1991).

3.3.6 Acidez titulable

La acidez titulable de los frutos, es un componente importante de la calidad organoléptica de los mismos y está determinada principalmente por la presencia de los ácidos málico y cítrico, siendo éstos los principales ácidos orgánicos encontrados en muchos frutos maduros (Etienne, Génard, Lobit, Mbéguié-A-Mbéguié, & Bugaud, 2013). En el presente estudio, el estado de madurez resultó ser un factor significativo ($Pr \leq 0.05$) para explicar el comportamiento de la acidez de los frutos, los tratamientos con factor M100 presentaron mayor acidez titulable que los tratamientos M50 y M10 en las dos temperaturas (Figura 8).

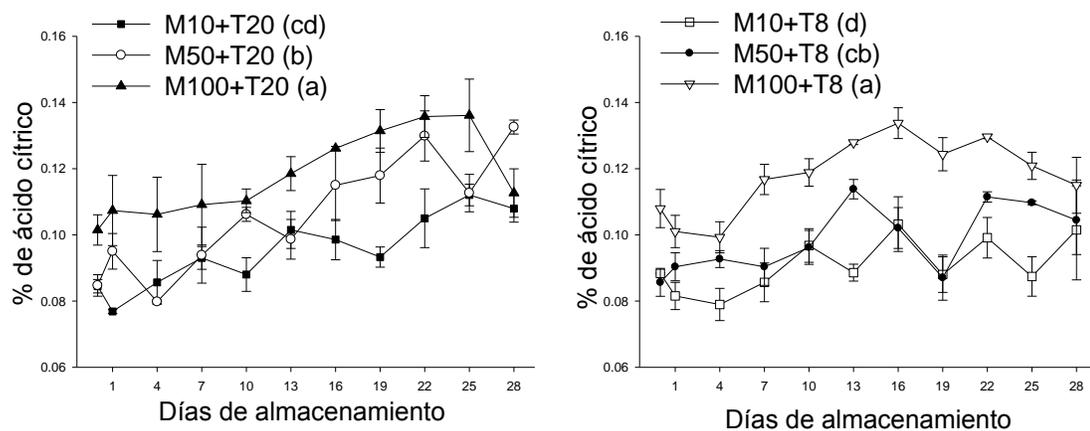


Figura 8 Efecto del estado de madurez al corte sobre la acidez de pimientos almacenados a 20 °C (Izq) y 8 °C (Der.) por 28 días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $Pr \leq 0.05$). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

Este porcentaje fue en aumento en todos los tratamientos a través del periodo de almacenamiento. Los frutos de M100+T8 y M100+T20 resultaron significativamente iguales ($Pr \leq 0.05$) en acidez titulable, mientras que frutos M50+T20 presentaron un mayor porcentaje que M50+T8 y éstos a su vez más alta que M10+T8, lo que sugiere que la temperatura resultó ser un factor determinante para esta variable en los estados de madurez M50 y M10. La acidez de los frutos es un índice de maduración que aumenta con el proceso de desarrollo y que comienza a disminuir una vez que el fruto ha madurado (Etienne

et al., 2013), lo que explica las diferencias encontradas al comparar los tratamientos con M100 y el retardo del proceso de maduración a consecuencia de la temperatura de refrigeración.

3.3.7 pH

El pH de los frutos de pimiento resultó ser afectado por los tres factores evaluados, estado de madurez, temperatura y tiempo de almacenamiento. El valor del pH en los tratamientos osciló entre 5.35 y 5.58 durante el periodo de almacenamiento, aunque no se observó una tendencia constante (Figura 9). En frutos correspondientes a M10 el pH fue mayor con respecto a frutos M50 y M100 a las dos temperaturas de almacenamiento, lo que sugiere que el pH es menor conforme la cosecha se atrasa, aunque frutos M100+T8 resultaron al final del periodo de almacenamiento con un pH más bajo que M100+T20, y este comportamiento fue quizá debido al proceso de senescencia que se presentó con mayor velocidad en frutos almacenados a T20 que en los almacenados a T8.

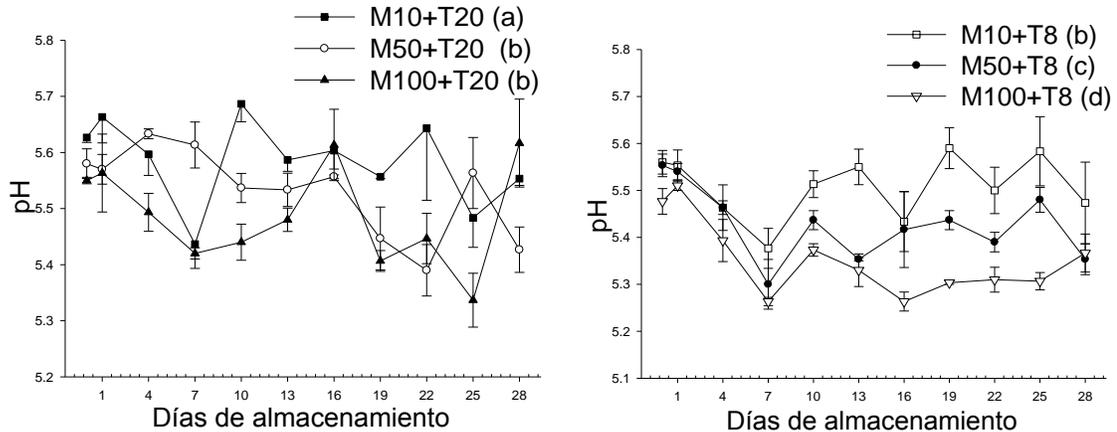


Figura 9 Efecto del estado de madurez al corte sobre el pH de pimientos almacenados a 20 °C (Izq) y 8 °C (Der.) por 28 días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

3.3.8 Azúcares totales

El estado de madurez y el tiempo de almacenamiento fueron factores significativos ($Pr \leq 0.05$) para el contenido de azúcares totales de los frutos evaluados (Cuadro 1). La concentración de azúcares totales fue mayor en frutos M100 y menor en frutos M10 en ambas temperaturas de almacenamiento, mientras que frutos M50 quedaron agrupados estadísticamente entre éstos. Sin embargo, la tendencia fue variable durante el almacenamiento (Figura 10). Los azúcares desempeñan un papel importante en las características de sabor de los frutos y la fisiología de la maduración tiene una implicación considerable en el patrón de acumulación de azúcar de los frutos (Navarro *et al.*, 2006).

Navarro *et al.* (2006) reportaron que la concentración de azúcares totales incrementó con la maduración, ya que frutos de pimiento rojo (piel completamente roja) obtuvieron los niveles más altos que pimientos verdes y cambiantes (“turning”; aproximadamente la mitad de la piel verde y la otra mitad roja). Tal comportamiento fue observado en este estudio.

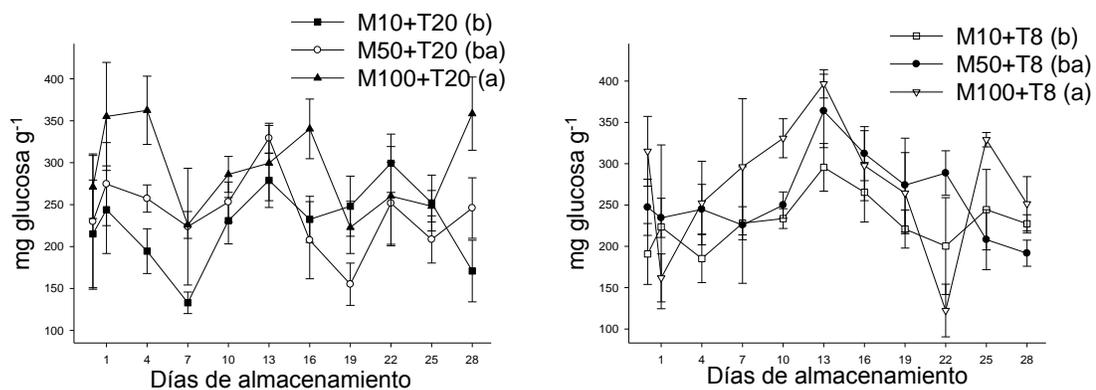


Figura 10 Efecto del estado de madurez al corte sobre el contenido de azúcares totales en pimientos almacenados a 20 °C (izquierda) y 8 °C (derecha) por 28 días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, 0.05). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

3.3.9 Capacidad antioxidante

La temperatura fue el único factor significativo ($P \leq 0.05$; Cuadro 1) que afectó la capacidad antioxidante de los frutos determinada por el ensayo ABTS. Los frutos almacenados a T20 resultaron con mayor capacidad antioxidante ($5.52 \mu\text{mol trolox g}^{-1}$) que los almacenados a T8 ($5.11 \mu\text{mol ET trolox g}^{-1}$). Comportamiento similar resultó en el ensayo FRAP, pues frutos almacenados a T20 resultaron con mayor capacidad antioxidante ($5.2 \mu\text{mol ET trolox g}^{-1}$) que los almacenados a T8 ($4.54 \mu\text{mol ET trolox g}^{-1}$). Sin embargo no se observó una tendencia constante a lo largo del periodo de almacenamiento (Figuras 11 y 12). El pimiento, cuando es comparado con otros vegetales, es clasificado como alto en capacidad antioxidante y se ha reportado que esta capacidad incrementa con la madurez de los frutos (Howard, Talcott, Brenes, & Villalon, 2000; Navarro, Flores, Garrido, & Martinez, 2006; Deepa, Kaur, George, Singh, & Kapoor, 2007). Sin embargo, en un estudio en el que fue evaluada la inducción de la maduración en pimientos cosechados en diferentes estados de madurez la capacidad antioxidante no fue alterada por el estado de madurez (Fox, Del Pozo-Insfran, Joon, Sargent, & Talcott, 2005). Estas discrepancias sugieren que la capacidad antioxidante en *Capsicum annum* puede variar entre genotipos (Deepa *et al.*, 2006).

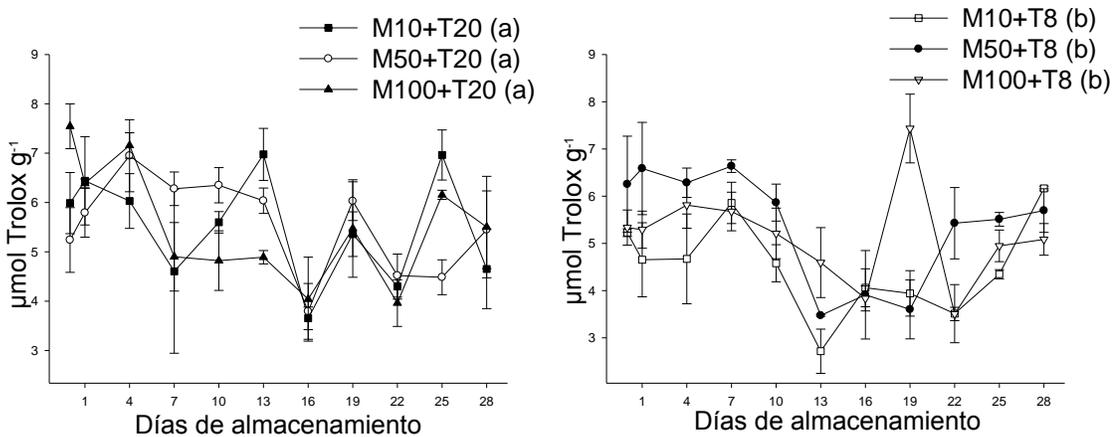


Figura 11 Efecto del estado de madurez y la temperatura de almacenamiento (T20 Izq. y T8 Der.) sobre la capacidad antioxidante determinada por el ensayo ABTS en frutos de pimiento. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, 0.05). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

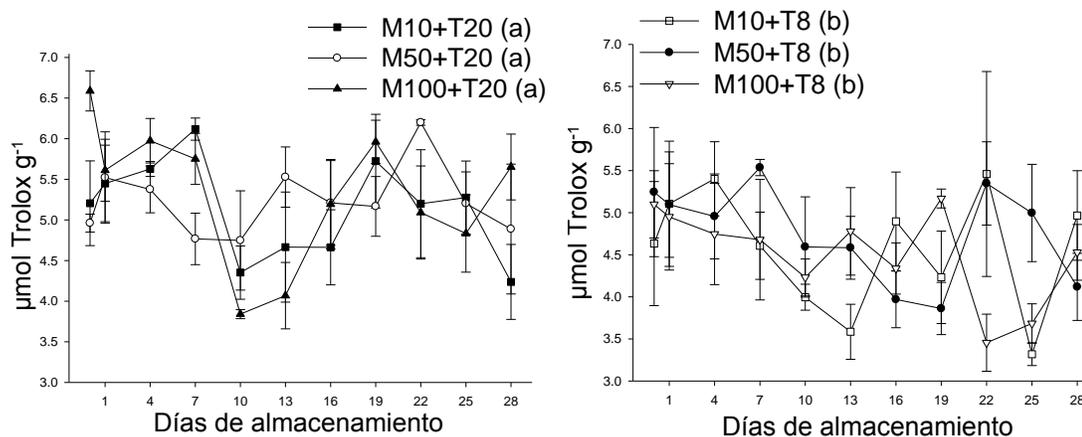


Figura 12 Efecto del estado de madurez y la temperatura de almacenamiento (T20; izquierda y T8; derecha) sobre la capacidad antioxidante determinada por el ensayo FRAP en frutos de pimiento. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $P_r \leq 0.05$). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

3.3.10 Contenido de fenoles solubles totales (FST)

El contenido de FST no resultó ser afectado por el estado de madurez, pero sí por la temperatura y el tiempo de almacenamiento (Cuadro 1). Aunque la concentración de ácido gálico muestra una tendencia a disminuir, esta concentración varió apreciablemente durante el tiempo de almacenamiento (Figura 13). En cuanto a la temperatura, los frutos almacenados a T20 presentaron una mayor concentración de fenoles que aquéllos almacenados a T8.

Diversos estudios reportan que el contenido de fenoles en frutos de pimiento incrementa con la madurez (Howard *et al.*, 2000; Pérez-López *et al.*, 2007; Serrano *et al.*, 2010), sin embargo este comportamiento no se apreció en el presente estudio. De acuerdo a Fox *et al.* (2005) esta variación indica una gran diversidad entre los frutos individuales, ya que ellos no encontraron cambios en el contenido fenólico durante la maduración, aunque sí encontraron diferencia en un segundo experimento, en el cual el incremento en la tasa de síntesis de FST y otros compuestos estuvo en función a la temperatura y la exposición de la luz.

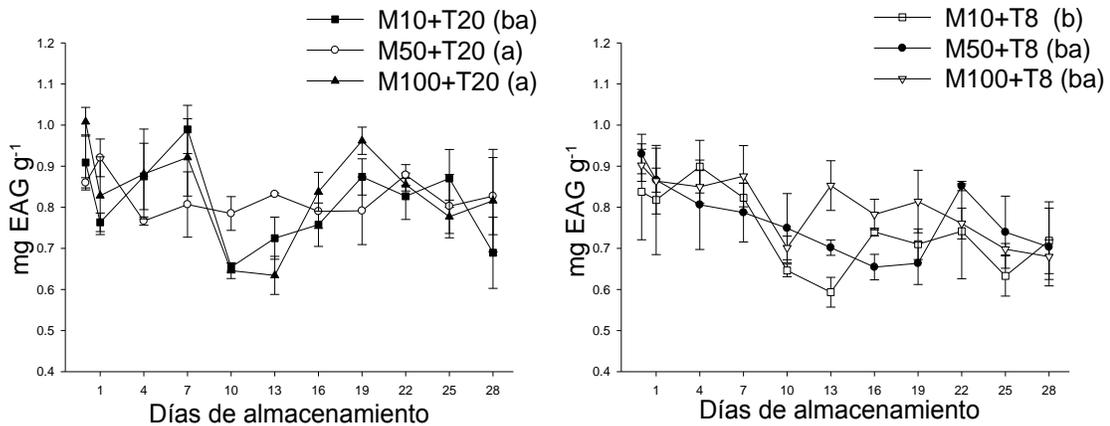


Figura 13 Efecto del estado de madurez y la temperatura de almacenamiento (T20; izquierda y T8; derecha) en el contenido de FST de frutos de pimienta. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $Pr \leq 0.05$). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

3.3.11 Carotenoides totales

En este estudio el contenido de carotenoides en las muestras fue en aumento durante el almacenamiento. El estado de madurez, la temperatura y el tiempo de almacenamiento fueron factores significativos ($Pr \leq 0.05$) que explican el comportamiento de esta variable (Cuadro 1). Los frutos de M100+T20 resultaron con mayor contenido de carotenoides que los frutos M50+T20 y M10+T20. Durante el periodo de almacenamiento la temperatura influyó en la síntesis de estos compuestos, ya que los tratamientos M10+T8 y M50+T8, resultaron con menor contenido de carotenoides que los almacenados a T20, mientras que el tratamiento M100+T8 fue estadísticamente igual ($Pr \leq 0.05$) al M50+T8 (Figura 14). Este comportamiento era esperado por el efecto de la temperatura de refrigeración, que resulta en un retraso en el proceso de maduración y senescencia de los frutos y por lo tanto en la degradación de la clorofila.

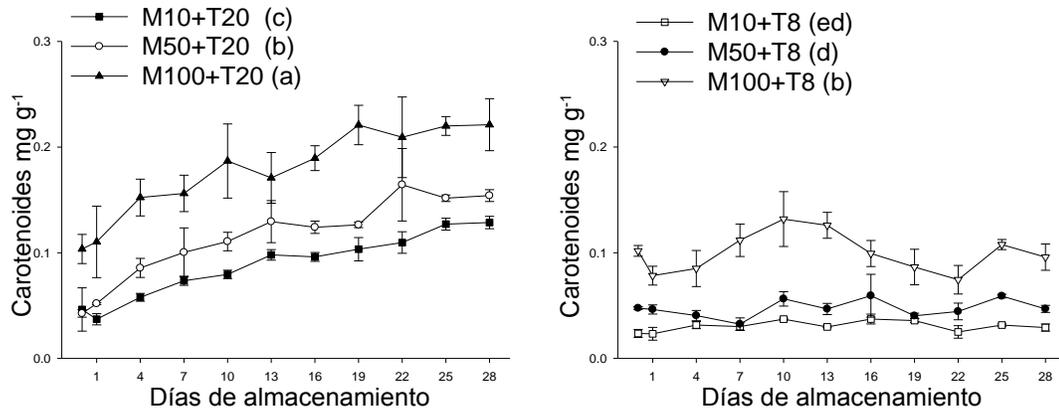


Figura 14 Efecto del estado de madurez y la temperatura de almacenamiento (T20; izquierda y T8; derecha) postcosecha en el contenido de carotenoides de frutos de pimiento Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, 0.05). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

El contenido de carotenoides es un indicador del valor nutricional y la calidad en pimientos, y éste puede variar dependiendo del estado de desarrollo o madurez del fruto y las condiciones de cultivo. La madurez es quizá el más importante de estos factores (Frery & Frery, 2012), ya que el contenido de carotenoides totales y de β -caroteno incrementó significativamente en un estudio realizado a diez genotipos de pimiento dulce en tres estados de madurez (Deepa *et al.*, 2007), lo que coincide con otros estudios realizados con pimientos rojos en los que observaron que tanto el estado de madurez como el tipo de cultivo (orgánico o convencional) influye en la concentración de carotenoides, siendo mayor en pimientos orgánicos (Pérez-López *et al.*, 2007).

3.3.12 Capsaicina

La capsaicina no fue detectada en las muestras al realizar el análisis correspondiente. Los capsaicinoides son metabolitos secundarios exclusivos del género *Capsicum* (Frery & Frery, 2012). Sin embargo, no todos los miembros del género acumulan capsaicinoides (Tewksbury *et al.*, 2006). Los capsaicinoides capsaicina y dihidrocapsaicina no son detectables en variedades de pimientos dulces, pero cantidades significativas de estos compuestos están presentes en tipos picantes y paprikas (Kozokue *et al.*, 2005; Garcés-Claver *et al.*, 2006).

3.4 Conclusiones

El estado de madurez y la temperatura de almacenamiento resultaron ser factores determinantes para el comportamiento de la mayor parte de las variables evaluadas. Las pérdidas de peso y firmeza resultaron menores en frutos con M10 y en aquéllos almacenados a T8. Los frutos de pimiento cosechados a partir del 10% de coloración sufren cambios propios de la maduración como la síntesis de carotenoides reflejado en el cambio de coloración de verde a rojo; sin embargo, a T8 estos cambios son más lentos que a T20. El contenido de SST y el porcentaje de acidez fueron mayores en frutos con M100 y en los almacenados a T20, mientras que el pH tendió a disminuir mientras los frutos maduraron. La capacidad antioxidante y el contenido de fenoles no fueron afectados por el estado de madurez, pero sí por la temperatura de almacenamiento, siendo mayor en los almacenados a T20.

4 MANEJO DE FRUTOS DE PIMIENTO MORRÓN CON MADUREZ TEMPRANA EN ATMÓSFERAS MODIFICADAS CON MICROPERFORADO

Resumen

Los frutos de pimiento, comercialmente, son cosechados en el color característico de la variedad, almacenados a 8 °C y también suelen ser envasados en películas plásticas con macroperforado, sin embargo estos envases no son tan eficaces para evitar su rápida deshidratación. Por otro lado los pimientos pueden ser cosechados y almacenados antes de alcanzar el color rojo al 100% para aumentar su vida de anaquel antes de su distribución y venta. El objetivo de este estudio fue evaluar el uso de una atmósfera modificada en frutos de pimiento cosechados cuando presentaban un 10 % coloración roja. Los frutos de pimiento fueron envasados en bolsas de polietileno de baja densidad (PBD) con cero, dos y cinco microperforaciones y se almacenaron a 20 y 8 ° C. Las muestras de los tratamientos a 20 °C fueron tomadas cada 48 h y los de 8 ° cada 96 h, hasta completar un tiempo de almacenamiento de 21 y 42 días respectivamente. El uso de la AM permitió la reducción significativa de pérdida de peso y firmeza en todos los tratamientos. El proceso de maduración fue retardado a 8°C en todas las condiciones de AM, sin embargo, la tonalidad roja de los pimientos se alcanzó, a los 21 días, únicamente en frutos almacenados a 20 °C en bolsas con cinco microperforaciones. Las características químicas tales como pH, acidez y SST respondieron de acuerdo al comportamiento de los frutos en proceso de maduración. Los frutos almacenados a 20 °C presentaron una mayor concentración de fenoles solubles totales, carotenoides y capacidad antioxidante que los almacenados a 8 °C. El uso de bolsas PBD con y sin microperforado retrasó varios parámetros de maduración y de deterioro fisiológico, sin pérdida apreciable de la calidad o atributos fitoquímicos. El uso de bolsas de PBD con cinco microperforaciones permitió la maduración de los frutos almacenados a 20 °C sin pérdida apreciable de su calidad por 21 días.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, calidad, empaque, maduración, refrigeración.

Tesis: Maestría en Ciencias en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Frida Beatriz López González

Director de Tesis: Dr. Salvador Valle Guadarrama

HANDLING OF MORRON PEPPER FRUITS WITH EARLY MATURITY IN MODIFIED ATMOSPHERES WITH MICROPERFORATED

Abstract

Pepper fruits, commercially, are harvested in the characteristic color of the variety, stored at 8 ° C and are also usually packed in plastic films with macroperforated, however these packages are not so effective to avoid the rapid dehydration of the peppers. On the other hand peppers can be harvested and stored before reaching the red color at 100% to increase shelf life before distribution and sale. The aim of this study was to evaluate the use of a modified atmosphere in pepper fruits harvested when they presented 10% red coloration. The pepper fruits were packed in low density polyethylene (LDP) bags with zero, two and five microperforations and stored at 20 and 8 ° C. Samples of the treatments at 20 ° were taken every 48 h and those at 8 ° each 96 hours, until completing the storage time of 21 and 42 days respectively. The use of AM allowed the significant reduction of weight loss and firmness in all treatments. The ripening process was delayed at 8 ° C in all AM conditions, however, the red color of the peppers was reached, at 21 days, only in fruits stored at 20 ° C in bags with five microperforations. The chemical characteristics such as pH, acidity and SST responded according to the behavior of the ripening fruit. The fruits stored at 20 ° C showed a higher concentration of total soluble phenols, carotenoids and antioxidant capacity than those stored at 8 ° C. The use of PBD bags with and without microperforation delayed several parameters of maturation and physiological deterioration, without appreciable loss of quality or phytochemical attributes. The use of PBD bags with five microperforations allowed the ripening of fruits stored at 20 ° C without appreciable loss of quality for 21 days.

Key words: *Capsicum annuum*, quality, package, ripening, refrigeration.

Thesis: Universidad Autónoma Chapingo.
Author: Frida Beatriz López González
Advisor: Dr. Salvador Valle Guadarrama

4.1 Introducción

Los frutos de pimiento morrón son altamente perecederos en condiciones ambientales, lo que causa pérdida de calidad por la rápida deshidratación, pérdida de firmeza (Priya Sethu *et al.*, 1996) y la incidencia de enfermedades por desarrollo de hongos como *Fusarium* (Ragab *et al.*, 2012). La refrigeración es la principal estrategia de conservación de la calidad del pimiento. Sin embargo, esta práctica se limita al uso de temperaturas mayores a 7 °C, por la susceptibilidad a daños por frío (Sayyari & Ghanbari, 2013). Otra estrategia es el uso de empaques en atmósfera modificada (AM) que retrasan el deterioro fisiológico de la fruta. El empaque en atmósfera modificada de frutos y vegetales frescos se refiere a la técnica de colocar productos con actividad respiratoria en películas de empaque poliméricas para modificar los niveles de O₂ y CO₂ dentro de la atmósfera del empaque, los cuales dependen de la interacción entre la respiración del producto y las propiedades de permeabilidad de la película de empaque continua o con perforaciones (Beaudry *et al.*, 1992; Kader, 1987).

El uso de películas plásticas en pimiento morrón limita la pérdida de agua, mantiene la firmeza de los frutos, reduce la susceptibilidad al daño por frío y se puede utilizar a través de las últimas etapas de la comercialización (aproximadamente 2-3 semanas) como una manera de mantener la calidad y prolongar la vida útil (Ben-Yehoshua *et al.*, 1983; González & Tiznado, 1993; Mahajan *et al.*, 2016; Manolopoulou *et al.*, 2010; Forney & Lipton, 1990). De acuerdo a un estudio realizado por Ben-Yehoshua (1983) el empaque en AM retrasó varios parámetros de deterioro fisiológico en tomates y pimientos mejor que la refrigeración en temperatura óptima de almacenamiento.

Un problema frecuente en esta técnica es la falta de control de la permeabilidad a gases del envase, lo que puede causar reducción excesiva de O₂ y alta concentración de CO₂, con riesgo de inducir metabolismo fermentativo, cuyos productos, acetaldehído y etanol, pueden dañar el material conservado e inducir malos olores y sabores (Rojas-Graü *et al.*, 2009). Estudios realizados en pimiento

por Gil y Tudela (2012) demostraron que los niveles de CO₂ más altos que 5 % causan picaduras en la pared del fruto (*pitting*) cuando la temperatura es inferior a 10°C. El uso de microperforaciones con diámetro menor a 200 µm en otros productos han mostrado controlar las concentraciones de O₂ y CO₂ en el entorno (Makino, Oshita, Kawagoe, & Tanaka, 2008; Monroy-Gutiérrez, Valle-Guadarrama, Espinosa-Solares, Martínez-Damián, & Pérez-López, 2013). Es por ello que el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de una AM con microperforado y el almacenamiento a dos temperaturas en el comportamiento postcosecha de frutos de pimiento cosechados al 10% de su coloración roja característica.

4.2 Materiales y Métodos

4.2.1 Material vegetal

Se usaron frutos de pimiento morrón (*Capsicum annuum* var. *annuum*) con maduración en rojo (cultivar 'Felicitas'), producidos en un invernadero en el municipio de Yecapixtla, Morelos. Los frutos fueron cosechados con 10 % de coloración roja, se seleccionaron libres de defectos y de tamaño homogéneo.

4.2.2 Organización experimental

Se formaron cuatro lotes de 66 frutos de pimiento morrón que fueron colocados individualmente en el interior de bolsas de polietileno de baja densidad (PBD), cada lote fue envasado de cuatro formas diferentes: bolsas PBD sin microperforaciones (M₀), bolsas PBD con 2 microperforaciones (M₂), bolsas PBD con 5 microperforaciones (M₅) y los frutos del último lote se dejaron sin envasar en charolas abiertas al aire ambiental (aire regular; M_{AR}). En el interior de cada embolsado se colocaron dos tubos destinados a tomar una muestra del ambiente del envase al momento de su evaluación. La mitad de los lotes (33) de cada manejo (M₀, M₂, M₅ y M_{AR}) se colocaron a 20 °C (T₂₀) y la otra mitad a 8 °C (T₈). De esta forma, se tuvieron dos factores de variación, dados por la temperatura (T) y el manejo (M), formando así ocho tratamientos, cada bolsa formando una

unidad experimental (UE). Todos los tratamientos se evaluaron durante el almacenamiento y por triplicado. La condición de T20 se evaluó durante 21 días en 11 puntos en el tiempo, 24 horas después de la cosecha y posteriormente cada 48 horas. Mientras que la condición de T8 se evaluó a lo largo de 42 días en 11 puntos en el tiempo 24 horas después de la cosecha y posteriormente cada 96 horas.

En cada muestreo se tomaron tres UE de cada tratamiento. Antes de abrir las bolsas, los tubos colocados en el interior fueron cerrados con el fin de obtener una muestra del ambiente interno. Una vez abiertas las bolsas los frutos fueron sometidos a evaluación de peso (pérdida acumulada de peso), color, firmeza, contenido de sólidos solubles totales (SST, °Brix), pH, acidez, contenido de metabolitos anaerobios (etanol y acetaldehído), contenido de fenoles solubles totales (FST), contenido de carotenoides, contenido de capsaicina y capacidad antioxidante.

4.2.3 Variables fisiológicas y físicas

Cuantificación de CO₂

Para determinar la concentración de CO₂ en los tratamientos con bolsas de PBD, tubos de vidrio con sus tapas sin colocar fueron colocados dentro de cada bolsa al inicio del ensayo. En cada muestreo, antes de abrir las bolsas, los tubos colocados en el interior fueron cerrados con el fin de obtener una muestra del ambiente interno y así determinar la concentración de CO₂ por el método descrito por García-Cruz, Valle-Guadarrama, Salinas-Moreno y Luna-Morales (2016). Se preparó una solución de NaHCO₃ al 0.5 % (p/p) a la cual se le adicionaron unas gotas de azul de bromotimol al 0.02 % hasta que se obtuvo una transmitancia de 33%. De dicha solución se inyectaron 3 mL a cada tubo, se aplicó agitación vigorosa durante 15 s y se leyó transmitancia (%T) en un espectrofotómetro (DR 500 UV-vis HACH Germany) a 615 nm. La cuantificación de CO₂ se obtuvo a

partir de una curva tipo que se realizó utilizando mezclas de concentración conocida en un rango de 0.2 a 12.5 %.

Metabolitos anaerobios

Las concentraciones de etanol y acetaldehído se determinaron adaptando el método de Davis y Chase (1969), en el que 10 g de muestra se cortaron finamente y se almacenaron en viales herméticos a una temperatura de -20 °C. Posteriormente y previo al análisis, las muestras se descongelaron a temperatura ambiente y se mantuvieron durante 10 min a 60 °C. Una vez transcurrido ese tiempo se obtuvo 1 mL de aire del espacio de cabeza de cada vial y se inyectó en un cromatógrafo de gases Varian (3400CX, USA), con columna capilar Chrompack tipo poraplot Q, detector de conductividad térmica (TCD), detector por ionización de flama (FID) y las condiciones de trabajo utilizadas fueron de 160, 170 y 170 °C en la columna, inyector y detectores respectivamente.

Pérdida de peso

El peso de cada UE fue evaluado con una balanza digital (Ohaus, USA) y la pérdida de peso fue calculada en porcentaje con respecto al peso fresco inicial.

Firmeza

La firmeza expresada en Newtons (N), como el promedio de tres determinaciones hechas en la región ecuatorial de los frutos con un analizador de textura (TA-XT2i; Stable Micro Systems, UK) con un accesorio cilíndrico en una rutina de compresión, donde se empleó distancia de deformación de 3 mm y velocidad de ensayo de 2 mm s⁻¹.

Color

El color fue evaluado con un colorímetro HunterLab (Mini Scan XE Plus 45/0-L, USA) y se midieron los parámetros L*, a* y b*, que fueron la base para expresar dicha variable en ángulo de tono ($\tan^{-1} b^*/a^*$) y cromaticidad (McGuire, 1992).

Variables químicas

Los sólidos solubles totales (SST, °Brix) fueron medidos en el jugo de la pulpa con un refractómetro portátil Abbe (Atago Co., Japan). Para la determinación del pH, 20 g de pimiento se molieron con 100 mL de agua y la mezcla se filtró. La determinación se llevó a cabo utilizando un potenciómetro portátil (Thermo Scientific, Orion 3 Star, Singapur). La acidez fue evaluada por titulación de 10 mL de la misma mezcla con NaOH 0.01 N hasta que se ajustó a un pH de 8.2 (AOAC, 1980) y fue expresada en porcentaje de ácido cítrico.

Preparación de extractos

Se obtuvieron extractos metanol-agua de los frutos de pimiento de cada tratamiento por el método descrito por Hernández-Rodríguez (2016). Cada muestra (2 g) fue suspendida en 10 mL de una mezcla de metanol/agua (4:1 v/v); la muestra se agitó durante 1 min y se ajustó el pH a 3.0 con HCl al 10 %. Se aplicó agitación durante 3 min (Vortex synergy, WVR International), sonicación durante 15 min (Ultrasonic Cleaner 8890, Cole Parmer), agitación en una incubadora durante 30 min a 30 °C (Orbital Prendo INO-650 M) y centrifugación por 15 min a 4000 rpm (SOLBAT J-600, México). El sobrenadante se recuperó y se transfirió a un matraz volumétrico de 10 mL, donde se aforó con el disolvente empleado para la extracción. Los extractos obtenidos se almacenaron a -20 °C en frascos color ámbar para el análisis posterior de fenoles y capacidad antioxidante.

Determinación de fenoles solubles totales

El contenido de fenoles solubles totales (FST) fue determinado por el método Folin-Ciocalteu (Singleton & Rossi, 1965) adaptado a microplacas (Biotek Instruments Inc., Winoosky, VT, USA). Una curva de ácido gálico se preparó en un intervalo de concentraciones de 0.001 a 0.1 mg mL⁻¹. Los resultados fueron expresados en miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de peso fresco ($mg\ EAG\ g_{PF}^{-1}$).

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante fue determinada por los ensayos ABTS (Re et al., 1999) y FRAP (Benzie & Strain, 1996) adaptados a microplacas (Biotek Instruments Inc., Winoosky, VT, USA). La curva de trolox (6-hidroxy-2,5,7,8-tetramethylchomane-2-carboxylic acid) se preparó en concentraciones de 5.11 a 61.36 μM y los resultados se presentan en $\mu\text{moles equivalentes de trolox por gramo de muestra en peso fresco}$ ($\mu\text{mol ET g}_{PF}^{-1}$.)

Carotenoides totales

La cuantificación de carotenoides totales se llevó a cabo de acuerdo con el método descrito por Camargo, da Silva, Alves, Flach y Ruffo (2015). La pulpa del pimiento (0.2 g) fue suspendida en la solución de extracción, hexano-acetona (6:4 v/v), la muestra se agitó durante 1 min y se incubó a temperatura ambiente por 9 min, se filtraron e inmediatamente se sometieron a medición de absorbancia con un espectrofotómetro (DR 500 HACH, Germany) a 450 nm. Se realizó una curva de calibración estándar de β -caroteno en un intervalo de concentración de 0.4 a 3.75 $\mu\text{g mL}^{-1}$. Los resultados se reportaron como mg de β -caroteno/100 g de muestra.

Capsaicina

La determinación de capsaicina se llevó a cabo por el método de Parrish (1996). Para la extracción de cada muestra se pesó un gramo de pulpa de pimiento y se suspendió en 5 mL de acetonitrilo. La mezcla se colocó en un termo-baño a 65 °C durante 4 h. Los extractos se filtraron con acrodiscos de 0.2 μm de poro y 25 mm de diámetro (Agilent) y se colocaron en viales ámbar para su posterior evaluación. La identificación se realizó en un cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC) en fase reversa, calibrado a una longitud de onda de 284 nm de absorbancia, para lo cual se utilizó una columna con partículas de 5 μm de diámetro (Hypersil ODS, Agilent) 250 mm de longitud y 4.6 mm de diámetro. Se

inyectaron 10 μL de extracto en el equipo con un tiempo de análisis de 15 min para cada muestra. La fase móvil consistió en una mezcla de acetonitrilo/agua 73:27 (v/v). La cuantificación se hizo con base en una curva patrón correspondiente al estándar de capsaicina (8-metil-N vanillil-6-nonemamida, Sigma Co.) en un intervalo de concentración de 0.01 a 0.13 mg mL⁻¹.

Enfermedades postcosecha

Los frutos de pimiento fueron evaluados visualmente para observar síntomas de daño patológico en cada muestreo y así indicar en el lapso de tiempo almacenado el inicio de algún daño causado por alguna enfermedad. Las UE con síntomas de enfermedades como pudriciones en paredes y pedúnculo fueron contadas y expresadas en porcentaje del total de frutos por tratamiento. Los patógenos causantes de daños o pudriciones no fueron identificados.

4.2.4 Análisis estadístico

Esta fase experimental se condujo en forma congruente con un arreglo factorial alojado en un diseño completamente al azar. El tipo de manejo constituyó uno de los factores con cuatro niveles (M_0 , M_2 , M_5 y M_{AR}). La temperatura de almacenamiento constituyó el segundo factor de variación con dos niveles (20 y 8 °C) y el tiempo de almacenamiento como un tercer factor. Los datos obtenidos se manejaron través de un análisis de varianza y fue complementado con pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05). Se utilizó el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc. 1999).

4.3 Resultados y Discusión

4.3.1 Variables fisiológicas y físicas

Cuantificación de CO₂

La concentración de CO₂ dentro del envase en atmósfera modificada (AM) fue afectada por los factores evaluados y sus interacciones (Cuadro 2). La concentración de CO₂ en bolsas PBD a 20 °C (T20) tendió a disminuir a lo largo

del tiempo de almacenamiento y se obtuvieron concentraciones significativamente más altas que aquéllos a 8 °C (T8), que se mantuvieron sin cambios evidentes durante el tiempo de almacenamiento (Figura 15)

Cuadro 2 Valores percentiles de la distribución de Fisher (0.05) con $\alpha=0.05$ y valores de F correspondientes al análisis de varianza de la evaluación CO₂ en empaques en AM con microperforado usados en frutos de pimiento.

Variable	Factor de variación						Error	CV (%)
	T	M	Φ	T×M	T×Φ	M×Φ		
	(Temperatura)	(Manejo)	(día)					
gl	1	2	15	2	5	30	132	
F _{0.05}	3.91	3.06	1.74	3.06	2.28	1.55		
CO ₂	445.26*	60.88*	39.62*	23.72*	15.73*	1.56*	16.96	

^z Los símbolos * y ns significan efecto significativo y no significativo, respectivamente, de los factores de variación sobre la variable CO₂.

La modificación de la atmósfera alrededor del producto puede disminuir la tasa de respiración, obteniendo así concentraciones altas de CO₂ y bajas de O₂ (Burton, 1979). Los frutos de pimiento son clasificados como un producto de baja tasa de respiración y de acuerdo con Cantwell (1999) obtienen ligeros beneficios del uso de atmósferas controladas y modificadas. Sin embargo, en este ensayo la concentración de CO₂ en las bolsas PBD almacenadas a T20 fue disminuyendo a lo largo del tiempo de almacenamiento, por lo que la temperatura influyó en la tasa respiración de los frutos en estas condiciones. La temperatura es determinante para la fiabilidad de la AM (Tano, Oulé, Doyon, Lencki, & Arul, 2007). Los tratamientos M₀+T20, M₂+T20 y M₅+T20 presentaron a lo largo del ensayo una concentración de CO₂ promedio de 5.69, 5.49 y 5.20 % respectivamente, mientras que los tratamientos M₀+T8, M₂+T8 y M₅+T8 3.65, 2.65 y 1.51 %. La concentración de CO₂ disminuyó por la presencia de microperforaciones.

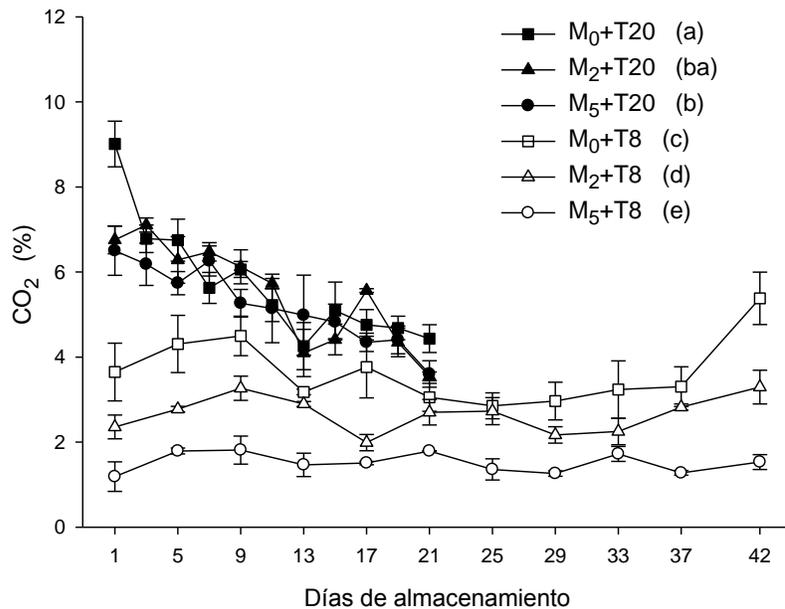


Figura 15 Efecto del empaque en bolsas PBD y la temperatura de almacenamiento sobre la concentración de CO₂ por 21 (T20) y 42 (T8) días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, 0.05). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

Estudios realizados por Gil y Tudela (2012) demostraron que los niveles de CO₂ más altos que 5 % causan picadura (*pitting*) cuando la temperatura era inferior a 10°C, por lo que se busca que la concentración no se encuentre por arriba de éste parámetro. En este caso, no se observaron daños causados por concentraciones mayores a 5 % de CO₂ en los tratamientos a T20. Por su parte Saltveit (2001) recomienda una concentración de 5 al 2% de CO₂, por lo que los tratamientos M₀+T₈ y M₂+T₈ estuvieron dentro de éstos valores recomendados.

Metabolitos anaerobios

Tras analizar las muestras de pimientos por cromatografía, los metabolitos etanol y acetaldehído no fueron detectados en los tratamientos en bolsas PBD y en los tratamientos en aire regular de las dos temperaturas. Lo que indicó que los cambios en la atmósfera no afectaron de tal manera que se crearan las condiciones del metabolismo anaerobio. González y Tiznado (1993)

determinaron la actividad de alcohol dehidrogenasa (ADH) como un indicador de anoxia en frutos de pimiento empacados en bolsas PBD y no encontraron diferencias significativas entre los frutos embolsados y los frutos sin embolsar después de 40 d por lo que no se desarrollaron sabores y aromas indeseables evaluados después de remover los pimientos de las bolsas.

Pérdida de peso

El análisis estadístico mostró que el tipo de manejo, la temperatura y el tiempo de almacenamiento y sus interacciones tuvieron efecto significativo ($Pr \leq 0.05$) sobre la pérdida de peso (Cuadro 3). El uso de bolsas PBD redujo la pérdida de peso significativamente durante el almacenamiento en las dos temperaturas evaluadas, ya que los tratamientos $M_{AR}+T20$ y $M_{AR}+T8$ perdieron 33.7 % y 4.17 % de su peso inicial respectivamente (Figura 16).

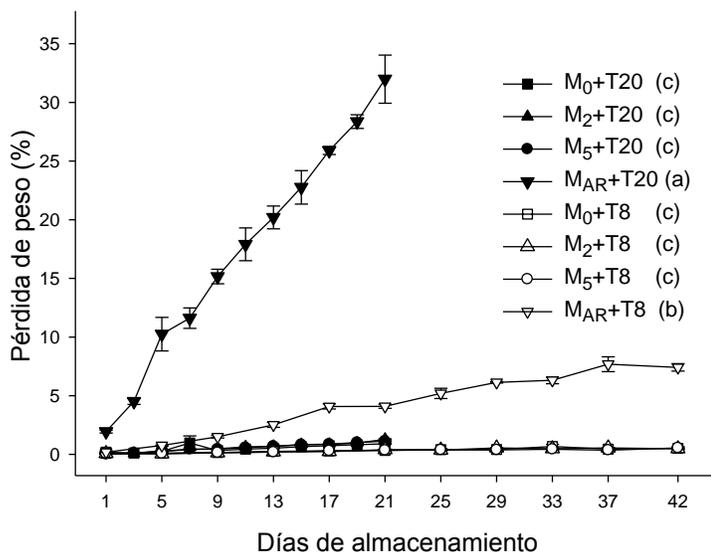


Figura 16 Efecto del empaque en bolsas de PBD y la temperatura de almacenamiento sobre la pérdida de peso en frutos de pimiento por 21 (T20) y 42 (T8) días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $Pr \leq 0.05$). La barra en cada punto corresponde al error estándar

Cuadro 3 Valores percentiles de la distribución de Fisher (0.05) con $\alpha=0.05$ y valores de F correspondientes al análisis de varianza de la evaluación de frutos de pimiento en empaques en AM con microperforado en dos temperaturas de almacenamiento.

Variable	Factor de variación						Error	CV (%)
	T (°C)	M(manejo)	Φ (día)	T×M	T× Φ	M× Φ		
gl	1	3	15	3	5	45	176	
F _{0.05}	3.89	2.66	1.72	2.66	2.27	1.44		
	Variables respuesta							
%PP	1252.74*	3596.25*	126.37*	1408.15*	77.17*	75.55*		23.07
Firmeza	50.14*	411.35*	22.72*	10.03*	1.85 ^{ns}	3.62*		14.47
L*	67.02*	3.41*	11.3*	3.06*	3.22*	2.11*		6.99
H*	192.9*	23.79*	15.99*	12.32*	6.91*	1.26 ^{ns}		16.88
C*	140.19*	14.31*	14.18*	7.36*	8.15*	1.72*		20.02
SST	52.24*	26.62*	1.78*	11.55*	2.87*	2.37*		7.19
Acidez	12.83*	27.97*	6.37*	5.13*	1.11 ^{ns}	1.7*		15.97
pH	2.53 ^{ns}	63.65*	16.93	3.45*	1.65 ^{ns}	2.11*		2.14
CapAntiox ABTS	87.63*	23.05*	4.86*	13.43*	3.66*	1.88*		12.63
CapAntiox FRAP	88.55*	27.61*	9.80*	16.69*	2.62*	1.80*		10.21
FST	43.54*	27.39*	10.18*	13.57*	3.02*	2.73*		10.27
Carotenoides	23.01*	64.83*	12.37*	64.37*	6.50*	4.00*		32.60
Incidencia	200.08*	4.05*	18.34*	1.26 ^{ns}	8.28*	1.13 ^{ns}		50.47

^z Los símbolos * y ns significan efecto significativo y no significativo, respectivamente, de los factores de variación sobre la variable CO₂.

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en bolsa PBD sin y con microperforado a T8 y a T20. La calidad de los pimientos después de la cosecha es ampliamente influenciada por la pérdida de agua (Ben-Yehoshua *et al.*, 1983), debido a la alta actividad transpiratoria de los frutos, lo que resulta

en pérdida de peso (Namesny, 1999). El uso de películas plásticas limita la pérdida de agua y el almacenamiento bajo alta humedad que resulta en la reducción de la transpiración del fruto, y ha sido descrito teniendo un efecto más pronunciado en el retraso de la senescencia que el almacenamiento a bajas temperaturas (Lurie, Shapiro, & Ben-Yehoshua, 1986; Lownds, Banaras, & Bosland, 1994), tal como ocurrió durante este ensayo.

Firmeza

Los factores evaluados durante este estudio resultaron significativos para esta variable, y de las interacciones sólo la de tiempo de almacenamiento con temperatura y la triple interacción no resultaron significativas ($Pr \leq 0.05$) (Cuadro 3). Los frutos $M_{AR}+T_{20}$ perdieron el 96% de firmeza después de 21 d, mientras que los frutos $M_{AR}+T_8$ perdieron el 55% en ese mismo periodo. El uso de bajas temperaturas en frutos no climatéricos como el pimiento disminuye su tasa de madurez y deterioro (Kays, 1991). El uso de bolsas PBD disminuyó significativamente la pérdida de firmeza en los frutos de pimiento, teniendo efectos superiores a $M_{AR}+T_8$. Los frutos con M_0+T_{20} , M_2+T_{20} y M_5+T_{20} , conservaron el 70, 65 y 78 % de su firmeza al final del periodo de almacenamiento, respectivamente. Los frutos M_0+T_8 , M_2+T_8 y M_5+T_8 conservaron 81, 82 y 81 % de su firmeza al cabo de 42 d de almacenamiento, lo que indicó una esperada sinergia entre la temperatura de refrigeración y el manejo en bolsas PBD, aunque no hubo diferencias significativas ($Pr \leq 0.05$) en la firmeza entre estos tratamientos y los almacenados a T_{20} con manejo en bolsas PBD (Figura 17).

La firmeza es uno de los parámetros más importantes en los frutos de chile con respecto a la aceptación del consumidor. El mayor problema postcosecha de estos frutos es un ablandamiento excesivo que puede causar arrugamiento y cambios bioquímicos que reducen gravemente su calidad y aceptabilidad (Priya Sethu *et al.*, 1996). De acuerdo a Ben-Yehoshua *et al.* (1983), el uso de

empaques retarda varios parámetros de deterioro fisiológico en frutos como los pimientos, mejor que el enfriamiento a temperatura óptima de almacenamiento.

La disminución de la firmeza en pimientos está asociada con la pérdida de agua (Cantwell, 1999). Un efecto importante del envasado en películas plásticas es la producción de una micro-atmósfera de alta humedad relativa que evita la pérdida de agua de los frutos, retardando su deterioro (Ben-Yehoshua *et al.*, 1983).

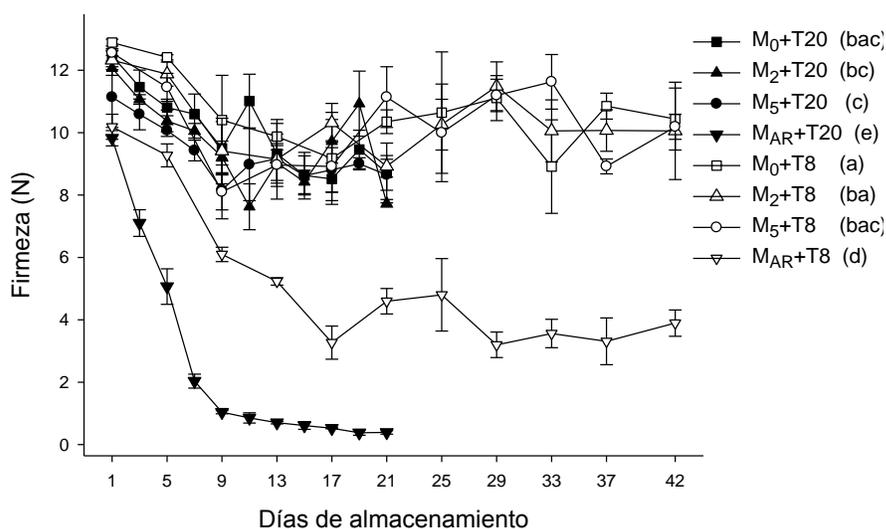


Figura 17 Efecto del empaque en PBD y la temperatura de almacenamiento sobre la firmeza de frutos de pimiento por 21 (T20) y 42 (T8) días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $Pr \leq 0.05$). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

Color

La luminosidad (L^*) fue afectada por los tres factores evaluados y sus interacciones (Cuadro 3). Los tratamientos en AM a T20 presentaron mayor luminosidad que los tratamientos en AM a T8 a los 21 d de almacenamiento (Figura 18). En frutos M_{AR}+T20 el parámetro L^* tendió a aumentar durante los primeros 11 d de almacenamiento; sin embargo, a partir de este día su valor fue en descenso, comportamiento causado posiblemente por el envejecimiento y posible deterioro de los chiles, que de acuerdo a Fernández *et al.* (1997), está

indicado por una superficie opaca, cáliz y pedúnculo pálidos. Por lo tanto, la reducción observada en dichos chiles pudo deberse al arrugamiento o deterioro causado por la alta temperatura o pérdida de agua durante el almacenamiento, lo cual también puede explicar el comportamiento de frutos con manejo en bolsa que al reducir la pérdida de agua mantuvieron en aumento la L^* durante el almacenamiento, aunque en mayor medida aquéllos almacenados a T20.

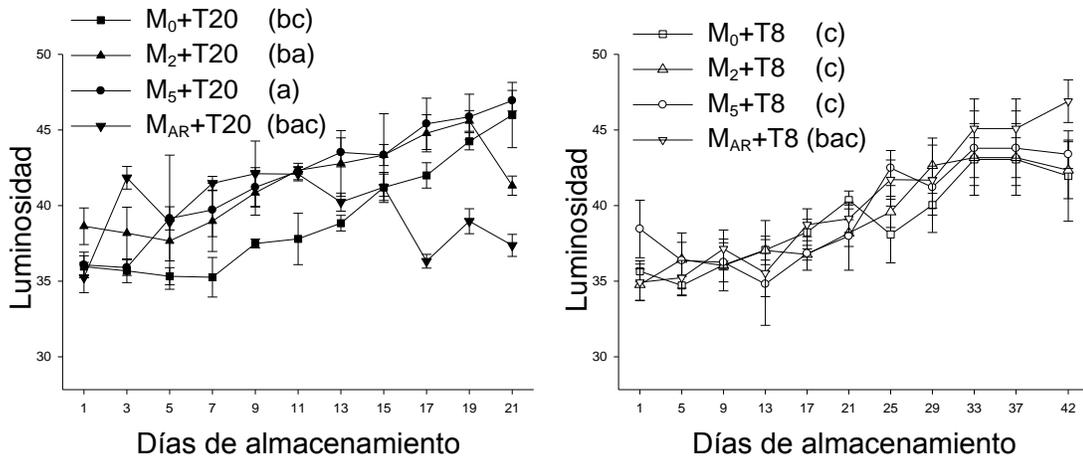


Figura 18 Efecto del empaque en PBD y la temperatura de almacenamiento sobre la Luminosidad en frutos de pimienta por 21 (T20) y 42 (T8) días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $Pr \leq 0.05$). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

El ángulo de tono es un indicador de los cambios de color de verde a amarillo y rojo (Shewfelt, 2002). Ángulos de tono superiores a 90° corresponden a un color verde más intenso; los ángulos cercanos a 90° a los amarillos mientras que valores menores a 90° corresponden a los rojos (McGuire, 1992). El cambio en el color de la superficie de los pimientos toma lugar como resultado de la degradación de clorofila y un importante incremento en su contenido de carotenoides, lo que es influenciado por la temperatura e iluminación a la que los frutos están expuestos (Pérez-López *et al.*, 2007).

Los factores tipo de manejo, temperatura y tiempo de almacenamiento y sus interacciones resultaron significativos ($Pr \leq 0.05$) para esta variable (Cuadro 3). El ángulo de tono fue disminuyendo a lo largo del periodo de almacenamiento

(Figura 19), en un tiempo menor a T20. En cuanto al manejo, los frutos con M_{AR} obtuvieron el menor ángulo de tono, seguidos en el orden de M₅, M₂, M₀. Los frutos con M_{AR}+T20 alcanzaron un ángulo de tono cercano al color rojo en los primeros 7 d de almacenamiento, en tanto que los frutos M₅+T20, M₂+T20 y M₀+T20 lo alcanzaron hasta el día 21.

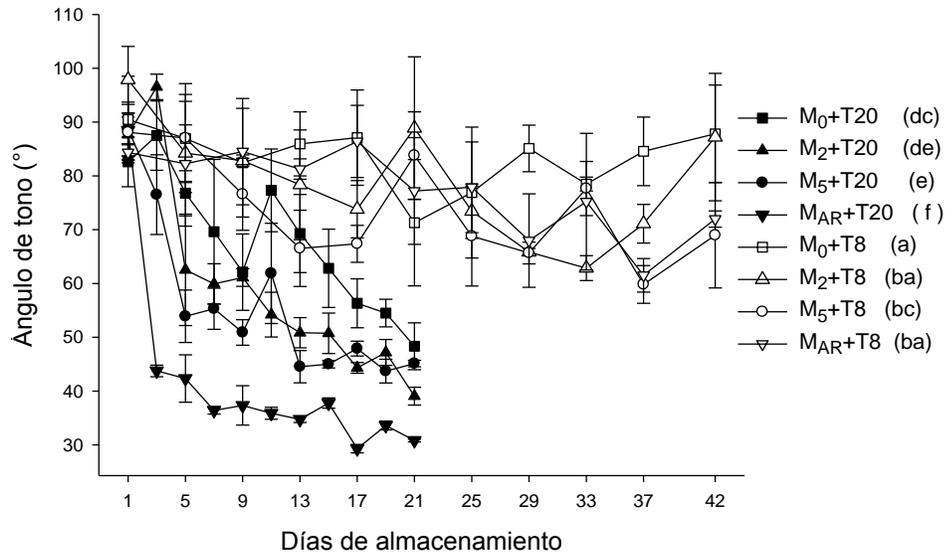


Figura 19. Efecto del empaque en PBD y la temperatura de almacenamiento en el ángulo de tono en frutos de pimiento por 21 (T20) y 42 (T8) días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $P_r \leq 0.05$). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

Los cambios en la coloración y la apariencia de los frutos de los diferentes tratamientos evaluados se pueden apreciar en la Figura 20. Algunos estudios en pimientos verdes realizados por González y Tiznado (1993) y Manolopoulou *et al.* (2010) han probado el uso de películas plásticas para la conservación de la calidad de frutos en los que un cambio de coloración es indeseable, teniendo mejores respuestas con bolsas de PBD complementado con el uso de bajas temperaturas.

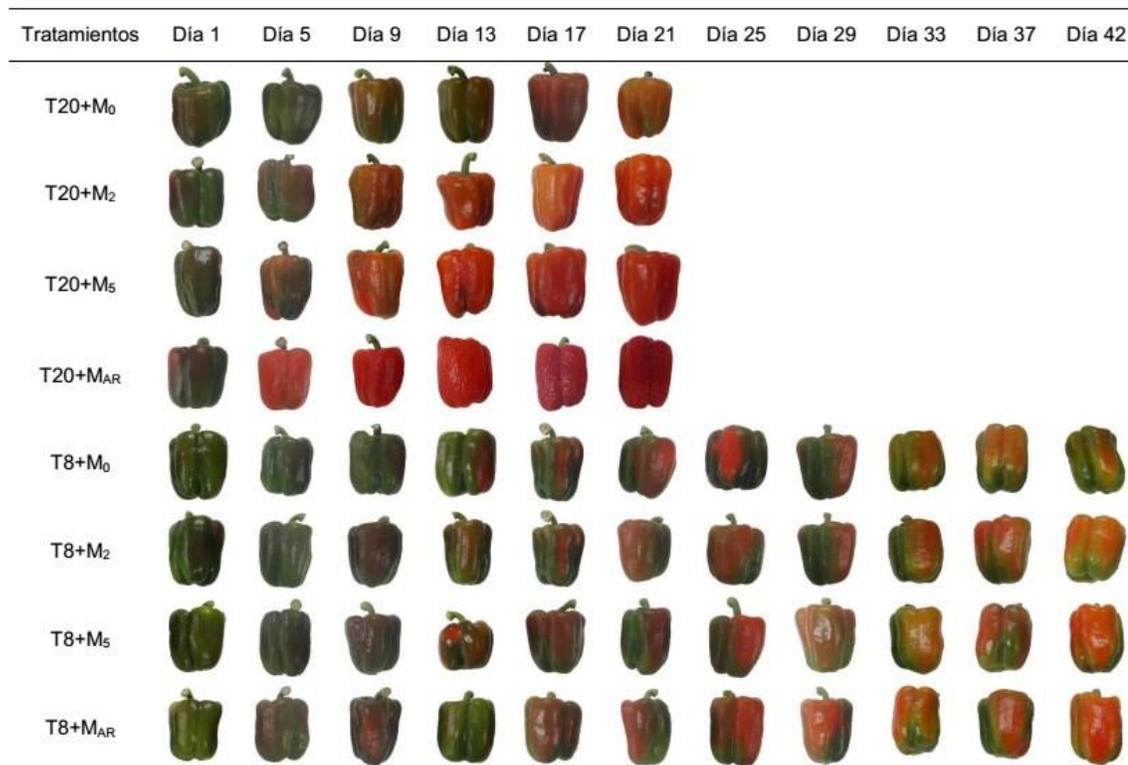


Figura 20. Evolución del color y la apariencia de frutos de pimiento con diferente manejo postcosecha almacenados a 8 y 20 °C.

Por su parte, Lownds *et al.* (1994) observaron también una reducción en el desarrollo del color en frutos de chiles envasados en bolsas de polietileno perforadas. En este estudio frutos con M₀, M₂, M₅ y M_{AR} almacenados a T8 aun cuando el ángulo de tono tendió a disminuir no llegaron a tener una coloración roja al final del periodo de almacenamiento, lo cual indica un retraso en la maduración causada por la temperatura de refrigeración y sumado el tipo de manejo. Muestras de estos tratamientos fueron retirados de estas condiciones y al cabo de 3 días presentaron cambios de color verde a rojo. De acuerdo a Cantwell (2013) temperaturas entre 20 y 25°C aceleran la maduración o el cambio de color en pimientos; en tanto, bajas temperaturas restringen la tasa de maduración y senescencia en frutos y vegetales (Edusei *et al.*, 2012).

La cromaticidad o croma es definida como la intensidad de color o pureza del tono. Valores cercanos a 0 corresponden a colores neutrales (ej. color gris) y

valores cercanos a 60 a colores brillantes (McGuire, 1992). Un incremento en la intensidad del color ocurre con el decremento en el ángulo de tono (Tadesse *et al.*, 2002). Este comportamiento es observado para todos los tratamientos (Figura 21) y así como el ángulo de tono, el valor de croma fue afectado por los tres factores y sus interacciones (Cuadro 3). Valores de croma más altos se presentaron en tratamientos a T20, aunque M_0+T20 resultó estadísticamente igual a los tratamientos a T8. Lo que indica que el microperforado de las bolsas resultó un factor determinante para el desarrollo del color en los frutos de pimiento.

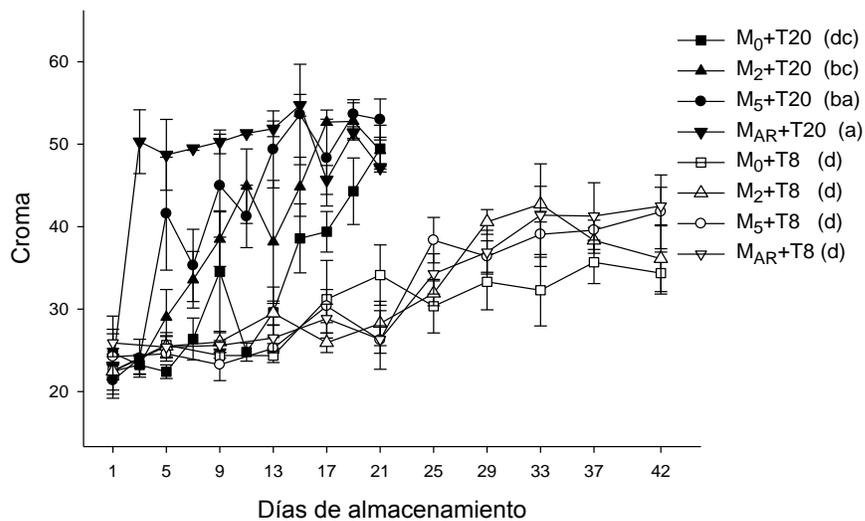


Figura 21 Efecto del empaque en PBD y la temperatura de almacenamiento sobre el croma en frutos de pimiento por 21 (T20) y 42 (T8) días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey , $Pr \leq 0.05$). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

4.3.2 Variables químicas

SST (°Brix)

El tipo de manejo, la temperatura y el tiempo de almacenamiento, así como sus interacciones afectaron significativamente ($Pr \leq 0.05$) esta variable (Cuadro 3). Se presentó un incremento en los valores de °Brix para los frutos $M_{AR}+T20$, lo

que indica que el almacenamiento a T20 permitió la acumulación de SST. Por su parte, el uso de bolsas PBD afectó la acumulación de SST en los frutos. Se observó que en bolsa intacta y bolsas micro-perforadas los frutos de pimiento reportaron menor °Brix en comparación a los almacenados sin bolsa a T20, ya que los de M_{AR}+T8 resultaron estadísticamente iguales a los envasados (Figura 22).

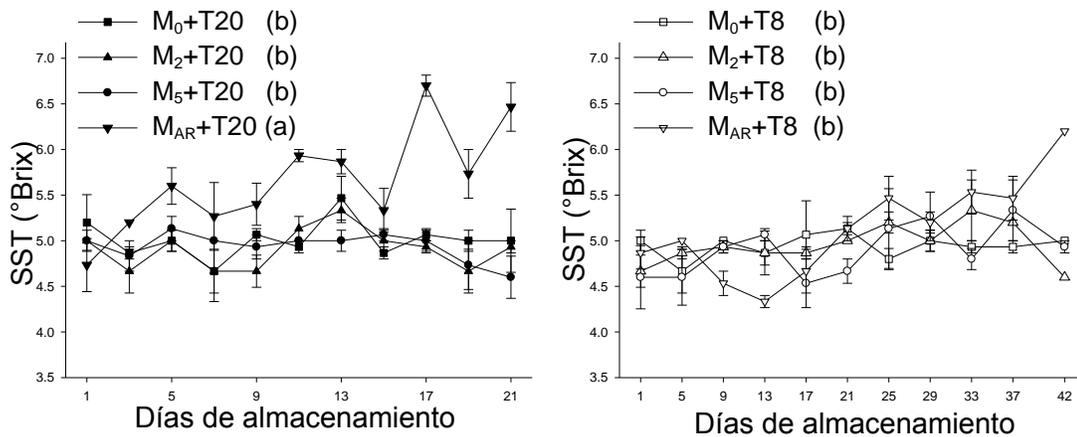


Figura 22 Efecto del empaque en PBD y la temperatura de almacenamiento sobre el contenido de SST en frutos de pimiento por 21 (T20) y 42 (T8) días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $P_r \leq 0.05$). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

Tadesse *et al.* (2002) reportó un incremento del contenido de SST en frutos de pimiento durante la maduración, por lo que, de acuerdo a los datos obtenidos en este estudio, un retardo en el proceso de maduración de los frutos de pimiento fue provocado por el uso de bolsas PBD y T8 al evitar la acumulación de SST.

pH.

El tiempo de almacenamiento y el tipo de manejo resultaron factores significativos, mientras que las interacciones de los factores temperatura y tipo de manejo con el tiempo de almacenamiento resultaron afectar a esta variable (Cuadro 3). Tratamientos M₀ en las dos temperaturas presentaron el valor de pH más alto, mientras que frutos con M_{AR}+T20 y M_{AR}+T8 resultaron con el pH más

bajo (Figura 23). Un descenso en la acidez puede ser provocado por el proceso de maduración, lo cual pudo observarse en un estudio previo realizado en frutos con diferente grado de madurez. Dadas las condiciones de manejo, el uso de bolsas de PBD sin microperforado y el almacenamiento en T8 retardaron el proceso de maduración de los frutos de pimienta.

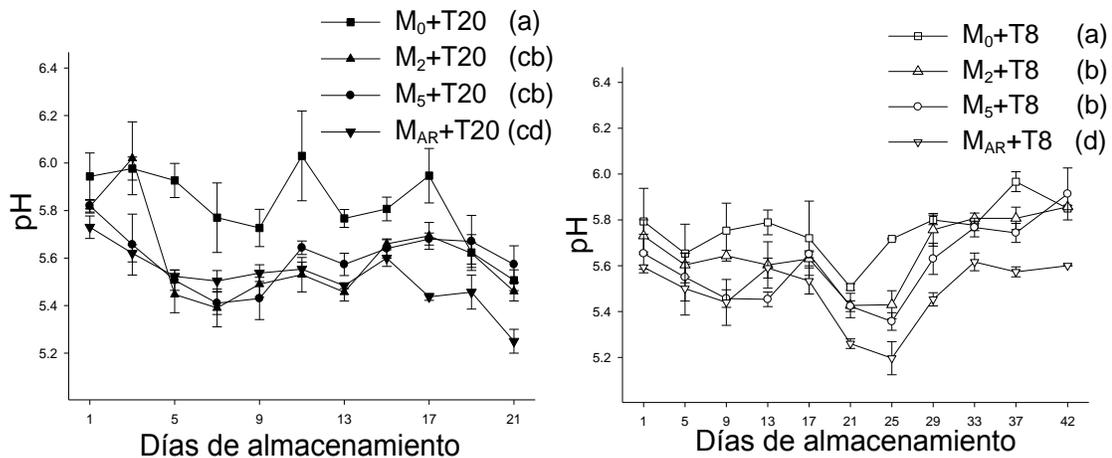


Figura 23 Efecto del empaque en PBD y la temperatura de almacenamiento sobre el pH de frutos de pimienta por 21 (T20) y 42 (T8) días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $Pr \leq 0.05$). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

Acidez titulable

Esta variable resultó afectada por los tres factores estudiados y sólo la interacción temperatura y tiempo de almacenamiento no fue significativa ($Pr \leq 0.05$), lo que se puede observar en el Cuadro 3. Frutos con M_{AR}+T₂₀ presentaron el mayor porcentaje de acidez, mientras que frutos con manejo en bolsas PBD y almacenados en T8 presentaron una menor acidez y de éstos los M₀+T₈ resultaron con los valores más bajos (Figura 24). La acidez de los frutos es un índice de maduración que aumenta con el proceso de desarrollo y que comienza a disminuir una vez que el fruto ha madurado y comienza a envejecer (Etienne *et al.*, 2013). En un estudio realizado por Serrano *et al.* (2010) encontraron que el contenido de ácidos orgánicos aumentó durante el desarrollo y maduración de

frutos de pimienta y que el principal ácido presente en estos frutos es el cítrico. De acuerdo a esto, el proceso de maduración de los frutos de pimienta fue retardado por uso de bolsas de PBD y temperatura de refrigeración.

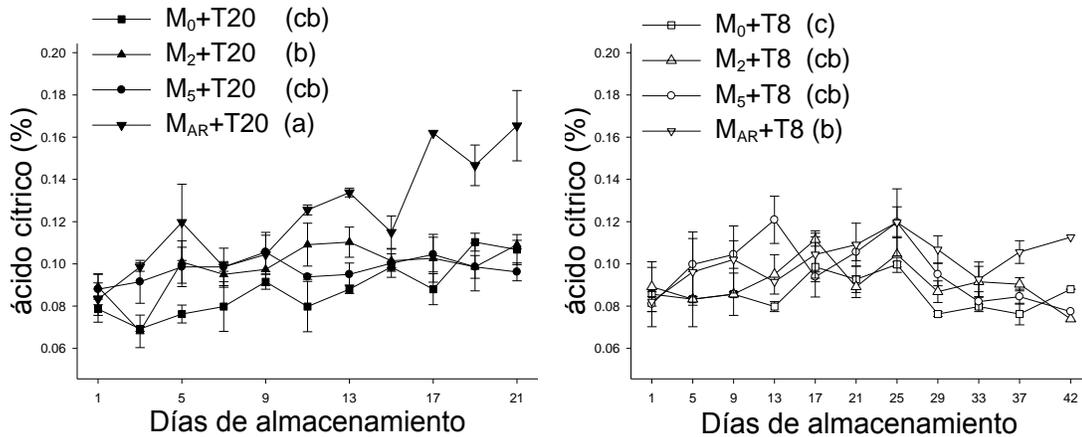


Figura 24 Efecto del empaque en bolsas PBD y la temperatura de almacenamiento sobre la acidez titulable de frutos de pimienta por 21 (T20) y 42 (T8) días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $Pr \leq 0.05$). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

Contenido de Fenoles Solubles Totales (FST)

El contenido de FST en los pimientos evaluados fue afectado por los tres factores a los que estuvieron expuestos durante el ensayo (Cuadro 3), las interacciones entre estos factores resultaron estadísticamente significativas ($Pr \leq 0.05$). Frutos con $M_{AR}+T20$ presentaron el mayor contenido de FST al final del periodo de almacenamiento ($1.09 \text{ mg EAG g}^{-1}_{PF}$), y la mayor diferencia en FST se observó en los tratamientos M_0+T8 y M_2+T8 (Figura 25). Diversos estudios reportan que el contenido de FST en frutos de pimienta incrementa con la madurez (Howard *et al.*, 2000; Pérez-López *et al.*, 2007; Serrano *et al.*, 2010), por lo que el retraso en el proceso de madurez por el uso de bolsas PBD sin microperforado y el almacenamiento a T8 puede explicar el menor contenido de FST en frutos manejados en dichas condiciones.

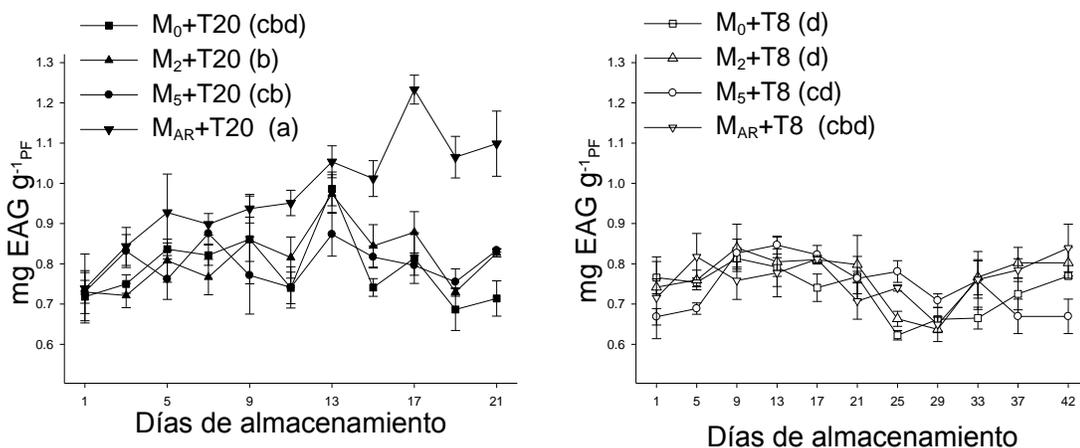


Figura 25 Efecto del empaque en PBD y la temperatura de almacenamiento sobre la el contenido de FST en frutos de pimienta por 21 (T20) y 42 (T8) días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, Pr ≤ 0.05). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

Capacidad antioxidante

El pimienta cuando es comparado con otros vegetales es clasificado como alto en capacidad antioxidante (Chun *et al.*, 2005). Durante este estudio la capacidad antioxidante de los frutos de pimienta determinada por el ensayo ABTS y FRAP fue afectada por el tipo de manejo, el tiempo y la temperatura de almacenamiento, mientras que las dobles interacciones entre factores también resultaron significativas (Pr ≤ 0.05, Cuadro 3). Se observó un comportamiento similar en los tratamientos mediante los dos tipos de ensayos, por los que se determinó esta variable (Figuras 26 y 27). La capacidad antioxidante tendió a aumentar con el tiempo de almacenamiento y en mayor medida en frutos M_{AR}+T20, mientras que frutos en M₂+T8, M₀+T8 y M₅+T8 resultaron con valores más bajos y estadísticamente diferentes (Pr ≤ 0.05) a los almacenados a T20 en los diferentes tipos de manejo.

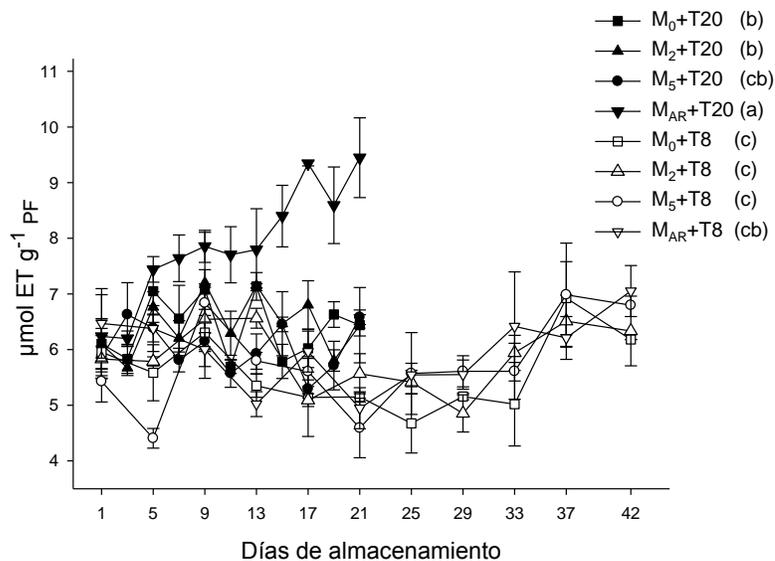


Figura 26 Efecto del empaque en AM y la temperatura de almacenamiento sobre la capacidad antioxidantes de frutos de pimienta por 21 (T20) y 42 (T8) días, determinada por ABTS+. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $Pr \leq 0.05$). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

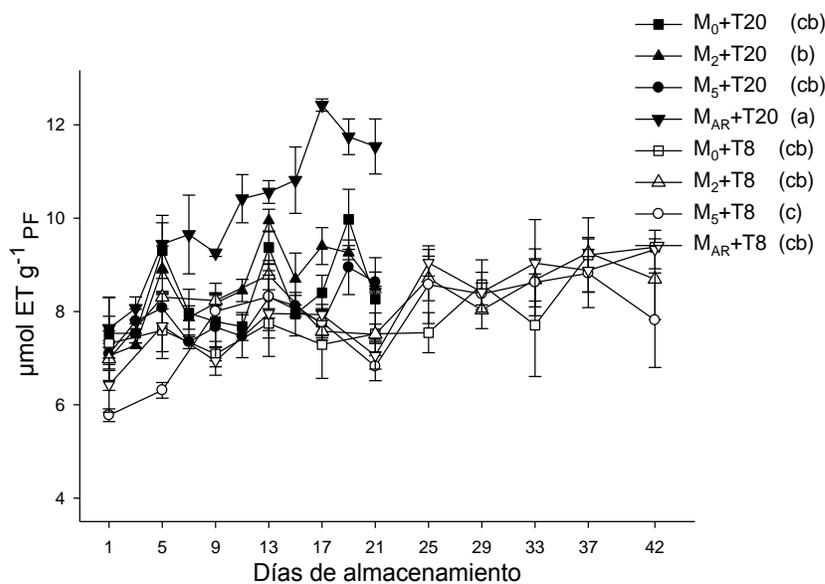


Figura 27 Efecto del empaque en AM y la temperatura de almacenamiento sobre la capacidad antioxidantes de frutos de pimienta por 21 (T20) y 42 (T8) días, determinada por FRAP. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, 0.05). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

Estudios sugieren que la capacidad antioxidante en *Capsicum annum* puede variar entre genotipos (Deepa *et al.*, 2006), y que también incrementa con la madurez (Howard, Talcott, Brenes, & Villalon, 2000; Navarro, Flores, Garrido, & Martinez, 2006; Deepa, Kaur, George, Singh, & Kapoor, 2007). Esto sugiere que el tipo de manejo y la temperatura de almacenamiento, al provocar un retraso en el proceso de maduración de los frutos de pimiento, llevaron a obtener una menor capacidad antioxidante en frutos en bolsas de PBD almacenados a T8.

Carotenoides

El contenido total de carotenoides de los frutos de pimiento estuvo afectado por el tipo de manejo, la temperatura y el tiempo de almacenamiento (Cuadro 3). Los frutos M_{AR}+T20 obtuvieron el mayor contenido de carotenoides con respecto a los demás tratamientos, sobre todo con los almacenados a T8 (Figura 28). Este comportamiento se esperaba desde que los cambios de color de verde a rojo no se lograron en los tratamientos a T8 ya que los pigmentos carotenoides son responsables de generar los cambios de color durante la maduración de los frutos (Frary & Frary, 2012).

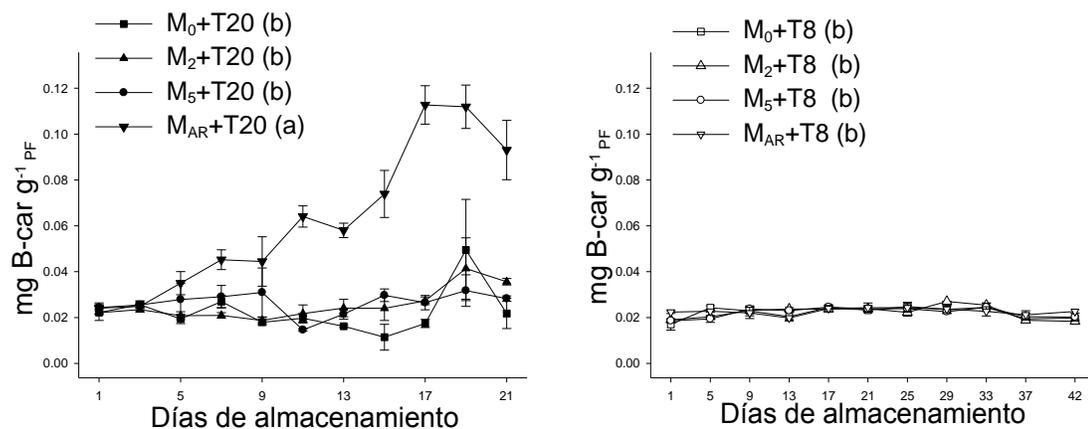


Figura 28 Efecto del empaque en AM y la temperatura de almacenamiento sobre el contenido de carotenoides de frutos de pimiento por 21 (T20) y 42 (T8) días. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey 0.05). La barra en cada punto corresponde al error estándar.

El contenido de carotenoides es un indicador del valor nutricional y la calidad en frutos de pimiento y este contenido puede variar dependiendo del estado de desarrollo o madurez del fruto y las condiciones de cultivo. La madurez es quizá el más importante de estos factores (Frery & Frery, 2012), ya que el contenido de carotenoides totales y β -caroteno incrementó significativamente en un estudio realizado a 10 genotipos de pimiento dulce en tres estados de madurez (Deepa *et al.*, 2007) lo que coincide con otros estudios realizados con pimientos rojos en los que observaron que tanto el estado de madurez como el tipo de cultivo (orgánico o convencional) influye en la concentración de carotenoides, siendo mayor en pimientos orgánicos (Pérez-López *et al.*, 2007).

Capsaicina

Los capsaicinoides son metabolitos secundarios exclusivos del género *Capsicum* (Frery & Frery, 2012); sin embargo, no todos los miembros del género acumulan capsaicinoides (Tewksbury *et al.*, 2006). Los capsaicinoides capsaicina y dihidrocapsaicina no son detectables en variedades de pimientos dulces pero cantidades significativas de estos compuestos están presentes en tipos picantes y paprika (Garces *et al.*, 2006; Kozokue *et al.*, 2005). Como se esperaba, la capsaicina no fue detectada en las muestras al realizar el análisis correspondiente.

Enfermedades postcosecha

El pimiento es reportado como uno de los principales hospederos de hongos como *Alternaria*, *Botrytis*, *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Mucor*, y *Fusarium* (Valero & Serrano, 2010). Los frutos de todos los tratamientos presentaron principalmente daño patológico en el pedúnculo; sin embargo, la aparición de estos daños fue más rápida en frutos de M₅+T20 y M₂+T20, mientras que los frutos de los tratamientos en T8 presentaron síntomas hasta el día 21 (Cuadro 4).

Cuadro 4 Porcentaje de incidencia de daño patológico en el pedúnculo de frutos de pimiento con manejo en bolsas de PBD y dos temperaturas de almacenamiento.

Días de almacenamiento	Tratamientos							
	M ₀ +T20	M ₂ +T20	M ₅ +T20	M _{AR} +T20	M ₀ +T8	M ₂ +T8	M ₅ +T8	M _{AR} +T8
	(a)	(ba)	(ba)	(bc)	(c)	(c)	(c)	(c)
1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	33	33	0				
5	100	100	100	100	33	0	0	0
7	66.7	33	33	33				
9	100	100	67	67	0	33	0	0
11	100	100	67	67				
13	100	100	100	33	0	0	0	33
15	100	100	100	100				
17	100	67	100	67	0	0	0	0
19	100	100	100	67				
21	100	100	100	67	0	0	0	33
25					100	100	100	100
29					100	100	100	0
33					100	100	100	100
37					100	100	67	100
42					67	100	100	67

Letras minúsculas diferentes entre paréntesis indican diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, 0.05).

De acuerdo con Valero y Serrano (2010), los patógenos fúngicos usan como rutas principales para penetrar el tejido del huésped: (1) heridas causadas por agentes

bióticos y/o abióticos durante el crecimiento o almacenamiento, (2) a través de aberturas naturales como lenticelas, extremo del pedúnculo o tallo y (3) al penetrar directamente la cutícula del huésped.

El pedúnculo de los frutos de pimiento es una zona sensible al ataque de patógenos, ya que representa una vía de entrada para éstos. La incidencia de la pudrición del fruto durante la postcosecha es el resultado de la infección o contaminación latente antes de la cosecha, que se manifiesta durante el almacenamiento, transporte o comercialización, lo que conduce a una reducción neta de la vida útil postcosecha (Valero & Serrano, 2010). El desarrollo de los hongos aparecerá cuando las condiciones sean óptimas, siendo los factores principales la temperatura y la humedad relativa (HR) apropiadas. La germinación de las esporas y el crecimiento del micelio dependen estrictamente de la temperatura, que se considera el factor limitante para el desarrollo de la enfermedad.

En general, la temperatura óptima para el crecimiento de la mayoría de los hongos de almacenamiento es de 20-25 °C, aunque algunas especies prefieren temperaturas más altas o, más raramente, más bajas (Barkai-Golan, 2001). Posiblemente es por ello que se manifestaron los primeros síntomas en tratamientos a T20 y en bolsas de PBD. Aunque el envase en AM reduce la pérdida de agua, las enfermedades postcosecha pueden incrementarse por la alta HR en las bolsas. A una alta HR, incluso pequeños cambios de temperatura pueden provocar la condensación de humedad, una condición favorable para el crecimiento de organismos causantes de pudriciones. La incidencia de frutos podridos aumenta con el incremento del nivel de HR durante el almacenamiento (Polderdijk et al., 1993).

4.4 Conclusiones

Los frutos de los tratamientos en bolsas de PBD a T20 presentaron a lo largo del ensayo una concentración de CO₂ mayor a 5 % sin que se presentaran daños

por picado del fruto y metabolismo anaerobio. La concentración de CO₂ disminuyó por la presencia de micro-perforaciones. Las condiciones correspondientes a los tratamientos M₀+T8 y M₂+T8 estuvieron dentro de los valores recomendados de concentración de CO₂ (2-5 %). El uso de bolsas PBD con y sin micro-perforado permitió la reducción significativa de pérdida de peso y firmeza en los frutos de pimiento cosechados al 10 % de su coloración inicial, incluso a T20. Sin embargo, la velocidad en la maduración también fue afectada ya que sólo los tratamientos almacenados a T20 lograron completar la tonalidad roja característica de la variedad durante el tiempo de evaluación (21 d), frutos a T8 al ser retirados de las condiciones de manejo lograron esta coloración después de 3 d en condiciones ambientales normales. Las características químicas tales como pH, acidez y SST respondieron de acuerdo al comportamiento de los frutos en proceso de maduración. Los frutos que presentaron un estado de madurez más avanzado (definida por la coloración roja) presentaron mayor concentración de fenoles solubles totales, carotenoides y también mayor capacidad antioxidante. Los frutos empacados y no empacados desarrollaron ataque de hongos en el pedúnculo, en menos tiempo a T20 (día 3) con respecto a los almacenados a T8 (día 21), debido a la interacción de la temperatura y la humedad acumulada dentro de la bolsa. El metabolito capsaicina no fue detectado en los tratamientos. Finalmente el uso de bolsas PBD con y sin microperforado retrasó varios parámetros de deterioro fisiológico, sin pérdida apreciable de la calidad o atributos fitoquímicos en frutos de pimiento cosechados al 10 % y almacenados a T20 al limitar la pérdida de agua y favorecer la maduración.

5 LITERATURA CITADA

- Aguilar, G. A. G. (2016). Pepper. In *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks* (pp. 481–484). <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1127-0>
- AOAC. (1980). *Methods of analysis of the association of official analytical chemists* (13th ed.). Washington, USA: Association of official analytical chemists.
- Barkai-Golan, R. (2001). *Postharvest Diseases of Fruits and Vegetables. Development and Control*. Amsterdam: Elsevier Science.
- Barrera, J. A., Hernández, S., Melgarejo, L. M., Martínez, O., & Fernández-Trujillo, J. P. (2008). Physiological behavior and quality traits during fruit growth and ripening of four Amazonic hot pepper accessions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 847–857.
- Beaudry, R. M., Cameron, A. C., Shirazi, A., & Dostal-Lange., D. L. (1992). Modified-atmosphere packaging of blueberry fruit: effect of temperature on package O₂ and CO₂. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 117, 436–441.
- Ben-Yehoshua, S., Shapiro, B., Chen, Z. E., & Lurie, S. (1983). Mode of Action of Plastic Film in Extending Life of Lemon and Bell Pepper Fruits by Alleviation of Water Stress. *Plant Physiology*, 73(1), 87–93. <https://doi.org/10.1104/pp.73.1.87>
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. *ANALYTICAL BIOCHEMISTRY*, 239, 70–76.
- Burton, W. G. (1979). Biochemical and physiological effects of modified atmospheres and their role in quality maintenance. In H. O. Hultin & M. Milner (Eds.), *Postharvest Biology and Biotechnology* (pp. 97–110). Westport, CT, USA: Food and Nutrition Press.
- Bussel, J., & Kenigsberger, Z. (1975). Packaging green bell pepper in selected permeability films. *Journal of Food Science*, 40, 1300–1303.
- Camargo, N. L., da Silva, X. V., Alves, P. J., Flach, A., & Ruffo, R. S. (2015). Bioactive compounds and antioxidant activity in pre-harvest camu-camu [*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaughn] fruits. *Scientia Horticulturae*, 186, 223–229. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.02.031>

- Cantwell, M. (1999). Bell pepper: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. *Perishables Handling*, 87, 8–10.
- Cantwell, M. (2013). UCDavis Postharvest Technology. Retrieved from <http://postharvest.ucdavis.edu/pfvegetable/BellPepper/>
- Cantwell, M., & Thangaiyah, A. (2001). Delays to Cool Affect Visual Quality, Firmness and Gloss of Bell Peppers and Eggplants. *Perishables Handling Quarterly*, 107, 17–20. Retrieved from <http://ucanr.edu/datastoreFiles/234-9.pdf>
- Chun, O. K., Kim, D. O., Smith, N., Schroeder, D., Han, J. T., & Chang, Y. L. (2005). Daily consumption of phenolics and total antioxidant capacity from fruit and vegetables in the American diet. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(10), 1715–1724. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2176>
- Contreras-Padilla, M., & Yahia, E. M. (1998). Changes in capsaicinoids during development, maturation, and senescence of chile peppers and relation with peroxidase activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(6), 2075–2079.
- Davis, P. L., & Chace, W. G. (1969). Determination of alcohol in citrus juice by gas chromatographic analysis of headspace. *Hortscience*, 4, 117–118.
- Deepa, N., Kaur, C., George, B., Singh, B., & Kapoor, H. C. (2007). Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. *LWT - Food Science and Technology*, 40(1), 121–129. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.09.016>
- Deepa, N., Kaur, C., Singh, B., & Kapoor, H. C. (2006). Antioxidant activity in some red sweet pepper cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6–7), 572–578. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.03.005>
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28, 350–356.
- Edusei, V. O., Oforu, A. J., Johnson, P. N. T., & Cornelius, E. W. (2012). Extending postharvest life of green chilli pepper fruits with modified atmosphere packaging. *Ghana Journal of Horticulture*, (10), 131–140.
- Ena, G. de, & Namesny, A. (2006). Recolección y manipulación del pimiento. In *Pimientos, Compendio de Horticultura* (2da ed., pp. 119–129).
- Eshbaugh, W. H. (2012). The Taxonomy of the Genus *Capsicum*. *Peppers: Botany, Production and Uses*, 14–28.
- Etienne, A., Génard, M., Lobit, P., Mbéguié-A-Mbéguié, D., & Bugaud, C. (2013). What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells. *Journal of Experimental Botany*, 64(6), 1451–1469. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert035>

- Fernández, L. J., Liverotti, O., & Sánchez, G. (1997). Manejo Poscosecha de Pimiento. Corporación del Mercado Central de Buenos Aires. Argentina.
- Forney, C. F., & Lipton, W. J. I. (1990). Influenced of controlled atmosphere and packaging on chilling sensitivity. In C. Y. Wang (Ed.), *Chilling Injury of Horticultural Crops*. (pp. 257–268). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Fox, A. J., Del Pozo-Insfran, D., Joon, H. L., Sargent, S. A., & Talcott, S. T. (2005). Ripening-induced chemical and antioxidant changes in bell peppers as affected by harvest maturity and postharvest ethylene exposure. *HortScience*.
- Frary, A., & Frary, A. (2012). Physiology of Metabolites. In V. M. Russo (Ed.), *Peppers: Botany, Production and Uses* (pp. 176–188). London, UK: CABI.
- Garces, C. A., Arnedo, A. M. S., Abadia, J., Gil, O. R., & Alvarez, F. A. (2006). Determination of capsaicin and dihydrocapsaicin in *Capsicum* fruits by liquid chromatography-electrospray/time-of-flight mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 9303–9311.
- García-Cruz, L., Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y., & Luna-Morales, C. del C. (2016). Postharvest quality, soluble phenols, betalains content, and antioxidant activity of *Stenocereus pruinosus* and *Stenocereus stellatus* fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 69–76. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2015.07.004>
- Gil, M. I., & Tudela, J. A. (2012). Postharvest requirements of peppers. In V. Russo (Ed.), *Peppers: Botany, Production and Uses* (pp. 241–254). London, UK: CABI. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84891551159&partnerID=MN8TOARS>
- González, G., & Tiznado, M. (1993). Postharvest physiology of bell peppers stored in low density polyethylene bags. *Lebensmittel Wiss Technology*, 26(5).
- González-Aguilar, G. A., Gayosso, L., Cruz, R., Fortiz, J., Báez, R., & Wang, C. Y. (2000). Polyamines induced by hot water treatments reduce chilling injury and decay in pepper fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 18(1), 19–26. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(99\)00054-X](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(99)00054-X)
- Gunduc, N., & El, S. N. (2003). Assessing Antioxidant Activities of Phenolic Compounds of Common Turkish Food and Drinks on In Vitro Low-Density Lipoprotein Oxidation. *Journal of Food Science*, 68(8), 2595. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb07066.x>
- Hasler, C.M., 1998. Functional foods: their role in disease prevention and health. *Food Technology* 52, 63–69.
- Hernández-Rodríguez, G., Espinosa-Solares, T., Hernández-Eugenio, G., Villa-García, M., Reyes-Trejo, B., & Guerra-Ramírez, D. (2016). Influence of polar

solutions on the extraction of phenolic compounds from capulín fruits (*Prunus serotina*). *Journal of the Mexican Chemical Society*, 60(2), 73–78.

Howard, L. R., Talcott, S. T., Brenes, C. H., & Villalon, B. (2000). Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5), 1713–1720. <https://doi.org/10.1021/jf990916t>

Kader, A. A. (1987). Respiration and gas exchanges of vegetables. In J. Weichman (Ed.), *Postharvest Physiology of Vegetables* (p. 25–43). New York: Marcel Dekker.

Kays, S. J. (1991). *Post-harvest Physiology and Handling of Perishable Plant Products*. New York: Van Nostrand-Reinhold.

Kissinger, M., Tuvia-Alkalai, S., Shalom, Y., Fallik, E., Elkind, Y., Jenks, M. A., & Goodwin, M. S. (2005). Characterization of physiological and biochemical factors associated with postharvest water loss in ripe pepper fruit during storage. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 130(5), 735–741. Retrieved from <http://journal.ashspublications.org/content/130/5/735.short>

Kozokue, N., Han, J. S., Kozokue, E., Lee, S. J., Kim, J. A., Lee, K.-R., Friedman, M. (2005). Analysis of eight capsaicinoids in peppers and pepper-containing foods by high performance liquid chromatography and liquid chromatography-mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 9172–9181.

Kwon Young-In, Apostolidis Emmanouil, S. K. (2007). Evaluation of pepper (*Capsicum annuum*) for management of diabetes and hypertension. *Journal of Food Biochemistry*, 31(2007), 370–385.

Lin, W. C., Canada, A., Box, P. O., & Saltveit, M. E. (1993). Ripening Stage Affects the Chilling Sensitivity of Greenhouse-grown Peppers. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 118(6), 791–795.

Lownds, N. K., Banaras, M., & Bosland, P. W. (1994). Postharvest water loss and storage quality of nine pepper (*Capsicum*) cultivars. *HortScience*, 29(3), 191–193.

Lurie, S., Shapiro, B., & Ben-Yehoshua, S. (1986). Effects of water stress and degree of ripeness on rate of senescence of harvested bell pepper fruit. *Journal of American Society of Horticultural Science*, (111), 880–885.

Mahajan, B. V. C., Dhillon, W. S., Sidhu, M. K., Jindal, S. K., Dhaliwal, M. S., & Singh, S. P. (2016). Effect of packaging and storage environments on quality and shelf-life of bell pepper (*Capsicum annuum*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 86(6), 738–742.

Makino, Y., Oshita, S., Kawagoe, Y., & Tanaka, A. (2008). Simultaneous prediction of oxygen and carbon dioxide concentrations in a perforated pouch

- with light red tomato fruits by a mathematical model. *Transactions of the ASABE*, 51(559–565).
- Manolopoulou, H., Xanthopoulos, G., Douros, N., & Lambrinos, G. (2010). Modified atmosphere packaging storage of green bell peppers: Quality criteria. *Biosystems Engineering*, 106(4), 535–543. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.06.003>
- Marín, A., Ferreres, F., Tomás-Barberán, F. A., & Gil, M. I. (2004). Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(12), 3861–3869. <https://doi.org/10.1021/jf0497915>
- Matsufuji, H., Nakamuro, H., Chino, M., Mitsuharo, T., 1998. Antioxidant activity of capsanthin and the fatty acid esters in paprika (*Capsicum annuum*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46, 3462–3472.
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254–1255.
- Monroy-Gutiérrez, T., Valle-Guadarrama, S., Espinosa-Solares, T., Martínez-Damián, M. T., & Pérez-López, A. (2013). Effect of microperforation and temperature on quality of modified atmosphere packaged huitlacoche (*Ustilago maydis*). *CYTA - Journal of Food*, 11(4), 309–317. <https://doi.org/10.1080/19476337.2012.755712>
- Mueller-Seitz, E., Hiepler, C., & Petz, M. (2008). Chili pepper fruits: content and pattern of capsaicinoids in single fruits of different ages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 12114–12121.
- Namesny, V. A. (1999). *Pimientos*. *Compendios de Horticultura* (Ediciones). Reus, España.
- Navarro, J. M., Flores, P., Garrido, C., & Martinez, V. (2006). Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry*, 96(1), 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.057>
- Nielsen, T. H., Skjaerbaek, H. C., & Karlsen, P. (1991). Carbohydrate metabolism during fruit development in sweet pepper (*Capsicum annuum*) plants. *Physiologia Plantarum*, 82, 311–319.
- Paul, V., Pandey, R., & Srivastava, G. C. (2012). The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene — An overview. *Journal Food Science Technology*, 49(February), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0293-4>
- Parrish, M. (1996). Liquid chromatographic method for determining capsaicinoids in capsicums and their extractives: collaborative study. *Journal of Association Official Analysis Chemistry*, 79(3), 738–745.

- Pellegrini, N., Serafini, M., Colombi, B., Del Rio, D., Salvatore, S., Bianchi, M., & Brighenti, F. (2003). Total antioxidant capacity of plant foods, beverages and oils consumed in Italy assessed by three different in vitro assays. *The Journal of Nutrition*, 133(9), 2812–2819. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200600067>
- Pérez L. S. H., Chávez F. C. A., Villaseñor P. C., Espinosa S. T., Hernández G. L.H., & Lobato C. C. 2014. The mechanical properties of peach exhibited a strong dependence on the degree of maturity at harvest and the rate of senescence progression *Journal of Food Engineering*, Volume 142. Pages 111–117.
- Pérez-López, A. J., Del Amor, F. M., Serrano-Martínez, A., Fortea, M. I., & Núñez-Delicado, E. (2007). Influence of agricultural practices on the quality of sweet pepper fruits as affected by the maturity stage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(11), 2075–2080. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2966>
- Perry, L. (2012). Ethnobotany. In V. M. Russo (Ed.), *Peppers: Botany, Production and Uses* (pp. 1–13). London, UK: CABI.
- Petrel, M. T., Serrano, M., Amoros, A., Riquelme, F., & Romojaro, F. (1995). Non-involvement of AGG and ACC oxidase activity on pepper fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 5, 295–302.
- Polderdijk, J. J., Boerrigter, H. A. M., Wilkinson, E. C., Meijer, J. G., & Janssens, M. F. M. (1993). The effects of controlled atmosphere storage at varying levels of relative humidity on weight loss, softening and decay of red bell peppers. *Scientia Horticulturae*, 55(3–4), 315–321. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(93\)90042-O](https://doi.org/10.1016/0304-4238(93)90042-O)
- Priya Sethu, K. M., Prabha, T. N., & Tharanathan, R. N. (1996). Post-Harvest Biochemical Changes Associated with the Softening Phenomenon in *Capsicum Annum* Fruits. *Phytochemistry*. Retrieved from [http://ir.cftri.com/1421/1/Phytochemistr\)_42\(4\)961-966_1996.pdf](http://ir.cftri.com/1421/1/Phytochemistr)_42(4)961-966_1996.pdf)
- Ragab, M. M. M., Ashour, A. M. A., Kader, A. M., El-Mohamady, R., & Abdel-Aziz, A. (2012). In vitro evaluation of some fungicides alternatives against *Fusarium oxysporum* the causal of wilt disease of pepper (*Capsicum annum* L.). *International Journal of Agriculture and Forestry*, 2(2), 70–77.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26, 1231–1237.
- Rojas-Graü, A. M., Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2009). The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 875–889.

- Šafařík, I., & Šantrůčková, H. (1992). Direct determination of total soil carbohydrate content. *Plant and Soil*, 143, 109–114.
- SAGARPA. (2016). Producción nacional de Chile. Retrieved from http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/
- Saltveit, M. (1977). A summary of CA and MA requirements and recommendations for harvested vegetables. In 7th International CA Research Conference, Vol. 4, Vegetables and Ornamentals. Postharvest Outreach Program. University of California, Davis, California (pp. 98–117).
- Saltveit, M. E. (2001). A summary of CA requirements and recommendations for vegetables. In optimal controlled atmospheres for horticultural perishables. In Postharvest horticulture series no 22A. Davis: University of California.
- Sayyari, M., & Ghanbari, F. (2013). Effect of acetyl salicylic acid on quality and chilling resistance of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) at different storage temperatures. *Acta Horticulturae*, 1012, 559–568.
- Serrano, M., Zapata, P. J., Castillo, S., Guillén, F., Martínez-Romero, D., & Valero, D. (2010). Antioxidant and nutritive constituents during sweet pepper development and ripening are enhanced by nitrophenolate treatments. *Food Chemistry*, 118(3), 497–503. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.006>
- Shewfelt, R. (2002). Color. In *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*. <https://doi.org/doi:10.1201/9780203910092.ch11>
- SIAP. (2016). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Retrieved September 1, 2017, from www.siap.gob.mx
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic -Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144–158.
- Smith, D. L., Stommel, J. R., Fung, R. W. M., Wang, C. Y., & Whitaker, B. D. (2006). Influence of cultivar and harvest method on postharvest storage quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 42(3), 243–247. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.06.013>
- Tadesse, T., Hewett, E. W., Nichols, M. A., & Fisher, J. K. (2002). Changes in physicochemical attributes of sweet pepper cv. Domino during fruit growth and development. *Scientia Horticulturae*, 93, 91–103.
- Tano, K., Oulé, M. K., Doyon, G., Lencki, R. W., & Arul, J. (2007). Comparative evaluation of the effect of storage temperature fluctuation on modified atmosphere packages of selected fruit and vegetables. *Postharvest Biology*

and Technology, 46(3), 212–221.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.05.008>

- Tewksbury, J. J., Manchego, C., Haak, D. C., & Levey, D. J. (2006). Where did the chili get its spice? Biogeography of capsaicinoid production in ancestral wild chili species. *Journal of Chemical Ecology*, 32, 547–564.
- Toivonen, P. M. A., & Brummell, D. A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.09.004>
- Valero, D., & Serrano, M. (2010). Postharvest biology and technology for preserving fruit quality. <https://doi.org/10.1201/9781439802670>
- Wang, W., Bostic, T. R., & Gu, L. (2010). Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. *Food Chemistry*, 122, 1193–1198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.114>
- Wills, R., McGlasson, B., & Joyce, D. G. (1998). *Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales*. (Cuarta). Sydney: University of New South Wales Press Ltd.
- Wu, X., Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E., & Prior, R. L. (2004). Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(12), 4026–4037. <https://doi.org/10.1021/jf049696w>