



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Tesis para optar al Título de
Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos

**TRATAMIENTOS POSCOSECHA PARA
AUMENTAR EL CONTENIDO DE LICOPENO
Y EXTENDER LA VIDA ÚTIL DE TOMATES**

Autor: ING. ALIM. PATRICIA BURZACO

Montevideo, Uruguay

2019

ISSN XXXX-XXXX (Tesis de Maestría versión impresa)

ISSN XXXX-XXXX (Tesis de Maestría versión CD-ROM)

Patricia Burzaco

Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Facultad de Ingeniería

Universidad de la República

Montevideo, Uruguay, 2019

PÁGINA DE APROBACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

El tribunal docente integrado por los abajo firmantes aprueba la
Tesis de Investigación:

Título: TRATAMIENTOS POSCOSECHA PARA AUMENTAR EL
CONTENIDO DE LICOPENO Y EXTENDER AL VIDA UTIL DE
TOMATES.

Autor: Ing. Alim. Patricia Burzaco

Tutor: Dra. Patricia Lema

Co-tutor: Dr. Horacio Heinzen

Carrera:

Puntaje:

Tribunal

Profesor:

Profesor:

Profesor:

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi grupo de trabajo, por su colaboración y apoyo profesional y personal.

A Patricia Lema, por su visión, confianza y su calidad tanto profesional como humana. Ha sido un gran apoyo y contención.

A Horacio Heinzen por sus aportes, su dedicación y confianza en mí y en este trabajo.

Quiero agradecer especialmente a mis hijas Isabella y Aurora, por ser mis pilares y motivación. A mi familia y amigos, por confiar e impulsarme siempre.

A Fran, por entender y hacer posible las horas de dedicación más allá de los roles.

A todos los compañeros del Instituto por apoyarme en un momento muy difícil de mi vida. Sin ese apoyo este trabajo no sería posible.

Resumen

El tomate es un fruto de gran aceptación y ampliamente consumido en el Uruguay. En los últimos años se han reportado muchos efectos beneficiosos para la salud relacionados al consumo del tomate específicamente al consumo de licopeno, el carotenoide más abundante del tomate que le brinda el color rojo característico. Por otra parte, existe un interés creciente en estudiar la relación entre la dieta y la salud y por evaluar y detectar tratamientos que aumenten el valor nutricional de los alimentos. En este sentido es de especial interés el desarrollo de productos hortofrutícolas prontos para consumir o mínimamente procesados que brinden productos naturales con características nutricionales de alta calidad.

En el presente estudio se evaluaron los posibles tratamientos poscosecha a realizar en tomates cosechados en distintos estados de madurez con el objetivo de aumentar el contenido de licopeno y prolongar su vida útil (VU).

Tomates inmaduros o en estado de madurez fisiológica (breaker, turning y pink) fueron sometidos a tratamiento térmico (TT) y/o envasado en atmósfera modificada (EAM) y fueron almacenados a 15°C y a 7°C, una vez desarrollado el color rojo. Paralelamente, se estudiaron tomates maduros o en estado de madurez comercial (light red y red) y se evaluó la

evolución de parámetros de calidad (entre ellos contenido de licopeno) y tiempo de VU.

Los resultados obtenidos muestran que el estado de madurez inicial es determinante en el contenido de licopeno alcanzado. Tomates más inmaduros alcanzan mayores valores de licopeno durante poscosecha que tomates cosechados más próximos a la madurez comercial.

En todos los casos el EAM fue efectivo para reducir la pérdida de peso (PP), mantener la firmeza, desarrollar color y licopeno y conseguir una VU de 27 días para tomates turning y 35 días en tomates pink.

Tomates cosechados maduros no consiguen conservar el licopeno durante el almacenamiento. Temperatura de almacenamiento de 7°C resulta perjudicial para conservar este compuesto nutricional.

PALABRAS CLAVE: Tomate, licopeno, estado de madurez, envasado en atmósfera modificada, tratamiento térmico, vida útil.

Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS.....	4
Resumen	5
Tabla de contenido	7
Capítulo 1. Introducción	12
1.1. Tomate.....	12
1.1.1. Características generales	12
1.1.2. Composición nutricional.....	14
1.1.3. Interés socioeconómico del tomate en el Uruguay.....	16
1.2. Cambios fisiológicos durante la poscosecha	17
1.3. Índices de madurez.....	20
1.4. Consumo de tomate y efectos beneficiosos para la salud	22
1.5. Tratamientos poscosecha	25
1.5.1. Envasado en atmósfera modificada (EAM)	26
1.5.2. Uso de agua caliente y aire caliente.....	27
1.6. Rutas biosintéticas de licopeno y los principales carotenoides	

Capítulo 2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	33
2.1. Justificación	33
2.2. Objetivos	34
2.2.1. Objetivo general.....	34
2.2.2. Objetivos específicos.....	34
Capítulo 3. MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1. Procesamiento de los frutos	36
3.1.1. Obtención de la materia prima.....	36
3.1.2. Selección de variedades.....	36
3.2. Metodología de trabajo	37
3.2.1. Descripción del procesamiento.....	40
3.3. Determinaciones analíticas	43
3.3.1. Atmósfera interior	43
3.3.2. Color instrumental.....	44
3.3.3. Análisis de compuestos nutricionales.....	45
3.3.4. Pérdida de peso.....	48
3.3.5. pH	48
3.3.6. Sólidos solubles.....	49
3.3.7. Sólidos totales	49
3.3.8. Textura instrumental	49

3.3.9.	Tasa respiratoria.....	50
3.4.	Determinación de la vida útil.....	51
3.5.	Análisis estadístico de datos	52
Capítulo 4.	Estrategia.....	53
4.	Estrategia.....	53
4.1.	Tomates cosechados en estado de madurez turning y light red (cv. Lapataia)	55
4.2.	Tomates cosechados en estado de madurez pink y red (cv. Lapatia)	57
4.3.	Tomates cosechados en estado de madurez breaker (Variedad experimental No. 8901):.....	60
Capítulo 5.	Resultados y discusión.....	62
5.1.	Tomates cosechados en estado de madurez turning y light red.	62
5.1.1.	Atmósfera interior del envase	64
5.1.2.	Color instrumental.....	67
5.1.3.	Licopeno	77
5.1.4.	Pérdida de Peso	82
5.1.5.	pH, sólidos solubles y sólidos totales	84

5.1.6.	Textura instrumental	86
5.1.7.	Tasa respiratoria.....	89
5.1.8.	Resumen de resultados.....	94
5.2.	Tomates cosechados en estado de madurez pink y red (cv. Lapataia)	95
5.2.1.	Vida útil	96
5.2.2.	Atmósfera interior del envase	97
5.2.3.	Color Instrumental	102
5.2.4.	Licopeno	112
5.2.5.	Pérdida de Peso	124
5.2.6.	Textura instrumental.....	126
5.2.7.	pH, sólidos solubles y sólidos totales	128
5.2.8.	Tasa respiratoria.....	129
5.2.9.	Resumen de resultados.....	133
5.3.	Tomates cosechados en estado de madurez breaker (variedad experimental).....	135
5.3.1.	Atmósfera interior del envase	136
5.3.2.	Color instrumental.....	137
5.3.3.	Licopeno	140
5.3.4.	Pérdida de Peso	142
5.3.5.	Textura instrumental.....	143
5.3.6.	Resumen de resultados.....	145

Capítulo 6.	Conclusiones	146
Capítulo 7.	Bibliografía	148
Capítulo 8.	Anexos	161
8.1.	Anexo A: Estudios preliminares con tomates perita (cv Santa Paula) en estado de madurez pink	161
8.1.1.	Vida útil	162
8.1.2.	Atmósfera interior	163
8.1.3.	Color instrumental.....	165
8.1.4.	Pérdida de Peso	168
8.1.5.	Textura instrumental	169
8.1.6.	pH, sólidos solubles y sólidos totales	169
8.1.7.	Resumen de los resultados	170
8.2.	Anexo B.....	172
8.2.1.	pH, sólidos solubles y sólidos totales de tomates turning	172
8.2.2.	Parámetros colorimétricos de tomates pink.....	173
8.2.3.	pH, sólidos solubles y sólidos totales de tomates pink y red....	175

Capítulo 1. Introducción

1.1. Tomate

1.1.1. Características generales

El tomate (*Solanum lycopersicum*) pertenece al género *Lycopersicum* de la familia de las solanáceas. El centro de origen del género *Lycopersicum* se encuentra en zonas de baja altitud y costeras del sur de Ecuador, Perú y norte de Chile, con clima generalmente tropical, pero con bajo nivel de precipitaciones. El tomate es capaz de crecer en un rango amplio de condiciones ambientales, pero, de acuerdo a su lugar de origen, su crecimiento se detiene a temperaturas medias por debajo de 10-12 °C o por encima de 30-35 °C (INIA, 2017). Es el segundo vegetal más producido en los Estados Unidos, luego de la papa. El tomate redondo de pulpa roja predomina en el mercado fresco, pero también están disponibles los tipos redondo de pulpa roja y amarilla, perita, en racimo, cherry, uva y mini perita. La mayoría de los tomates se cultivan en el campo, pero el uso de cultivos protegidos está aumentando en todo el mundo. Los proveedores dominantes de tomates cultivados en invernaderos para los mercados de EE. UU son Holanda, España, Israel y Canadá (Sargent & Moretti, 2016).

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las Solanáceas. La taxonomía generalmente aceptada se presenta en la **Tabla 1.1**.

Tabla 1.1: Taxonomía del tomate (*Solanum Lycopersicum*)

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Asteridae
Orden:	Solanales
Familia:	Solanaceae
Género:	Solanum
Subgénero:	Potatoe
Sección:	Petota
Especie:	<i>Solanum lycopersicum</i>

1.1.2. Composición nutricional

Es un alimento con escasa cantidad de calorías y la mayor parte de su peso es agua. Contiene azúcares simples que le confieren un ligero sabor dulce y algunos ácidos orgánicos que le dan el sabor ácido característico.

El tomate es un cultivo vegetal que se consume popularmente. Se usa comúnmente para el consumo en forma fresca o como ingrediente en platos cocidos. El tomate es bueno para la nutrición humana ya que es una fuente de vitaminas C, A y K, potasio, magnesio y carotenoides como el licopeno y el β -caroteno, que actúan como antioxidantes (FAO, 2013; INIA, 2015).

En la **Tabla 1.2** se expone la composición nutricional de tomate fresco rojo, de la National Nutrient Database for Standard Reference (base de datos nacional de nutrientes para referencia estándar) (USDA, 2010).

Tabla 1.2: Composición nutricional en 100 g de tomate rojo fresco

Nutriente	Contenido
Agua (g)	94,52
Energía (kcal)	18
Proteína (g)	0,88
Grasas totales(g)	0,20
Carbohidratos (g)	3,89
Fibra total(g)	1.2
Azúcares totales (g)	2.63
Minerales	Contenido
Calcio, Ca (mg)	10
Hierro, Fe (mg)	0.27
Magnesio, Mg (mg)	11
Fósforo, P (mg)	24
Potasio, K (mg)	237
Sodio, Na (mg)	5
Zinc, Zn(mg)	0.17
Vitaminas	Contenido
Vit C, ácido ascórbico (mg)	13.7
Vit B1, Tiamina (mg)	0.037
Vit B2, Riboflavina (mg)	0.019
Vit B3, Niacina (mg)	0.594
Vit B-6 (mg)	0.080
Vit B9, Folato DFE (µg)	15
Vit B-12 (µg)	0.00
Vit A, RAE (µg)	42
Vit A, IU (IU)	833
Vit E, alfatocoferol (mg)	0.54
Vitamina D (D2 + D3) (µg)	0.0
Vit D (IU)	0
Vit K, filoquinona (µg)	7.9

(Fuente: USDA, 2010)

1.1.3. Interés socioeconómico del tomate en el Uruguay

El tomate fresco (*Solanum lycopersicum*) es uno de los frutos más extensamente cultivados en el mundo. La producción mundial se ubica en torno a los 165 millones de toneladas, en una superficie de 4,7 millones de hectáreas (FAO, 2013). Es una de las principales frutas de consumo en fresco en el Uruguay. Su producción, a lo largo de todo el año, está basada en cultivos bajo invernadero que aportan un 90% del volumen total producido. Las principales regiones productoras se sitúan en la zona norte (Salto y Bella Unión) con preferencia en la oferta de invierno y primavera, y la zona sur (Canelones y Montevideo) con preferencia en la oferta de verano y otoño. El tipo principal de tomate consumido es el redondo (Larga Vida y Americano) y los cultivares más utilizados son híbridos de tipo indeterminado (INIA, 2017).

Este producto es una de las hortalizas de mayor consumo en el país y presenta alta estacionalidad (es un cultivo de ciclo claramente estival) presentando una importante variación en los precios a lo largo del año; inclusive en una misma semana. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística se estima un consumo per-cápita de 0,96 kg/persona/mes en Montevideo y de 0,92 en el interior (Mercado Modelo, 2012).

En el mercado local se distinguen fundamentalmente cuatro tipos comerciales de tomate:

- Larga vida: frutos que presentan gran capacidad de conservación y firmeza en estados maduros (rojo)
- Americano: fruta más blanda pero en general con mejor sabor.
- Perita o industria: fruto ovalado, con mayor contenido de azúcar, adecuado para procesos industriales
- Cherry: Frutos pequeños, muy sabrosos.

1.2. Cambios fisiológicos durante la poscosecha

Los productos frescos son más susceptibles al deterioro debido a la respiración continua después de la cosecha. Se ha estimado que la pérdida posterior a la cosecha de productos perecederos alcanza el 50% debido a la falta de instalaciones de embalaje, transporte y almacenamiento (FAO, 2015). Las frutas y hortalizas son productos perecederos con un metabolismo activo durante la vida poscosecha. Dentro de los procesos metabólicos que se siguen desarrollando en la poscosecha, la respiración es de los más importantes en cuanto a la pérdida de calidad. Varios mecanismos bioquímicos y fisiológicos están relacionados a la respiración, estos incluyen ablandamiento de los tejidos, pigmentación, hidrólisis de carbohidratos, síntesis de volátiles responsables del aroma. Cuanto más alta es la tasa respiratoria del producto, más corta será su vida útil (Robertson, 2006). Las tecnologías poscosechas están por tanto enfocadas en controlar y disminuir la tasa

respiratoria de los productos frescos. Uno de los factores más importantes que impacta directamente en la tasa respiratoria es la temperatura. Frutas y hortalizas presentan un aumento en la tasa respiratoria cuando son expuestas a altas temperaturas (Fonseca, Oliveira, & Brecht, 2002) . Otros factores que influyen en el proceso de respiración son la composición gaseosa dentro del envase, el tipo de tejido y condiciones de estrés ejercidas sobre el vegetal.

La calidad del tomate fresco se determina por varios atributos tales como apariencia, firmeza, sabor, contenido nutricional. Los consumidores adquieren tomates en gran parte debido a su apariencia, la fruta debe estar bien formada, tener un color rojo anaranjado uniforme a rojo intenso sin hombros verdes y tener apariencia lisa (Nunes, 2008).

El color es uno de los factores de calidad que más importa y afecta a la apariencia del tomate y está determinado por la piel y la pigmentación de la pulpa (Brandt, Pék, Barna, Lugasi, & Helyes, 2006). A medida que los tomates maduran el color cambia de verde en la fruta inmadura a rojo oscuro intenso en fruta completamente madura. El color del tomate se correlaciona fuertemente con el contenido de licopeno y a medida que el fruto se desarrolla desde la fase verde a roja aumenta la concentración de licopeno (Brandt et al., 2006; Dumas, Dadomo, Di Lucca, & Grolier, 2003).

El aumento del valor a^* medido en un colorímetro fue reportado estar directamente asociado con la síntesis de licopeno y degradación de clorofila representando el cambio de color de verde a rojo (Arias, Lee,

Logendra, & Janes, 2000). De acuerdo con los autores, la relación a^*/b^* o índice de color (IC) ha sido reportado como un buen indicador del contenido de licopeno y por tanto se ha sugerido su uso para caracterizar la etapa de madurez del tomate fresco (**Figura 1.1**).

En relación con las temperaturas de almacenamiento, se recomienda para la maduración del tomate temperaturas entre 19 y 21°C para una madurez estándar y entre 14 y 16°C para una madurez lenta. El desarrollo óptimo del color ocurre entre 19 y 21°C mientras que temperaturas más bajas o más altas entre los 13-25°C resultan en un desarrollo de color más lento o frutas más anaranjadas respectivamente. Temperaturas más altas aun (por encima de los 30°C) inhiben por completo el desarrollo de color (Nunes, 2008).

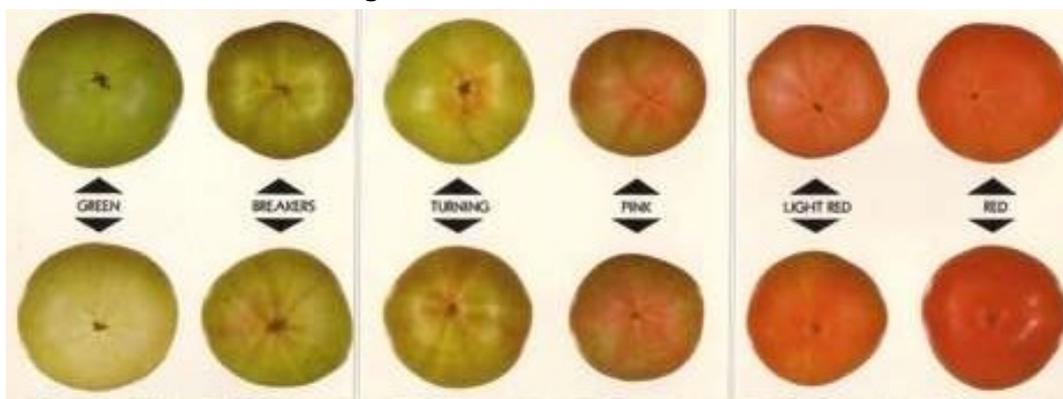
El ablandamiento de los tejidos del tomate es otro de los cambios importantes que ocurren durante el almacenamiento y también tiene un efecto importante en la aceptabilidad del consumidor (Nunes, 2008). La pérdida de firmeza o ablandamiento que experimentan los frutos en el proceso de maduración viene dada principalmente por dos factores. Uno es la pérdida de cohesión entre las pectinas de la pared celular debido a la acción enzimática de poligalacturonasas, pectiesterasas y β -galactosidasas. El otro factor determinante de la firmeza es la pérdida de peso. Este factor está asociado a la deshidratación poscosecha y está directamente relacionado con la tasa de transpiración. Resulta esencial una alta humedad relativa (90-95%) durante el manejo poscosecha para

evitar pérdida de humedad y aspecto arrugado de los frutos (Sargent & Moretti, 1991). Debido al impacto que este parámetro de calidad tiene sobre el tejido del fruto, muchas veces podría ser limitante de la vida útil del mismo.

1.3. Índices de madurez

Dependiendo del mercado y el área de producción, los tomates se cosechan en etapas de madurez que van desde la madurez fisiológica (etapa de madurez verde) hasta la maduración total. Es difícil determinar con precisión la finalización de la madurez fisiológica. Los tomates cosechados en la etapa verde madura (3 o 4) (**Figura 1.1**) madurarán a alta calidad si se manejan adecuadamente. Los tomates cosechados en la etapa 2 (**Figura 1.1**) madurarán a una calidad moderada, mientras que los recolectados en la etapa 1 no madurarán a niveles aceptables de calidad (Sargent & Moretti, 1991).

Figura 1.1 Cartilla de color del tomate



Fuente: USDA

* (1) Green: La superficie de la fruta es completamente verde; el tono de verde puede variar de claro a oscuro.

(2) Breaker: Hay una ruptura definitiva en el color de verde a amarillo-pardo, rosa o rojo en no más del 10% de la superficie.

(3) Turning: 10 a 30% de la superficie no es verde; en conjunto, muestra un cambio definido de verde a amarillo, rosado, rojo o una combinación de ellos.

(4) Pink: 30 a 60% de la superficie no es verde; en conjunto muestra color rosa o rojo.

(5) Light red: 60 a 90% de la superficie no es verde; en conjunto muestra color rosa-rojo o rojo.

(6) Red: Más del 90% de la superficie no es verde; en total muestra color rojo.

1.4. Consumo de tomate y efectos beneficiosos para la salud

El consumo de frutas y verduras ha aumentado enormemente durante las últimas décadas, principalmente debido a la creciente conciencia de los consumidores sobre sus efectos beneficiosos para la salud humana, incluida la prevención de enfermedades crónicas (González-Chavira M. M., Herrera-Hernández M. G., Guzmán-Maldonado H., 2018). Varios estudios que incluyen animales, cultivos celulares in vitro y las investigaciones epidemiológicas han demostrado que el licopeno tiene la capacidad o el potencial de reducir el riesgo de enfermedades crónicas como el cáncer y enfermedad coronaria. Se piensa que el papel del licopeno en la salud humana es su papel como antioxidante, pero estudios recientes han demostrado que otros mecanismos son responsables de sus propiedades beneficiosas. Estos incluyen, la modulación de los sistemas inmunológico y hormonal, y otras rutas metabólicas del licopeno (Kun, Lule, & Xiao-Lin, 2006).

Evidencia creciente sobre el consumo de productos en base a tomate se han mostrado prometedores para la prevención del cáncer de próstata. Este efecto protector se ha relacionado más recientemente con el licopeno. En países occidentales, el 85% del licopeno de la dieta puede atribuirse al consumo de productos a base de tomate. Estudios humanos recientes, ensayos clínicos y estudios en animales han proporcionado evidencia creciente sobre los mecanismos biológicos del licopeno en la prevención del cáncer de próstata (Fraser, Lee, & Binns, 2019a).

Por otra parte, la evidencia sugiere que la obesidad puede contribuir al desarrollo de ciertas complicaciones como la resistencia a la insulina, la dislipidemia, la acumulación de grasas viscerales y las disfunciones cardiovasculares. El exceso de grasa también bloquea pequeños vasos sanguíneos y las arterias acumulan placa, lo que aumenta la inflamación vascular, la aterosclerosis y riesgo de otras enfermedades cardiovasculares. En 2010, la Organización Mundial de la Salud estableció varias recomendaciones sobre los beneficios de las plantas y de los fitonutrientes derivados de las plantas contra varios medicamentos crónicos. El tomate (*Solanum lycopersicum*) protege contra varias enfermedades crónicas (Alam et al., 2018). Estos autores identificaron una conexión clara entre los suplementos de tomate y efectos positivos sobre los parámetros bioquímicos en humanos, como la glucosa en sangre, HbA1c, el perfil lipídico dañino, marcadores inflamatorios y radicales libres que pueden dar lugar a un menor riesgo de obesidad, diabetes y eventos cardiovasculares. Sin embargo, la mayoría de los estudios fueron en participantes jóvenes sanos y rara vez evaluaron los efectos del tomate ante incidencia de eventos cardiovasculares como infarto de miocardio. De acuerdo con los autores, el consumo de suplementos de tomate puede contribuir a la prevención de la obesidad, la diabetes y las disfunciones cardiovasculares a través de afectar positivamente las rutas bioquímicas asociadas con estas condiciones.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) identificó que seis factores de riesgo vinculados al estilo de vida dan cuenta de 19% de muertes globales (**Tabla 1.3**).

En el año 2013 el Ministerio de Salud Pública (MSP) hizo públicos los resultados de la segunda Encuesta Nacional sobre Factores de Riesgo de Enfermedades No Transmisibles (ENFRENT). Según los datos de la 2° ENFRENT los factores de riesgo destacados por la OMS presentaron una alta prevalencia en la población nacional. En Uruguay las enfermedades crónicas no transmisibles son la principal causa de enfermedad y muerte, originan la mayor parte de las discapacidades e incrementan las necesidades asistenciales (Ministerio de Salud Pública, 2013).

Tabla 1.3: Factores de riesgo de ENT (OMS)

	Edad (años)	
	15-24 (%)	25-64 (%)
Hipertensión arterial	8,7	36,6
Hipercolesterolemia	8,6	21,5
Diabetes mellitus	0,8	7,6
Sobrepeso/Obesidad	38,5	64,9
Baja ingesta de frutas y/o verduras	89,9	90,9
Bajo nivel de actividad física	17,9	22,8

La adherencia a una dieta occidental aumenta la incidencia de hipertensión arterial, hipercolesterolemia, obesidad y diabetes mellitus. En

Uruguay la prevalencia de consumo menor a 5 porciones diarias de frutas y/o verduras para el tramo de 25 a 64 años no solo se mantiene en cifras superiores a 8 de cada 10 personas adultas, sino que, comparando con el año 2006 se registra un aumento significativo en 2013, pasando de 84,9% a 90,8%.

Existe un interés creciente en estudiar la relación entre la dieta y la salud y por evaluar y detectar tratamientos y ensayos que aumenten el valor nutricional de los alimentos. Patanè et al. (2019) y Vallverdú-Queralt *et al.* (2013) reportaron que una combinación de tratamientos con pulsos eléctricos de intensidad moderada y de alta intensidad (MIPEF y HIPEF por sus siglas en inglés) pueden ser utilizados no sólo para producir jugo de tomate con un alto perfil de carotenoides sino también para mantener el contenido de carotenoides alto durante el almacenamiento. González-Casado *et al.*, (2018) estudiaron el efecto del tratamiento de tomates con pulsos eléctricos (PEF) y la temperatura de almacenamiento post-tratamiento, en el perfil de carotenoides y las principales propiedades fisicoquímicas de los frutos. Reportaron que la aplicación de PEF en el desarrollo de productos a base de tomate incrementa las propiedades relacionadas a la salud.

1.5. Tratamientos poscosecha

Los mecanismos involucrados en el proceso de maduración que provocan el deterioro de frutas y hortalizas están relacionados con cambios en el color, la textura, aroma y sabor de estos productos. En

particular el tomate presenta una maduración climatérica, en la cual los procesos enzimáticos vinculados a la degradación se desencadenan una vez cosechados, y por lo tanto son susceptibles a perder rápidamente su calidad y valor comercial (Nunes, 2008). Es por ello, que la aplicación de tecnologías poscosecha que retarden el proceso de maduración son fundamentales para mantener la calidad y extender la vida útil.

1.5.1. Envasado en atmósfera modificada (EAM)

La tecnología de EAM es el confinamiento de alimentos en un paquete en el que la atmósfera interior se modifica o altera para proporcionar una atmósfera óptima que permita extender la vida útil y mantener la calidad de los alimentos (Robertson, 2006).

En el caso de productos hortofrutícolas, consiste básicamente en el envasado de productos frescos en envases permeables a los gases y al vapor de agua. Mediante el proceso de respiración se genera una interacción entre el producto y el envase que modifica el entorno gaseoso en contacto con el producto con el propósito de extender la vida útil y mantener su calidad. La atmósfera que se genera en contacto con el producto es dinámica, ya que es el resultado de dos procesos que se dan en simultáneo, el consumo de O_2 y generación de CO_2 que se da durante la respiración del vegetal y la transferencia de gases a través del film. Eventualmente se llega a una atmósfera de equilibrio o estado estacionario en el que la velocidad de transferencia de los gases a través del film se iguala a la tasa respiratoria. Una de las principales estrategias

a ser consideradas en el EAM es la elección del material de envase. Las características a ser consideradas son principalmente la permeabilidad a los gases y al vapor de agua, sus propiedades mecánicas, capacidad de sellado térmico y transparencia (Robertson, 2006).

Dentro de la tecnología de EAM existen dos tipos: pasiva y activa. El EAM pasiva, es aquel donde la atmósfera de equilibrio deseada se alcanza exclusivamente por la interacción entre la respiración del producto y la permeabilidad del film. El EAM activa busca acelerar la obtención de la atmósfera deseada inyectando una mezcla gaseosa para sustituir el aire del espacio de cabeza antes del cerrado hermético del envase (Robertson, 2006).

Los efectos que se consiguen con el EAM son variados e incluyen: reducción de tasa respiratoria y pérdida de agua, retardar la maduración, prevenir el ablandamiento y pérdida de compuestos nutricionales, extender la vida útil.

1.5.2. Uso de agua caliente y aire caliente

El interés por los tratamientos térmicos poscosecha se ha dado en gran parte debido al creciente interés en reducir el uso poscosecha de productos químicos para el tratamiento y control de insectos. Los tratamientos térmicos también se pueden usar para prevenir el crecimiento de hongos y el desarrollo de lesiones por frío. Existen tres métodos utilizados para el calentamiento posterior a la cosecha

dependiendo del fruto: agua caliente, calor de vapor y aire caliente (Belović, Kevrešan, Pestorić, & Mastilović, 2015). El aire caliente se ha utilizado tanto para el control de hongos como de insectos, y se puede aplicar como estático o con una alta tasa de flujo; además, permite tener regulación de la humedad (Lurie, 1998). El autor reporta que tratamientos prolongados a alta temperatura (12 a 96 horas a temperaturas de 38 a 46°C) han sido efectivos para tratamiento tanto de insectos como de crecimiento fúngico. Se ha demostrado que el tratamiento térmico induce muchos cambios fisiológicos en los tomates. La investigación de Soto-Zamora *et al.*, (2005) mostró que el calentamiento de los tomates en aire a 34°C y 50% de HR durante 24 horas antes del almacenamiento a 10° C durante 30 días, produjo una lesión por calor no significativa y pérdidas en el contenido de antioxidantes, mientras que el color de la fruta se desarrolló normalmente. La uniformidad del calentamiento es también un factor importante para el daño por frío y el desarrollo del color en los tomates, lo que lleva a una maduración uniforme de las frutas (Belović *et al.*, 2015). Estos autores compararon la influencia del aire caliente y la radiación ultravioleta (UV) en la calidad sensorial de los tomates después del almacenamiento. Ambos tratamientos poscosecha fueron efectivos en la prevención del deterioro de los frutos. El tratamiento con aire caliente dio como resultado una mejor calidad de los frutos de tomate en términos de propiedades sensoriales después de dos semanas de almacenamiento, y la irradiación UV resultó en efectos favorables en

términos de extensión de la vida útil del tomate debido a que llevó a una maduración retardada de los frutos.

La lesión por frío es un trastorno fisiológico causado por la exposición de frutas y verduras a bajas temperaturas por encima del punto de congelación. Dependiendo del vegetal las lesiones se traducen en manchas en la piel, ablandamiento prematuro o en frutos como el durazno pardeamiento alrededor del carozo. Tadesse y Abtew, (2016) reportaron que el tratamiento a 40 ° C durante 20 min produjo una disminución de la pérdida de peso y del índice de daño por frío, y un aumento en la firmeza de la fruta durante el almacenamiento. Con respecto a los atributos de calidad química, el tratamiento a 50 ° C durante 20 minutos obtuvo un mayor contenido de licopeno en comparación con otros tratamientos. El tratamiento térmico favorecería la degradación de la clorofila, proceso indispensable para la maduración y acumulación de licopeno y carotenoides. Por lo tanto, de acuerdo con los autores, el tratamiento con agua caliente antes del almacenamiento puede disminuir las lesiones por frío y mejorar algunas características de calidad de los frutos.

1.6. Rutas biosintéticas de licopeno y los principales carotenoides

Dentro de los cambios más marcados en la maduración se encuentran, el incremento del color rojo (mayormente por la biosíntesis de pigmentos carotenoides), pérdida de clorofila, degradación de pared celular, aumento de pH y sólidos solubles y biosíntesis de compuestos del aroma (Lewinsohn, Sitrit, Bar, Azulay, Ibdah, Meir, Yosef, Zamir, Tadmor, 2005). De acuerdo con Hirschberg (2001) el licopeno normalmente no se acumula en los tejidos de las plantas, sino que sirve de intermediario en la biosíntesis de otros carotenoides. Sin embargo, en tomates y sandías se acumulan cantidades importantes de este pigmento dándoles a dichos frutos su color distintivo. Para dar respuesta a la demanda de alimentos funcionales, frutas y vegetales novedosos y de fuentes naturales de carotenoides, se están desarrollando nuevas variedades de frutas y vegetales. Dentro de esos desarrollos se encuentran las nuevas variedades de tomates amarillos, naranjas y rojos con alto contenido en licopeno.

En tomates, los carotenoides totales aumentan 10 a 15 veces durante la maduración. La acumulación de licopeno comienza en el estadio "breaker", luego que la fruta alcanza el estadio "mature Green". El mecanismo principal de acumulación de licopeno está basado en la diferencia de regulación de los genes de biosíntesis de carotenoides. Conforme van madurando los tomates aumentan los de síntesis de

licopeno y disminuyen los de formación de otros carotenoides (Ronen, Cohen, Zamir, & Hirschberg, 1999).

La biosíntesis de carotenoides y su regulación durante el desarrollo y maduración del tomate es un proceso complejo que ocurre junto con la diferenciación de cloroplastos a cromoplastos y cambios en las propiedades organolépticas de los frutos (Bramley, 2002).

En la **Figura 1.4** se muestra la ruta biosintética de carotenoides en plantas y algas.

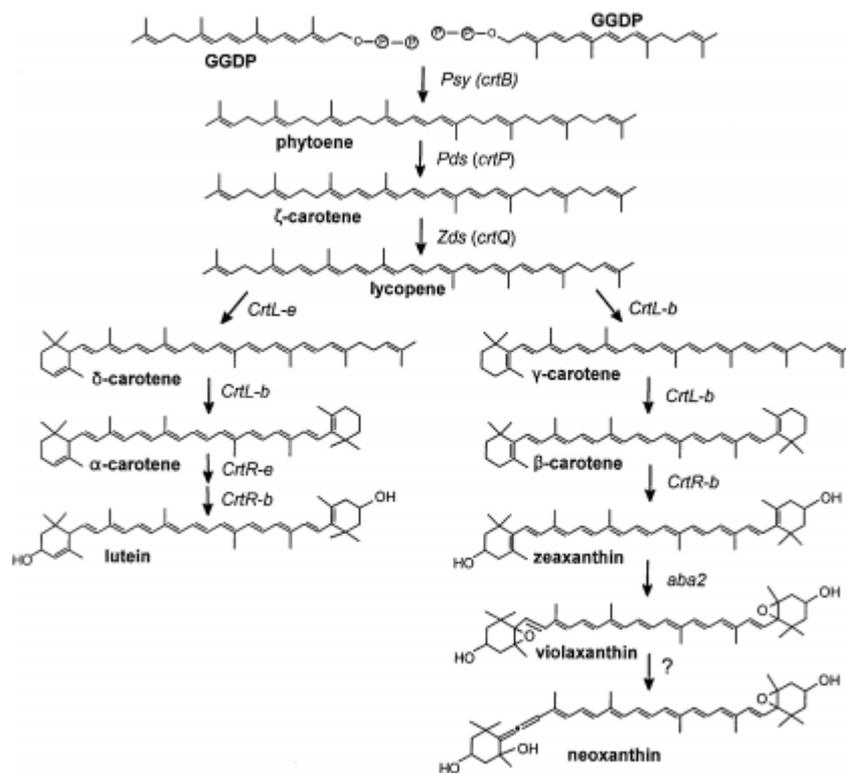


Figura 1.4: Ruta biosintética de carotenoides en algas y plantas

La vía de biosíntesis de los carotenoides tiene lugar dentro de los plástidos. El primer paso es la condensación cabeza a cabeza de dos

moléculas de geranylgeranfospato (GGDP) para producir Fitoeno, catalizado por la enzima fitoeno sintasa (PSY). Dos enzimas, la fitoeno desaturasa (PDS) y la ζ -caroteno desaturasa (ZDS o CRTQ), introducen cuatro dobles enlaces que convierten el fitoeno en licopeno a través del fitoflueno, ζ -caroteno y neurosporeno. La ciclación del licopeno es un importante punto de ramificación en el camino. Una ruta conduce al β -caroteno (β , β -caroteno) y sus derivadas Xantofilas: zeaxantina, violaxantina y neoxantina. Las dos últimas son precursores de la síntesis de la hormona ácido abscísico (ABA). El camino alternativo conduce a carotenoides con un anillo de extremo β y uno de ϵ , como α -caroteno y luteína, que es una xantofila importante en el sistema de recolección de luz de la mayoría de las plantas superiores.

Capítulo 2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

2.1. Justificación

De acuerdo con lo reportado por el MSP, en Uruguay las enfermedades crónicas no transmisibles (ENT) son la principal causa de enfermedad y muerte y son el origen de la mayor parte de las discapacidades que presentan los individuos y que incrementan sus necesidades asistenciales. La evidencia demuestra que un alto porcentaje de las ENT se puede prevenir o enlentecer su evolución, a través de intervenciones de promoción de la salud. Entre estas últimas la alimentación saludable es uno de los pilares fundamentales.

El tomate es un producto fresco ampliamente consumido en nuestro país, que presenta una alta tasa de aceptación por público de todas las edades. Algunos estudios epidemiológicos sugieren que existe una relación inversa entre dietas ricas en licopeno y el riesgo de enfermedades crónicas (Bramley, 2000). Diversos estudios se han realizado en el último tiempo que relacionan el consumo de tomate con efectos beneficiosos para la salud, específicamente el consumo del licopeno del tomate ((Alam et al., 2018; Colle, Lemmens, Van Buggenhout, Van Loey, & Hendrickx, 2010; Fraser, Lee, & Binns, 2019b; Kun et al., 2006).

Es por esto que resulta de especial interés el estudio de tratamientos poscosecha que permitan el incremento de licopeno en variedades de tomates uruguayas, así como también de distintas estrategias de almacenamiento de manera de prolongar la vida útil, y el estudio del EAM que brinde al mercado productos frescos prontos para consumir.

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Generar conocimiento sobre las diferentes estrategias de procesamiento poscosecha de tomates cosechados en distintos estados de madurez que permitan incrementar el valor nutricional y prolonguen la vida útil.

2.2.2. Objetivos específicos

Evaluar el impacto del tratamiento térmico poscosecha y del EAM en el incremento de licopeno en tomates cosechados en distintos estados de madurez.

Evaluar el efecto de: tipo de envase, temperatura de almacenamiento y estado de madurez sobre la calidad fisicoquímica y nutricional de tomates y su repercusión en la VU.

Estudiar la viabilidad de predecir el contenido de licopeno en tomates mediante estudio de parámetros de color (CIELab).

Evaluar la relación entre la acumulación de los pigmentos betacaroteno y licopeno durante la maduración y hasta el fin de su VU, en tomates cosechados pink.

Capítulo 3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Procesamiento de los frutos

3.1.1. Obtención de la materia prima

En todos los casos los tomates fueron recogidos en el Mercado Modelo o en el establecimiento del productor y trasladados hasta el laboratorio en el Instituto de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería. El procesamiento de los frutos se iniciaba en un plazo no mayor a 12 horas desde su obtención.

3.1.2. Selección de variedades

Se trabajó con tomates americanos de variedad experimental (N° 8901). Estos tomates fueron traídos del norte del país, de un productor de la zona Colonia 18 de Julio de Santo, y se recogieron en el Mercado Modelo a través de un distribuidor. Esta variedad resultó adecuada a los efectos de este estudio, pero como no avanzó su desarrollo luego de la etapa experimental, se continuó trabajando con una variedad que se planta en el sur del país.

Se realizaron estudios con tomates americanos (cv. Lapataia) cosecha verano 2016-2017. Estos tomates se recogieron directamente del establecimiento del productor en Canelón Chico, departamento de Canelones. Se trata de una variedad adaptable fácilmente a condiciones de climas templados. Ideal para establecer en ciclos largos en

invernaderos y muy constante en producción. Presenta frutos muy uniformes y firmes, excelente brillo y cierre apical que le proveen una larga vida de anaquel (Belmonte, 2018).

Se trabajó también con tomate perita (cv Santa Paula). Se trata de una variedad híbrida saladette, muy utilizada y ampliamente plantada por ser “multipropósito”. Esta variedad se la considera “larga vida” y se adapta al clima del norte y de sur del país y por encontrarse disponible durante todo el año resultaba de interés su estudio. Esta variedad no resultó adecuada para tratamientos poscosecha. Se presentan los resultados en el Anexo A de este trabajo.

3.2. Metodología de trabajo

Se plantearon distintos experimentos de manera de evaluar los efectos de: estado de madurez de los frutos, tratamiento térmico poscosecha, temperatura de almacenamiento y envasado en atmósfera modificada, sobre el contenido de licopeno y tiempo de vida útil. En los distintos casos, se estudiaron tomates en estado de madurez fisiológica (breaker, turning y pink) y tomates en estado de madurez comercial (light red y red). En el caso de estos últimos, se colocaron en atmósfera modificada y en envases microperforados y se almacenaron a 7°C con el fin de simular las condiciones a las que son almacenados luego de la

distribución a los centros de venta y durante el almacenamiento doméstico. Los tomates con madurez fisiológica fueron almacenados a 15°C y en el caso de los cosechados pink se ensayó colocarlos a 7°C una vez alcanzada la coloración roja de tomates maduros.

En la **Figura 3.2-1** se muestra en forma general el diagrama de flujo con las principales etapas del procesamiento de los frutos.

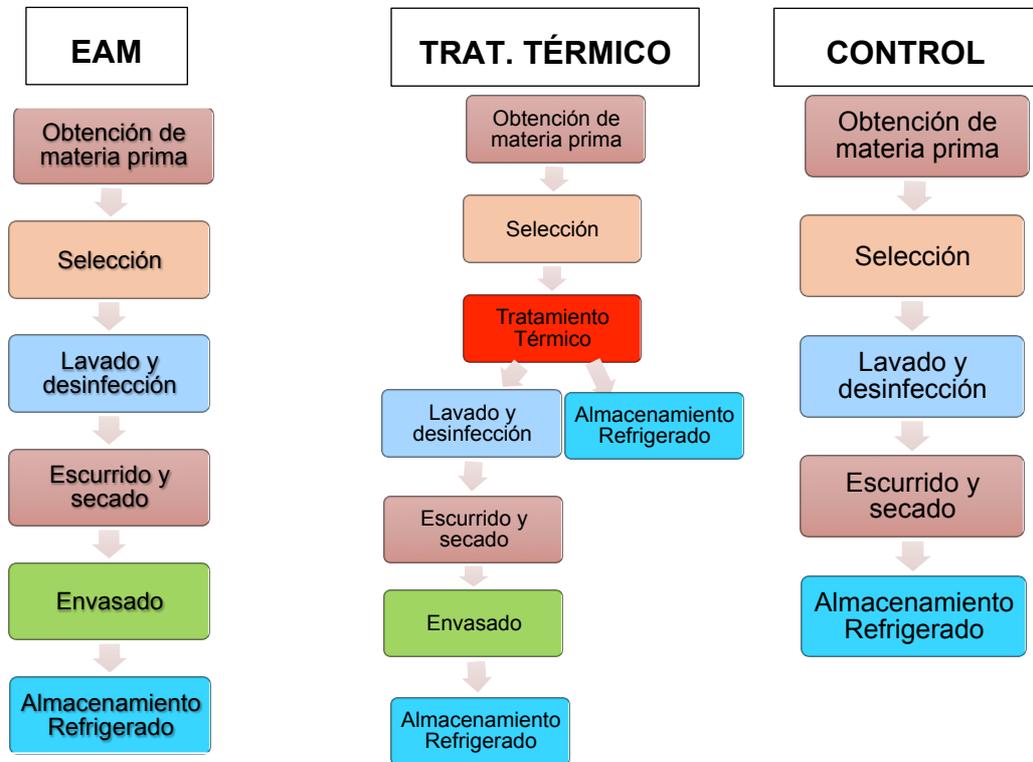


Fig. 3.2-1. Diagrama de flujo de las principales etapas del procesamiento

3.2.1. Descripción del procesamiento

3.2.1.1. Obtención de materia prima

Este paso fue descrito en la sección 3.1.1

3.2.1.2. Selección

Una vez en el laboratorio se seleccionaron frutos sanos, sin defectos ni golpes visibles, homogéneos entre sí en función del tamaño y del color.

3.2.1.3. Tratamiento térmico

Tomates breaker, turning y pink fueron colocados en cámara con aire estático a 30°C durante 3 días. Los tomates en estado de madurez turning y pink fueron previamente envasados en bolsas microperforadas (MP) y los tomates breaker no fueron envasados previo al tratamiento térmico. En el caso de los frutos envasados se colocaba una masa de (500±50) gramos de tomates por unidad experimental. En el caso de los frutos breaker, se colocaron unidades experimentales de (500±50) gramos en bandejas plásticas abiertas a la atmósfera.

3.2.1.4. Lavado y desinfección

Los tomates fueron lavados con agua corriente y posteriormente desinfectados en solución de hipoclorito de sodio. Los frutos fueron sumergidos en solución de desinfectante (100 ppm) y permanecieron en contacto con esta durante 5 minutos.

3.2.1.5. Escurrido y secado

Una vez desinfectados los tomates se escurrieron y se secaron manual e individualmente con papel absorbente.

3.2.1.6. Envasado

Una vez secos, los tomates fueron fraccionados en unidades experimentales de (500 ± 50) gramos. Se registró la masa inicial utilizando una balanza (OHAUS, USA) y se procedió al envasado en bolsas de polietileno de baja densidad (PE) y en bolsas de PE con dos perforaciones de acuerdo con la planificación de las experiencias y a los resultados de ensayos preliminares. Para el envasado se utilizó una envasadora Supervac GK 105/1.

3.2.1.7. Almacenamiento refrigerado

Todos los tomates fueron colocados en cámaras de temperatura controlada a 15°C y a 7°C en diferentes momentos del procesamiento según los ensayos programados hasta el fin de la VU.

3.3. Determinaciones analíticas

Con el objetivo de evaluar el impacto de los tratamientos poscosecha, las condiciones de envasado/almacenamiento y el tiempo de almacenamiento, se determinaron en forma periódica:

- La composición de la atmósfera interior de los envases
- Parámetros de color (CIELab)
- Componentes nutricionales: carotenoides totales y licopeno.
- Pérdida de peso (PP)
- Parámetros fisicoquímicos: pH, sólidos solubles y sólidos totales
- Textura instrumental
- Tasa respiratoria

Todos los ensayos a todos los tiempos de medición se realizaron en 3 réplicas y las medidas instrumentales se realizaron por triplicado dentro de cada réplica.

3.3.1. Atmósfera interior

Para la determinación del contenido de O₂ y CO₂ dentro de los envases, se utilizó un analizador de gases Oxybaby 6.1, marca WITT (Alemania).

3.3.2. Color instrumental

El color se determinó mediante el espacio CIELab (L^* a^* b^*) utilizando un colorímetro espectrofotómetro CM 610 (Konica Minolta, Japón)

El área de medición fue de 8 mm. Antes de cada sesión el equipo fue calibrado utilizando una placa reflectora blanca estándar y una negra.

- L^* : luminosidad de color. ($L^*=0$ refiere al negro y $L^*=100$ refiere al blanco).
- a^* : posición entre rojo y verde (valores negativos indican presencia de color verde y valores positivos la presencia de rojo)
- b^* : posición entre amarillo y azul (valores negativos indican color azul y valores positivos amarillo)

Para cada unidad experimental analizada se midió el color a todos los tomates. En cada tomate analizado, las medidas de color se realizaron en un total de 7 puntos. 3 puntos alrededor del ecuador, 2 puntos en la parte superior del tomate alrededor del pedúnculo y 2 puntos en la zona opuesta al pedúnculo (figura 3.3-1) y se promediaron.

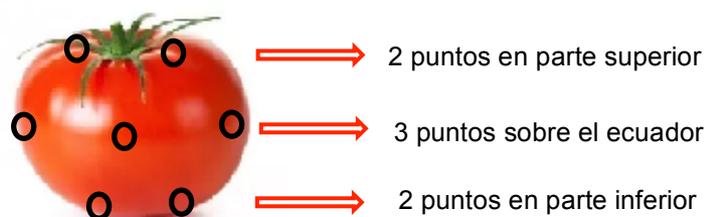


Figura 3.3-1: Puntos de medida de color para cada tomate

3.3.3. Análisis de compuestos nutricionales

3.3.3.1. Preparación de las muestras para análisis

En los casos en los que el tiempo era insuficiente para realizar todos los análisis el día de muestreo, se procesaron los tomates hasta obtener una pulpa homogénea y posteriormente se congelaron en bolsas aptas para temperaturas de congelación y al abrigo de la luz y se almacenaron a -20°C hasta el día de su análisis.

3.3.3.2. Determinación del contenido de licopeno

El contenido de licopeno se determinó mediante una técnica espectrofotométrica. Se empleó la metodología propuesta por Anthon & Barrett (2007) con algunas modificaciones, basada en la técnica de Fish, Perkins-Veazie, & Collins (2002) y Sadler, Davis, & Dezman (1990).

Instrumentos, materiales y reactivos:

- Hexano calidad HPLC
- Acetona calidad HPLC
- Etanol calidad HPLC
- Espectrofotómetro
- Balanza analítica
- Cubetas de vidrio/cuarzo
- Tubos color ámbar de 12 ml con tapa

- Pipeta automática de 0.1-1 ml
- Pipeta automática de 1-10 ml
- Agua destilada
- Pipetas pasteur

I. Procedimiento

Se colocaron 100 mg de tomates frescos procesados en tubos color ámbar y se le adicionaron 8 mL de una mezcla de hexano:acetona:etanol (2:1:1). Se agitó en vórtex durante 1 min y se dejó reposar 10 min. Luego, se agregó 1 mL de agua destilada, se agitó en vórtex durante 1 min y se dejó reposar 10 min para la separación de fases. La fase superior se colocó en cubeta de vidrio o cuarzo (recorrido óptico 1 cm) y se midió la absorbancia a 503 nm.

II. Cálculo del contenido de licopeno

Para calcular el licopeno de cada muestra se utilizó la ecuación (Ec. 3.1):

Ec. 3.1:

$$Licopeno \left(\frac{mg}{kg} \right) = \frac{A_{503}}{\epsilon} * 0,55 * PMlicopeno * \frac{V}{m}$$

Donde:

A_{503} : Absorbancia de las muestras a 503 nm.

ϵ : coeficiente de extinción molar para licopeno en hexano determinado por (Zechmeister & Polgár, 1943) cuyo valor es 172mM^{-1}

0,55: relación entre volumen de la fase superior y el volumen de solvente de extracción.

PM_{licopeno} : es el peso molecular del licopeno y corresponde a 537g/mol

V : es el volumen (ml) de solvente de extracción agregado

m : es la masa de muestra (mg) agregada

Reordenando se obtiene la ecuación (**Ec. 3.2**) para la cuantificación del licopeno.

Ec. 3.2:

$$\text{Licopeno} \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = A_{503} * 1.717 * \frac{V}{m}$$

Esta ecuación fue la empleada para calcular el contenido de licopeno de las muestras de tomates.

3.3.3.3. **Determinación del contenido de carotenos totales**

La extracción de carotenoides de las muestras se realizó siguiendo la metodología para licopeno citada anteriormente.

Dado que la absorbancia a 450 nm del extracto es directamente proporcional al contenido de carotenoides se analizó la evolución de

carotenoides en función de la variación de la absorbancia durante todo el período de almacenamiento para las distintas condiciones.

3.3.4. Pérdida de peso

La pérdida de peso (PP) se evaluó considerando la masa inicial de las muestras, previo a su envasado, y la masa de estas en cada día de muestreo. Para determinar la masa se utilizó una balanza OHAUS (USA) con precisión 0,01 g.

La pérdida de peso se expresó cómo porcentaje del peso inicial (%PP), tal como lo expresa la siguiente ecuación:

Ec.: 3.3:

$$\%PP = \frac{Pi - Pf}{Pi} * 100 \%$$

Siendo Pi la masa inicial de la muestra y Pf la masa de los tomates en los distintos días de muestreo.

3.3.5. pH

La medida de pH se realizó directamente sobre la pulpa de los tomates procesados. Para la misma se utilizó un pHmetro Oakton pH 1100 (Vernon Hills, IL) acoplado con un electrodo Cole Parmer (Vernon Hills, IL).

3.3.6. Sólidos solubles

Los sólidos solubles se determinaron utilizando un refractómetro digital manual ATAGO N-1α (Japón) con una apreciación de 0,2% a 20°C y se expresaron como °Brix.

3.3.7. Sólidos totales

Los sólidos totales se determinaron en la pulpa procesada de los tomates, en estufa a vacío a 60° C (AOAC).

3.3.8. Textura instrumental

El análisis de textura se realizó usando un analizador de textura TA.XT2i (Stable Micro Systems Ltd., Reino Unido). Se calibró con una celda de carga de 35 kg con un peso de 5 kg.

Las medidas se realizaron con una placa de compresión de 75 mm de diámetro, mediante prueba de compresión. Las condiciones de prueba usadas para las mediciones fueron: velocidad de pre-test 5.0 mm s⁻¹, velocidad de test 1.0 mm s⁻¹, velocidad post-test de 10.0 mm s⁻¹ y 5 mm de recorrido de la sonda una vez en contacto con el producto. Los datos

de fuerza (N) versus tiempo (s) se registraron utilizando el software Texture Exponent (Versión 3.2, Stable Micro Systems Ltd.). El valor de firmeza se determinó como la fuerza máxima registrada en las curvas fuerza vs. tiempo. Las mediciones se realizaron en todos los tomates de cada unidad experimental.

3.3.9. Tasa respiratoria

La tasa de respiración se determinó como la tasa de consumo de O₂ a (15 ± 1) °C, utilizando el método de sistema cerrado. Una masa de (500 ± 50) g de tomates se colocó desde sus condiciones de ensayo, en los reactores herméticos de 3000 ml de volumen promedio, donde se realizaron las medidas de respiración para cada tiempo de muestreo. La medida de TR se realizó por duplicado para cada tratamiento y cada tiempo de muestreo. El monitoreo de la evolución del O₂ y CO₂ dentro de los reactores se realizó durante un período de 24 horas. La concentración de O₂ y CO₂ en el espacio cabeza de los reactores se determinó cada 1 hora a través de analizador de gases Oxybaby 6.1, marca WITT (Alemania). La tasa de respiración se determinó como la tasa de consumo de O₂ (TRO₂) calculada usando la ecuación **Ec.3.4**

Ec. 3.4:

$$TRO_2 = - \left(\frac{\partial C_{O_2}}{\partial t} \right) * V_{free} * \left(\frac{1}{m} \right) * 100$$

donde TRO_2 se expresa en $mL O_2 kg^{-1} h^{-1}$, C_{O_2} representa la concentración de O_2 dentro del reactor (%), t es el tiempo (h), m es la masa del producto (kg) y V_{free} es el volumen libre dentro del reactor (mL). V_{free} se calculó considerando el volumen total de los reactores (m^3), y la masa de tomates utilizada y su densidad.

3.4. Determinación de la vida útil

A los efectos de este trabajo se consideró que el producto ha llegado al final de su vida útil si:

- Se constata la presencia de hongos visibles en 1 o más tomates de cada unidad experimental
- La pérdida de peso es mayor al 6,5% respecto al peso inicial del producto.
- Se registra anaerobiosis en alguno de los envases (riesgo potencial del crecimiento de microorganismos patógenos).

3.5. Análisis estadístico de datos

Se realizó el análisis de la varianza (ANOVA) a un nivel de significación de $p \leq 0,05$ para todos los atributos analizados mediante el programa estadístico InfoStat (Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina). Cuando se observó efectos significativos de las variables estudiadas ($p \leq 0,05$) se realizó Test de Tukey con nivel de significancia de 5% para determinar las diferencias entre los tratamientos.

Capítulo 4. Estrategia

4. Estrategia

A los efectos de abordar y desarrollar los objetivos propuestos se realizaron distintos tratamientos poscosecha a tomates en estados de madurez breaker, turning y pink (USDA) y a tomates maduros en estados light red y red. En la **Figura 4.1-1** se muestra un esquema del procesamiento general y en los siguientes apartados se profundiza y detalla la estrategia de procesamiento para cada caso.

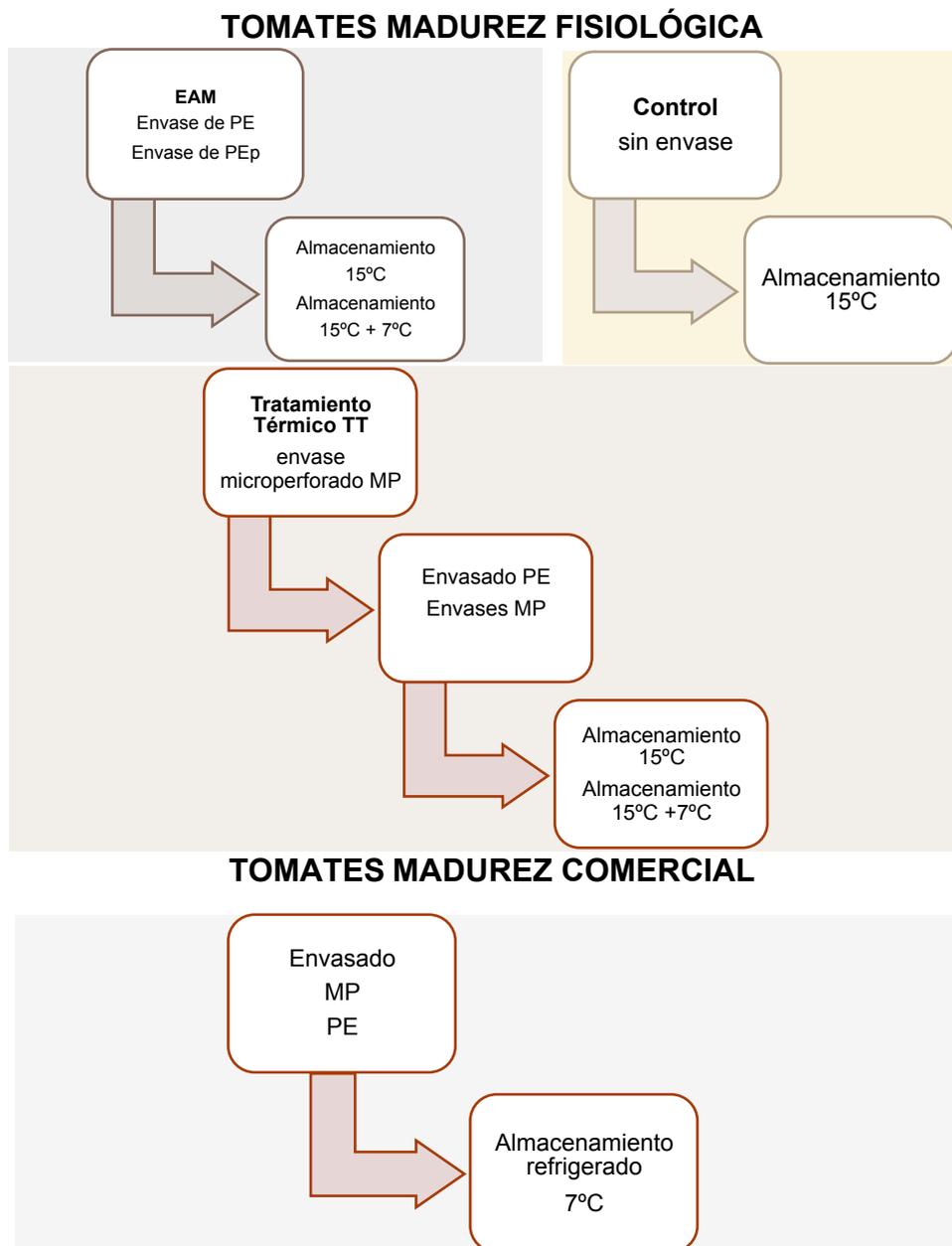


Figura 4.1-1: Esquema general de la metodología ensayada

*PE: polietileno de baja densidad,; PEp: polietileno de baja densidad perforado con 2 perforaciones mecánicas; TT: Tratamiento Térmico a 30°C; MP: envase microperforado

En relación al material de envase, de estudios preliminares con tomates, presentados en el Anexo A de este trabajo, y lo reportado previamente por (Barrios, S; Luzardo, C; Ares, G; Lareo, C; Lema, 2009)

se optó por utilizar poletileno de baja densidad (PE) con y sin perforaciones a los efectos de variar la permeabilidad.

4.1. Tomates cosechados en estado de madurez turning y light red (cv. Lapataia)

Tomates cosechados en estado de madurez turning fueron divididos en 3 tratamientos: tratamiento térmico, EAM y control. A los primeros se los envasó en bolsas microperforadas (MP) a los efectos mantener la humedad dentro de los envases retardando la PP, y se les realizó tratamiento térmico en cámara a 30°C por 3 días. Posteriormente la mitad de estos tomates fueron removidos de los envases MP, lavados, desinfectados y envasados en PE y los tomates restantes fueron dejados en las bolsas MP. Todos fueron almacenados en cámara a 15°C hasta el final de su VU.

Para el tratamiento EAM, los tomates fueron lavados, desinfectados, envasados en PE y PE perforado (PEp) y almacenados en cámara a 15°C.

El tratamiento control consistió en lavar y desinfectar los frutos y luego se colocaron en cámara a 15°C sin envase hasta el final de la VU.

En forma paralela se realizó lavado y desinfección de tomates maduros (cosechados en estado de madurez light red) envasado en

bolsas de PE y almacenamiento a 7°C. En la **Figura 4.1-2** se muestran los tratamientos realizados. Todos los tomates fueron muestreados y analizados periódicamente hasta finalizar el experimento.

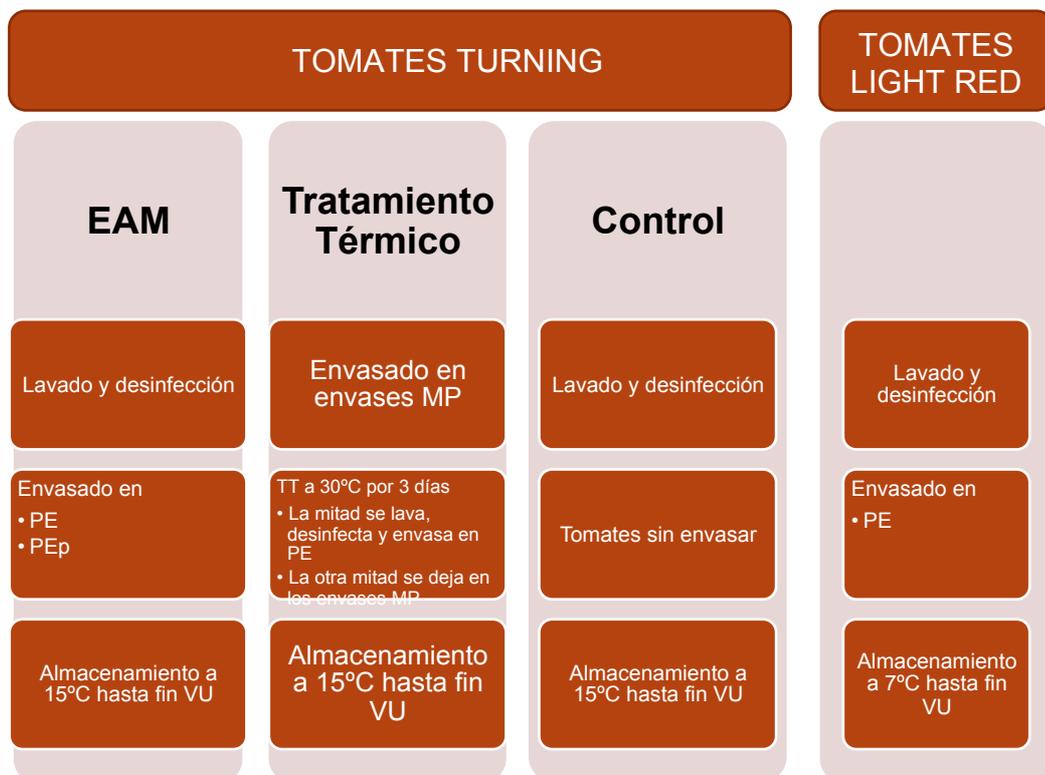


Figura 4.1-2: Esquema de procesamiento de tomates cosechados en estado de madurez turning y light red.

4.2. Tomates cosechados en estado de madurez pink y red (cv. Lapatia)

A tomates en estado pink se le realizó los siguientes tratamientos: tratamiento térmico, EAM y control. Para realizar el tratamiento térmico los tomates fueron primero envasados en bolsas MP y colocados en cámara a 30° C durante 3 días. Una vez transcurrido ese tiempo una parte fueron directamente almacenados a 15°C (T2) y el resto de los tomates fueron lavados, desinfectados, envasados en PE y colocados a 15°C (T3). Una vez alcanzada una coloración roja de características comerciales una parte de T2 y T3 fue colocada a 7°C con el objetivo de estudiar el impacto de la temperatura de almacenamiento en la VU final de los tomates (T2(7) y T3(7)), y los restantes fueron dejados en temperatura de almacenamiento de 15°C (T2(15) y T3(15)).

Los tomates EAM fueron lavados, desinfectados y envasados en PE (T1) y PEp (T1p). Estos últimos, una vez alcanzada una coloración roja correspondiente a tomates listos para comercializar fueron colocados a 7°C (T1p(7)) y otra parte de los mismos dejados a 15°C (T1p(15)) para evaluar el efecto de la temperatura de almacenamiento en la VU. Los tomates envasados en PE (T1) no fueron colocados a 7°C debido al retraso en la evolución del color rojo.

El tratamiento control consistió en lavar, desinfectar y colocar en cámara a 15°C a tomates sin envasar.

En forma paralela se lavaron y desinfectaron tomates cosechados en estado de madurez red, y posteriormente fueron envasados en bolsas de PE y MP y almacenados a 7° C.

Todos los tomates fueron muestreados y analizados periódicamente hasta el final de la VU.

En la **Figura 4.1-3** se muestran en forma esquemática los tratamientos ensayados.

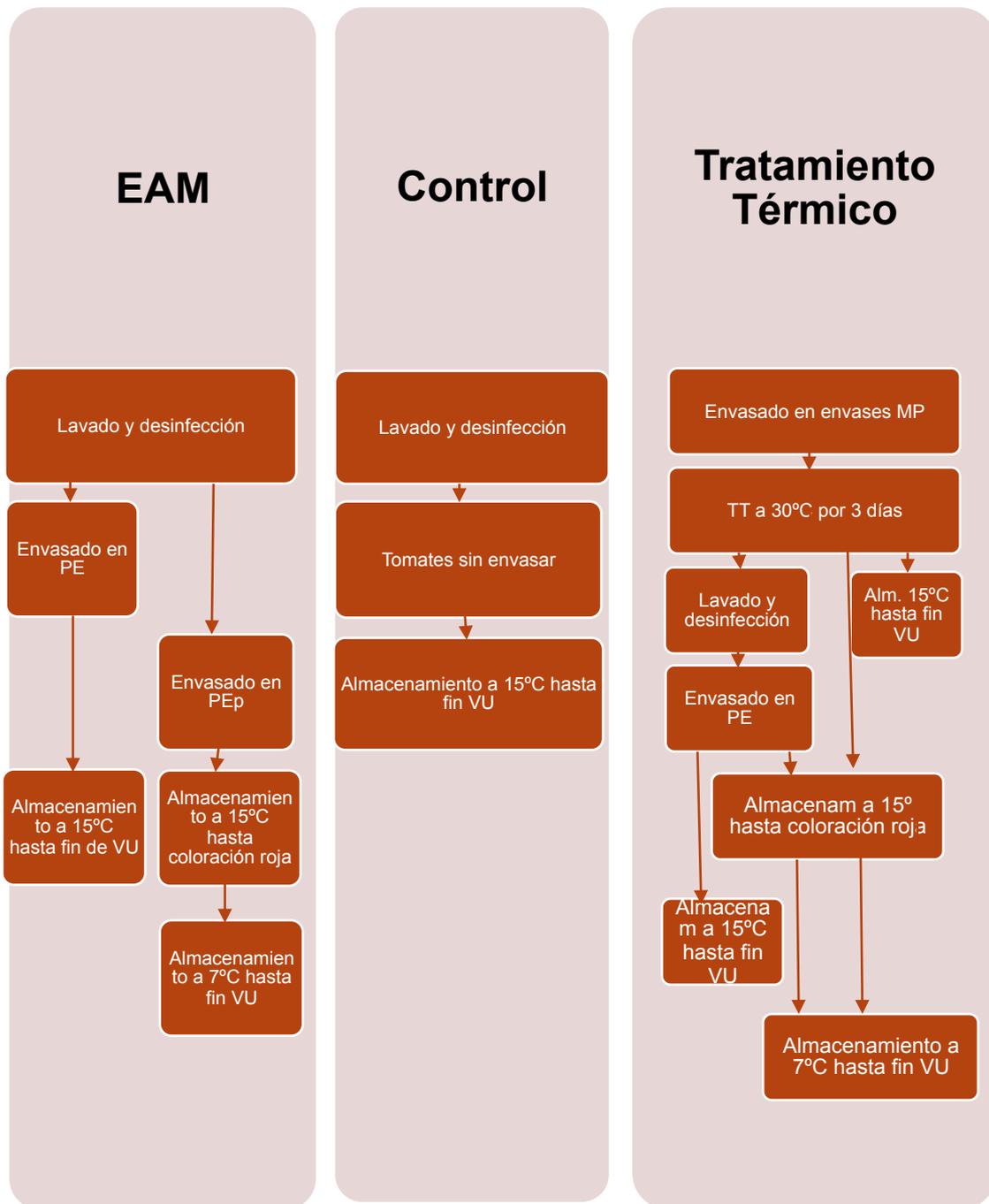


Figura 4.1-3: Esquema de procesamiento de tomates cosechados en estado de madurez pink y red

4.3. Tomates cosechados en estado de madurez breaker (Variedad experimental No. 8901):

Se realizó tratamiento térmico a 30°C durante 3 días a tomates en estado de madurez breaker sin envase. Una vez transcurrido ese tiempo a una parte de los tomates se les realizó EAM (lavado, desinfección y envasado en PE) y almacenamiento a 15°C. Otra parte fueron colocados a 15°C sin envase durante 7 días (tiempo necesario para una completa evolución del color rojo). Inmediatamente después fueron lavados, desinfectados, envasados en PE y almacenados a 15°C. Tomates control fueron lavados, desinfectados envasados en PE y almacenados a 15°C.

Todos los tomates fueron analizados y evaluados hasta el día 15, momento en que se finalizó el ensayo. En la **Figura 4.1-4** se muestra el procesamiento realizado.

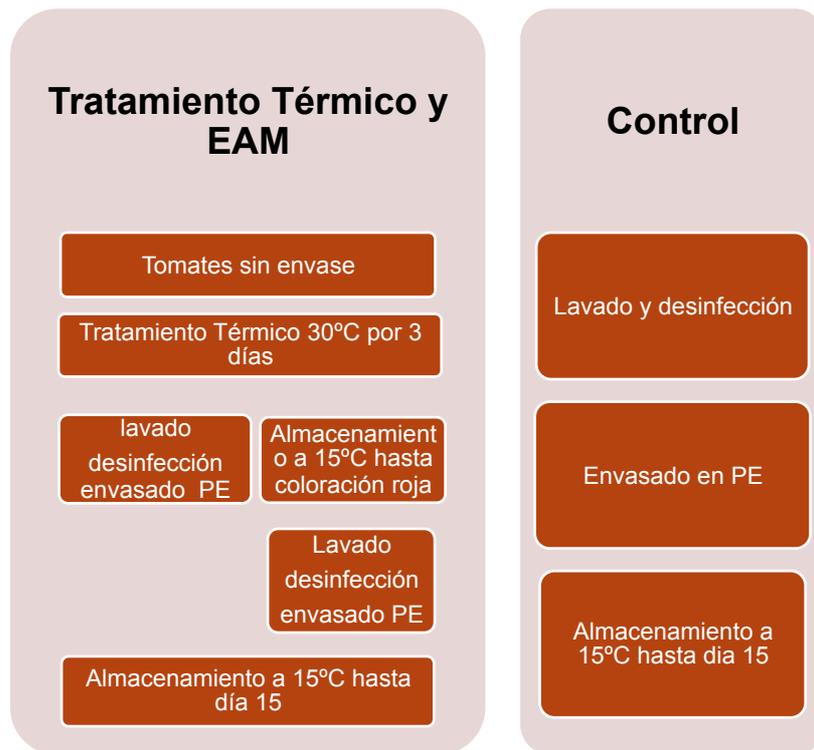


Figura 4.1-4: Esquema de procesamiento de tomates cosechados en estado de madurez breaker

Capítulo 5. Resultados y discusión

5.1. Tomates cosechados en estado de madurez turning y light red.

Tomates cultivar Lapataia cosechados en estado de madurez turning (USDA) fueron procesados de acuerdo a lo establecido en la sección 4.1.1. En la **Tabla 5.1** se detalla la nomenclatura de los distintos tratamientos aplicados. Tomates control (C) fueron lavados, expuestos a condiciones atmosféricas y refrigerados a 15°C. Tomates T2 y T3 fueron tratados térmicamente y luego colocados en refrigeración a 15°C tal como se describió anteriormente. Tomates T1 y T1p hacen referencia a los tomates que fueron recibidos, lavados, desinfectados y EAM. El PE perforado hace referencia a dos perforaciones en el envase. Los tomates R refieren a tomates cosechados en estado de madurez light red (USDA).

Tabla 5.1: Resumen y nomenclatura de los tratamientos

Abreviación	Ensayo	Envase	Temp.TT	Temp. almacenamiento
T1	EAM	PE	-	15°C
T1p	EAM	PEp	-	15°C
T2	TT	MP	30°C	15°C
T3	TT/EAM	MP/PE	30°C	15°C
C	Control	-	-	15°C
R	EAM	PE	-	7°C

En la **Tabla 5.2** se puede observar la vida útil (VU) obtenida para todos los tratamientos. Es de destacar que en todos los casos la limitante de la VU fue el crecimiento de hongos.

Tabla 5.2: Tabla de tiempo de vida útil alcanzada para todos los tratamientos

Tratamiento	Vida útil (días)
T1	23
T1p	27
T2	17
T3	17
C	17
R	22

5.1.1. Atmósfera interior del envase

La atmósfera gaseosa adentro de los envases es función de múltiples factores como ser: el estado de madurez y fisiológico de los frutos, la temperatura de almacenamiento, la relación masa/volumen, la tasa respiratoria, entre otros.

Los tomates sin envasar estuvieron expuestos a condiciones atmosféricas (20,9% de O₂ y 0,5% de CO₂) durante todo el ensayo. Todos los tomates turning envasados presentaron disminución de O₂ y aumento de CO₂ significativos.

La **Figura 5.1-1** muestra la evolución del contenido de O₂ (%) en el espacio cabeza de los envases. Tomates T1 y T1p mostraron una leve disminución del contenido de oxígeno en los primeros días de almacenamiento (día 7 para T1 y día 13 para T1p) para luego estabilizarse en el valor de O₂ de equilibrio (19,5%). Para tomates T3 el día 7, el contenido de oxígeno baja en forma drástica para luego estabilizarse a partir del día 13 en un valor de equilibrio de 13,7% significativamente menor ($p < 0.05$) que para los tratamientos T1 y T1p. Esta disminución tan marcada se puede explicar por el estrés al que fueron sometidos los tejidos durante el tratamiento a 30°C los primeros 3 días indicando que una vez envasados metabolizaron O₂ a una tasa más alta que la velocidad a la que podía ser renovado desde el exterior del envase.

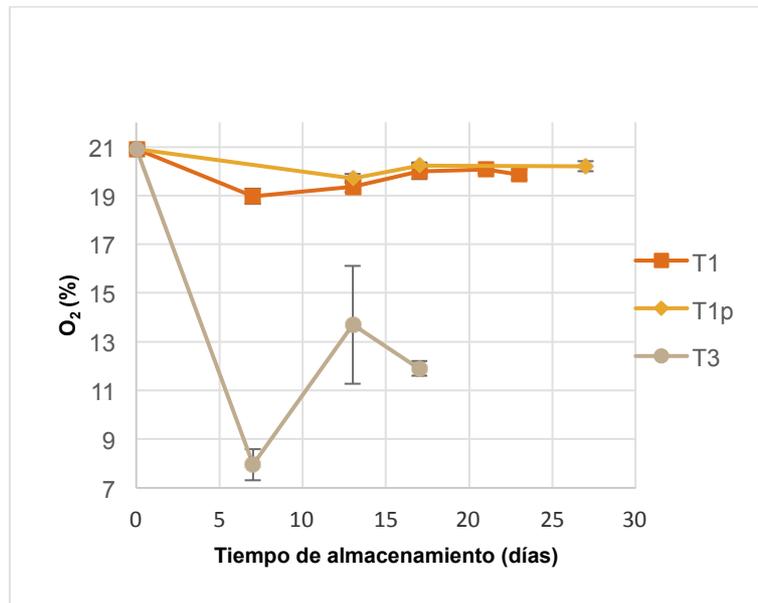


Figura 5.1-1 Evolución del O₂ dentro de los envases de tomates (cv. Lapataia) en estado de madurez turning con tratamiento térmico (T3), EAM en PE (T1) y EAM en PEp (T1p). Las barras verticales representan desviación estándar (n=3)

En relación con la concentración de CO₂ dentro del espacio cabeza de los envases, en la **Figura 5.1-2** se puede observar que en todos los casos hay un pico de producción de CO₂ y luego una disminución hasta un valor de equilibrio hasta el final de la VU. T3 fue el del pico más alto hacia el día 7 (en correspondencia con el consumo de O₂ que se describió más arriba) alcanzando un valor de 4,15% de CO₂ y luego llega al valor de equilibrio de 3,2% el día 13 que se mantienen hasta el final de la VU.

T1p no fue muestreado al día 7, se observa que alcanza un valor de equilibrio de CO₂ al día 13 de 1,73% que se mantiene hasta el final de su VU.

T1 al día 7 alcanza el máximo de CO₂ (2,70%), luego disminuye y se estabiliza el día 17 en un valor de equilibrio de 1,80% que se mantiene hasta el fin de su VU.

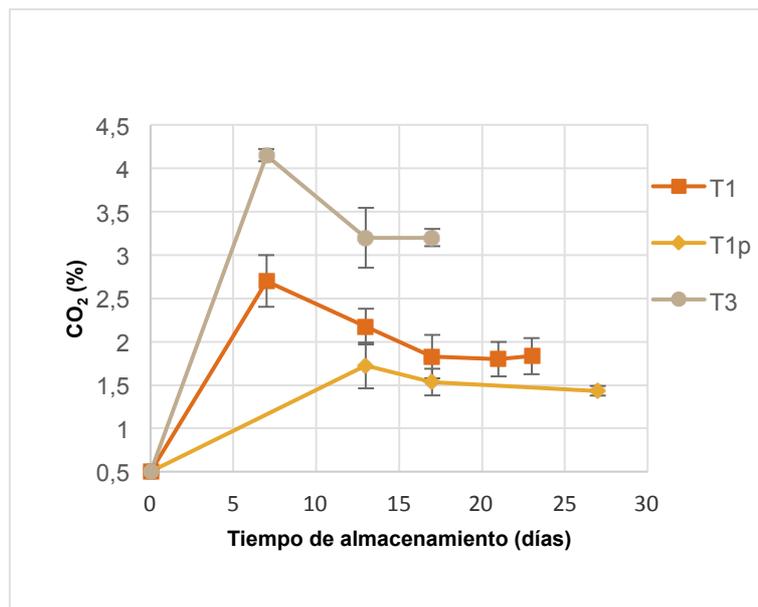


Figura 5.1-2: Evolución del contenido de CO₂ (%) dentro de los envases de tomates en estado de madurez turning con tratamiento térmico (T3), EAM en PE (T1) y EAM en PEp (T1p). Las barras verticales representan la desviación estándar (n=3)

Tomates R presentaron el mismo nivel de oxígeno al final de su VU que al inicio del experimento (20,8%). Lo mismo ocurrió con el contenido de CO₂. No se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el contenido de CO₂ al inicio y a final de su VU.

5.1.2. Color instrumental

El cambio de color que se observa en los tomates durante su maduración se debe principalmente a la degradación del pigmento clorofila y a la síntesis de pigmentos carotenoides y licopeno. Es un indicador del estado de madurez y de la vida útil de frutas y hortalizas y en particular del tomate (Fagundes et al., 2015; Guerreiro, Madureira, Silva, ..., & 2016, 2016).

Se encontraron diferencias significativas en la evolución de los parámetros de color L^* , a^* , b^* y a^*/b^* para tomates turning. A continuación, se detalla la evolución de estos parámetros.

5.1.2.1. Luminosidad

El parámetro L^* disminuye para todos los tratamientos con tomates cosechados en estado de madurez turning (**Figura 5.1-3**). Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el valor de L^* en la primera semana de ensayo para todos los tratamientos T1, T1p, T2, T3 y C. Luego de esa disminución, los valores de L^* permanecen constantes hasta el final de la VU en todos los tratamientos. Otros autores han reportado valores de L^* decrecientes durante el transcurso del almacenamiento en tomates almacenados en distintas condiciones (Fagundes et al., 2015; Park, Sangwanankul, & Baek, 2018).

En el caso de los tomates light red o R, el valor de L^* no cambia significativamente durante toda su VU (**Figura 5.1-3**). Esto podría deberse a que, un descenso en el parámetro L^* indica un oscurecimiento del fruto y por tanto se puede relacionar con un avance en la madurez. Los tomates R fueron cosechados en un estado ya maduro listo para su comercialización.

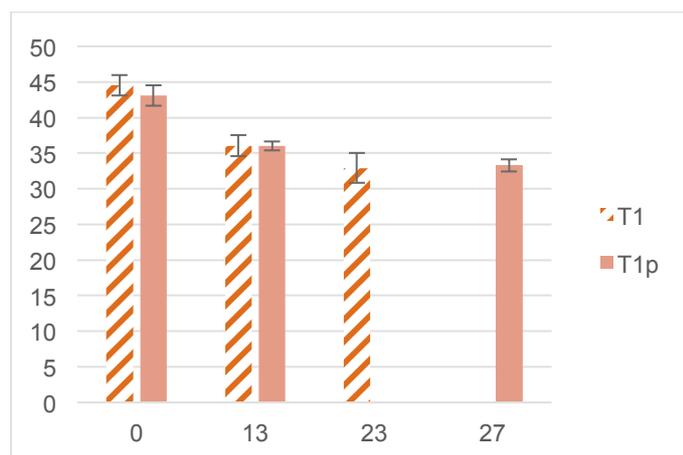
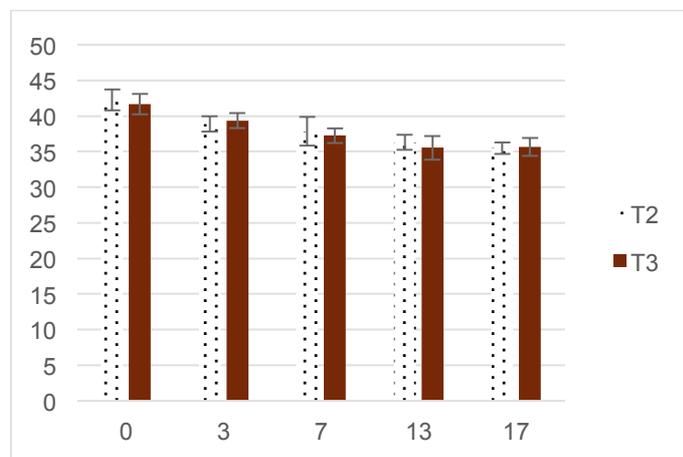
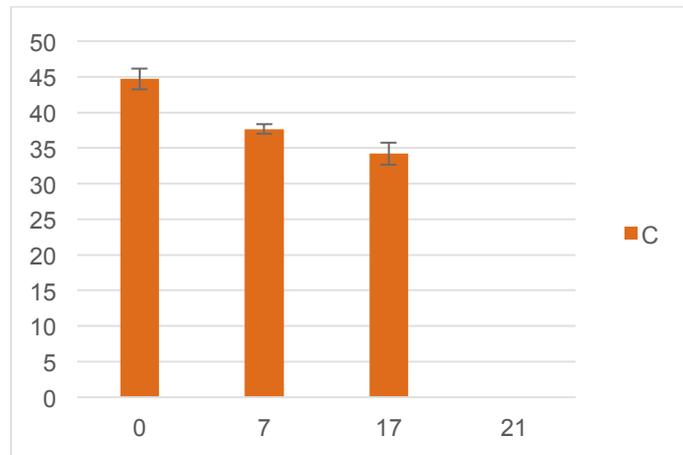


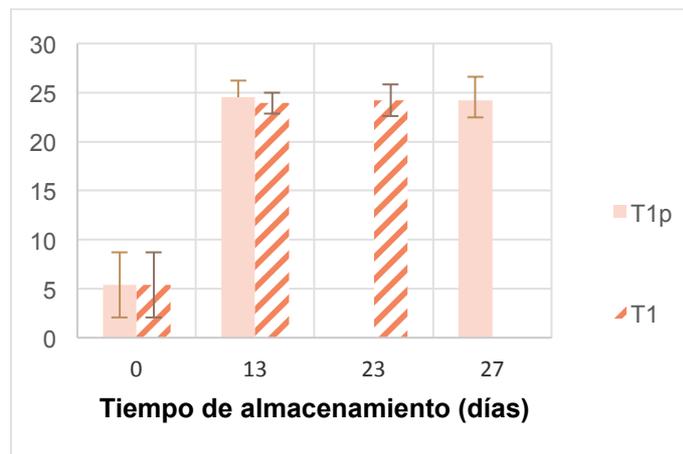
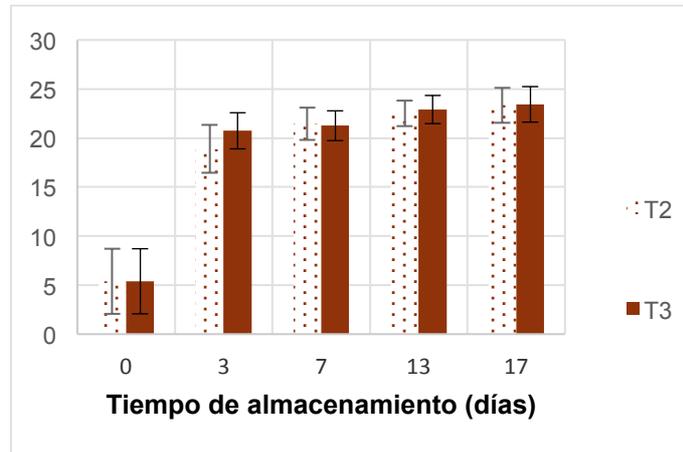
Figura 5.1-3: Evolución del parámetro colorimétrico L* para todos los tratamientos con tomates en estado de madurez turning con tratamiento térmico en bolsas MP y PE (T2 y T3), EAM en PE (T1), EAM en PEp (T1p) y tomates control (C). Las barras verticales representan la desviación estándar (n=3)

5.1.2.2. Parámetro colorimétrico a*

El parámetro a* aumenta para todos los tratamientos de tomates cosechados en estado de madurez turning (**Fig. 5.1-4**). Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el valor de a* en los primeros días de ensayo para todos los tratamientos. Tomates T2 y T3 alcanzan el máximo valor de a* en los primeros 3 días (correspondientes al TT), luego de ese incremento de a* no se observan más diferencias en el parámetro durante el resto del almacenamiento. Tomates C alcanzan el máximo valor de a* el día 7 y más allá de ese día el parámetro no aumenta más durante el almacenamiento. T1 y T1p alcanzan su máximo valor de a* el día 13 y al igual que el resto de los tratamientos no continúa aumentando. Esto indica que la evolución del color verde a rojo se da rápidamente en los primeros días de ensayo para los tomates cosechados turning. Se puede observar que el valor del parámetro a* alcanzado por todos los tratamientos en los primeros días alcanza y supera el valor de a* de los tomates R inicialmente. Para los tomates R el valor de a* mostró diferencias significativas entre el día 0 y el final de su VU pasando de $(15,2 \pm 1,7)$ a $(20,9 \pm 2,2)$.

Tilahun, Park, Taye, & Jeong (2017) reportaron que tomates cosechados en estado de madurez breaker y madurados postcosecha hasta pink alcanzan el mismo valor de a* que los cosechados en estado de madurez pink. Lo mismo fue observado por el mismo autor con tomates madurados postcosecha hasta el estado de madurez red en

comparación con tomates madurados en planta y cosechados en estado de madurez red.



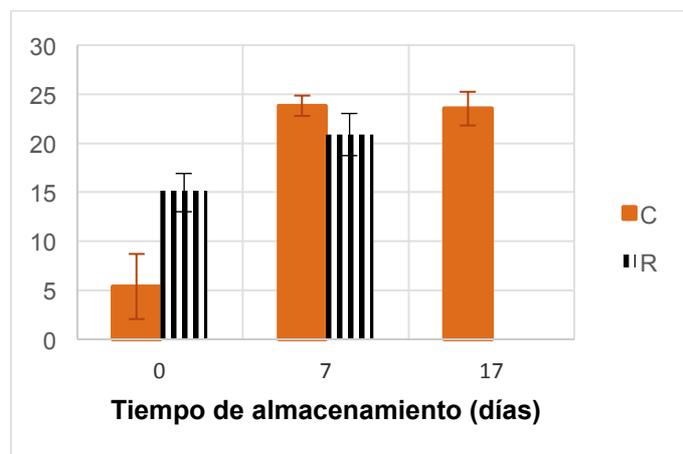


Figura 5.1-4: Evolución del parámetro colorimétrico a^* para todos los tratamientos de tomates en estado de madurez turning con tratamiento térmico en bolsas MP y PE (T2 y T3), EAM en PE (T1), EAM en PEp (T1p), control (C) y tomates en estado de madurez light red (R) durante toda la VU. Barras verticales representan desviación estándar ($n=3$)

No hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) en los valores máximos de a^* alcanzados para todos los tratamientos.

5.1.2.3. Índice de color (IC) o a^*/b^*

El parámetro a^*/b^* o también llamado índice de color (IC) ha sido reportado como un buen indicador del contenido de licopeno y es utilizado como un indicador rápido del nivel de madurez (Arias et al., 2000; Perkins-Veazie, Roberts, & Collins, 2007). Para todos los tratamientos de tomates cosechados turning, exceptuando T3, se observa un aumento en el IC sostenido hasta el día 13 (**Figura 5.1-5**). Esta tendencia puede explicarse como la evolución de la maduración de los frutos. Más allá del día 13 no se observa aumento del IC en ninguno de los casos. Tomates T3 alcanzan el valor máximo del IC el día 7, posteriormente no se observa

aumento significativo ($p < 0.05$). Este comportamiento del IC para T3 se podría explicar en relación con la atmósfera gaseosa. De acuerdo con otros autores, el nivel de O_2 es fundamental en etapas tempranas de la maduración de tomates y sería el parámetro limitante en los mecanismos de degradación de clorofila y síntesis de pigmentos carotenoides (Castellanos, Cerisuelo, Hernandez-Muñoz, Herrera, & Gavara, 2016; Domínguez, Lafuente, Hernández-Muñoz, & Gavara, 2016). El día 7 T3 mostró una concentración de O_2 de 8% (el valor más bajo de todos los tratamientos) (**Fig. 5.1-1**). El bajo contenido de O_2 podría ser el factor limitante para el desarrollo de color de los tomates. Park et al. (2018) reportaron que tomates tratados con atmósferas modificadas presentan un retardo en la maduración y desarrollo de color respecto de tomates sin EAM. En el caso de tomates cosechados maduros (R) el índice de color no sufre variación significativa hasta el final de su VU con relación al día 0 (**Figura 5.1-5**).

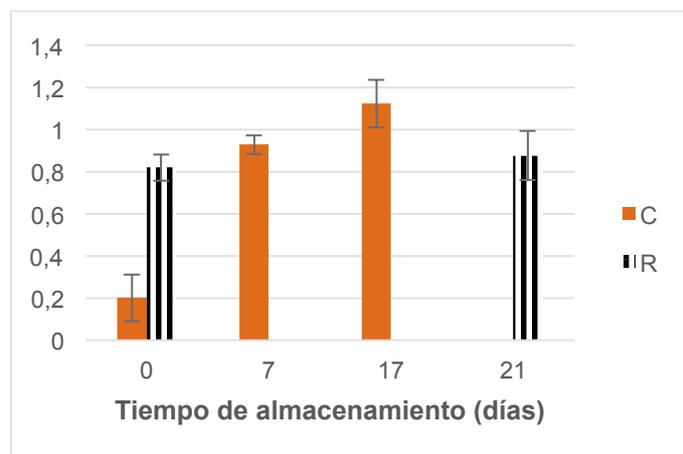
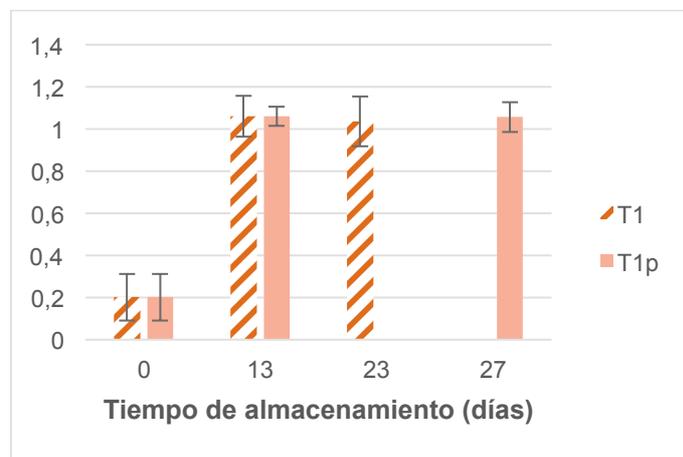
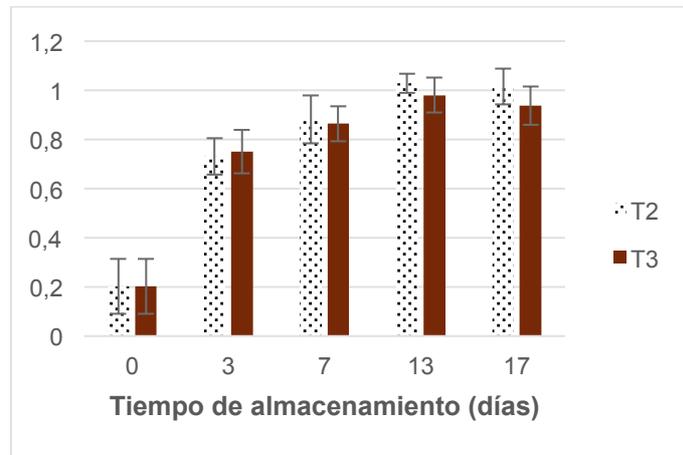


Figura 5.1-5: Evolución del índice de color (a^*/b^*) para todos los tratamientos de tomates en estado de madurez turning con tratamiento térmico en bolsas MP y PE (T2 y T3), EAM en PE (T1), EAM en PEp (T1p), control (C) y tomates en estado de madurez light red (R) durante toda la VU. Barras verticales representan desviación estándar ($n=3$)

5.1.2.4. Parámetro h

El parámetro h junto con el IC son los parámetros más comúnmente usados para indicar el desarrollo de color de tomates durante su maduración (Pék & Helyes, 2010).

Al igual que el IC, el parámetro h muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) para todos los tratamientos de tomates turning en la primera semana de ensayo (**Figura 5.1-6**). Tomates turning sufren una disminución del parámetro h en los primeros 7 días (13 días en el caso de T1 y T1p). Luego de esa disminución los valores de h permanecen constantes hasta el final de la VU. Esto estaría indicando que el cambio en la tonalidad roja se da en los primeros días poscosecha para todos los tomates cosechados turning. Tomates R no mostraron variación significativa ($p < 0.05$) del parámetro h durante toda la VU (**Figura 5.1-6**). Se observa además que el valor inicial de h para los tomates R es significativamente menor ($p < 0.05$) que el de los tomates turning indicando la diferencia en los estados de madurez inicial entre los frutos.

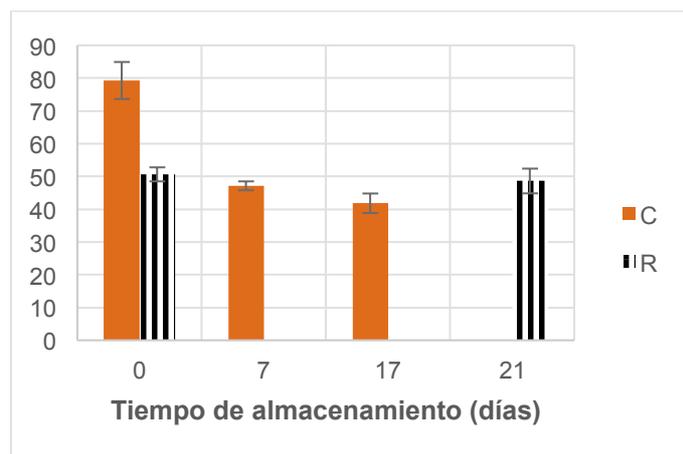
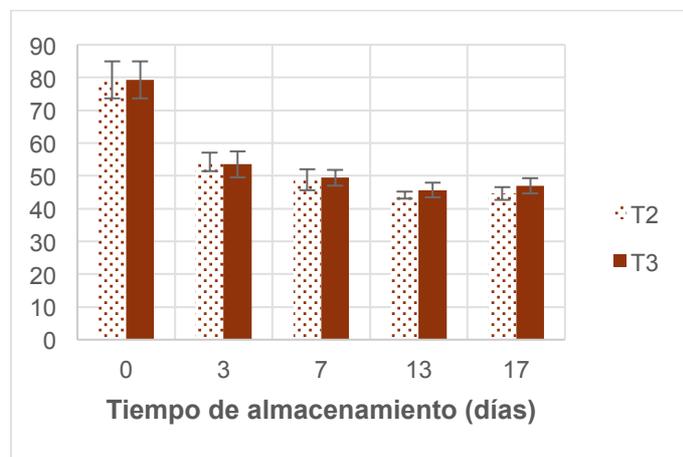
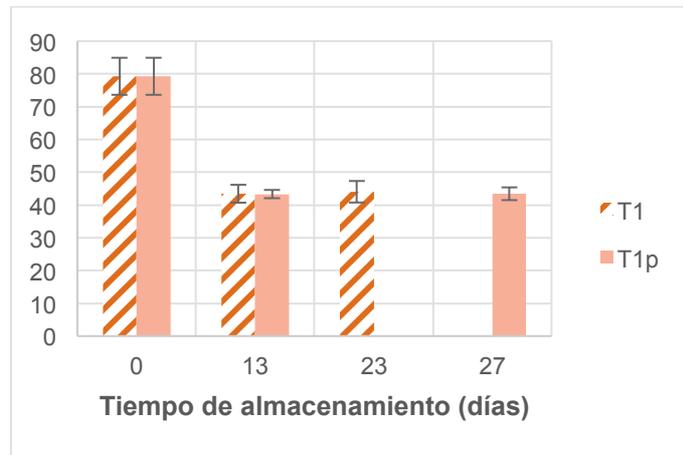


Figura 5.1-6: Evolución del parámetro h para todos los tratamientos de tomates en estado de madurez turning con tratamiento térmico en bolsas MP y PE (T2 y T3), EAM en PE (T1), EAM en PEp (T1p), control (C) y tomates en estado de madurez light red (R) durante toda la VU. Barras verticales representan desviación estándar (n=3). Las barras verticales representan la desviación estándar (n=3)

5.1.3. Licopeno

Para todos los tomates cosechados en estado de madurez turning se observa una evolución creciente del contenido de licopeno durante todo el almacenamiento indicando degradación de clorofila y síntesis y acumulación de carotenoides. (**Figura 5.1-7**). Tomates T2 y T3 alcanzaron valores máximos de licopeno entre 36 y 37 ppm (del orden de los tomates R inicialmente). No se observa aumento significativo ($p < 0.05$) en el contenido de licopeno luego del día 7 para T3 y del día 13 para T2. Se observa un rápido incremento del contenido de licopeno para estos dos tratamientos en los primeros 3 días del ensayo que coinciden con el tratamiento a 30°C y luego a pesar de haber sido almacenados a 15°C hasta el final de su VU, obtuvieron los valores más bajos de licopeno. Algunos autores sugieren la síntesis de carotenoides naranjas en tomates sometidos a tratamiento térmico. De acuerdo con lo reportado por Pék & Helyes (2010), tomates sometidos a altas temperaturas incrementan la coloración naranja (betacaroteno) y disminuye el contenido de licopeno en esos frutos. Brandt et al. (2006) reportaron que por encima de 30°C no se sintetiza licopeno, pero si otros carotenoides.

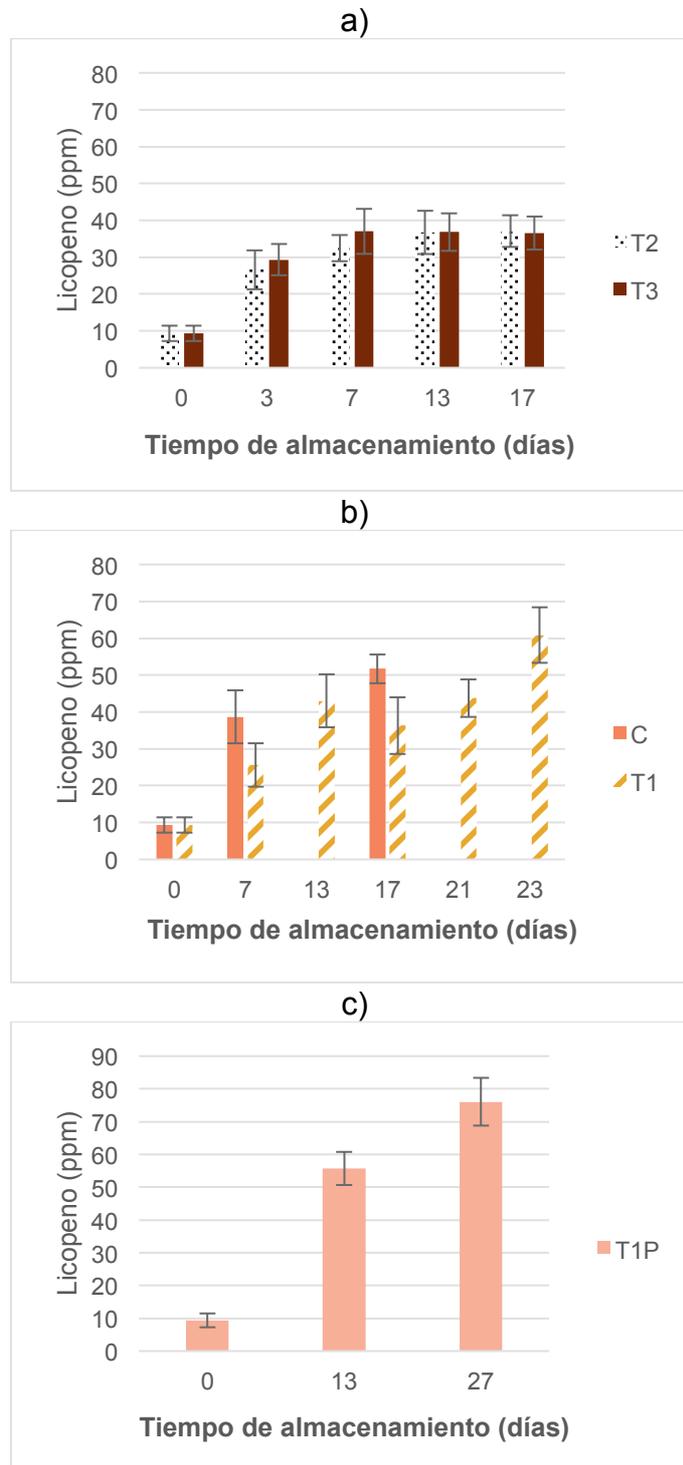


Figura 5.1.-7: Evolución del contenido de licopeno para todos los tomates en estado de madurez turning con tratamiento térmico en bolsas MP y PE (T2 y T3), EAM en PE (T1), EAM en PEp (T1p) y control (C). Las barras verticales representan la desviación estándar (n=3).

Los tomates C, así como los T1 aumentan de forma significativa hasta el fin de la vida útil llegando a valores de $(51,7 \pm 3,9)$ ppm y $(60,8 \pm 7,5)$ ppm para C y T1 respectivamente. El tratamiento T1p fue el que mayor licopeno alcanzó llegando al día 27 (fin de su VU) a $(76,1 \pm 7,2)$ ppm. Los tomates R no consiguen mantener el nivel de licopeno inicial, se observa al final de la VU una disminución significativa ($p < 0.05$) del contenido de licopeno pasando de $(37,4 \pm 2,8)$ ppm inicialmente a $(23,4 \pm 5,7)$ ppm el día 21. Este efecto no se observa en los parámetros de color a^* , h y a^*/b^* (**Figuras 5.1-4, 5.1-5 y 5.1-6**) que hacia el final de la VU se mantienen estables en los valores máximos alcanzados.

Estos resultados indican que el EAM fue efectivo para la síntesis y acumulación de licopeno en tomates cosechados turning. Tomates control (C) alcanzaron los niveles máximos de licopeno en un tiempo menor que los tomates T1. En relación a la pérdida de licopeno en tomates R, el efecto observado está en concordancia con lo hallado por Javanmardi & Kubota, (2006) y Farneti, Schouten, & Woltering (2012). Los autores reportaron como efecto beneficioso para la síntesis de licopeno el almacenamiento a temperatura ambiente por sobre la refrigeración. De acuerdo con Dumas et al. (2003) la temperatura óptima para la síntesis de licopeno es de 16 a 22°C, siendo el límite máximo 30 a 32°C. Pék & Helyes (2010) reportaron que tomates almacenados a 15°C obtuvieron valores de licopeno más elevados que aquellos refrigerados tal como ocurre en este ensayo con los tomates R que fueron almacenados a 7°C.

Por otra parte, tomates cosechados en estado de madurez turning alcanzaron un contenido de licopeno igual (37,1 y 36,6 ppm para los tratamientos T2 y T3 respectivamente) o mayor (51 ppm para T1 y 76 ppm para T1p) (**Figuras 5.1-7a, 5.1-7b y 5.1-7c**) que los tomates R (23 ppm). Este comportamiento confirma lo reportado por otros autores (Dumas et al., 2003; Perkins-Veazie et al., 2007; Tilahun et al., 2017). Lo anteriormente descrito indicaría que tratamientos poscosecha incluido el EAM son efectivos para generar licopeno en frutos cosechados turning. Dumas et al. (2003) hallaron que el contenido de licopeno en tomates madurados postcosecha fue de casi el doble que aquellos madurados en la planta para el mismo índice de color (a^*/b^*). En relación a la atmósfera, contrariamente a lo hallado por Hassan, Arisha, Bardisi, & Ibraheim (2016) que reportaron que el EAM genera menor desarrollo de licopeno que tomates control sin envoltorio, en este estudio se lograron mayores niveles de licopeno con EAM como ocurrió con el tratamiento T1p. Por otra parte, Gómez & Camelo (2002) reportaron que a menor contenido de O_2 más lentamente se desarrolla color en tomates Diva; tomates expuestos a 1% de O_2 no llegaban a desarrollar color rojo aun colocándolos luego a 20°C. Este efecto parece observarse en este trabajo. Los tomates EAM son los que más lentamente desarrollaron color y acumularon licopeno. Elevadas concentraciones de CO_2 y bajas concentraciones de O_2 inhiben la maduración y generación de color por supresión de etileno (Mathooko, Kubo, Inaba, & Nakamura, 1995; Yang,

Brennan, Chinnan, & Shewfelt, 1987). En este estudio esa inhibición no se observa ya que durante el almacenamiento de T1 y T1p la atmósfera no estuvo disminuida en O₂.

Estos resultados indican que tal como fuera reportado anteriormente la limitante en la síntesis de licopeno es el contenido de O₂ (Domínguez et al., 2016) y que temperaturas altas podrían inhibir la síntesis de dicha biomolécula (Belović et al., 2015; Dumas et al., 2003).

5.1.3.1. Correlación Color – Licopeno

Con el fin de comparar los efectos de los tratamientos aplicados a los tomates cosechados turning, se realizó un análisis de correlación entre el licopeno y los parámetros de color L, a, b, C, h y a/b. En la **Tabla 5.1-3** se pueden observar los valores de los coeficientes de Pearson por encima de la diagonal de 1.

Tabla 5.3: Coeficientes de correlación entre Licopeno y parámetros colorimétricos.

	Licopeno	a*/b*	L*	a*	b*	C	h
Licopeno	1	0,76	-0,81	0,76	-0,49	0,45	-0,76
a*/b*		1	-0,92	0,96	-0,71	0,46	-0,99
L*			1	-0,89	0,67	-0,42	0,92
a*				1	-0,51	0,67	-0,98
b*					1	0,29	0,67
C						1	-0,5
h							1

*Coeficientes de correlación de Pearson. Significancia <0.01

Se observa que existe una correlación negativa significativa entre licopeno y L^* indicando que a mayor luminosidad los tomates contienen menor concentración de licopeno. Los parámetros a^* , h y el índice a^*/b^* tuvieron una fuerte correlación ($p < 0.01$) demostrando que estos parámetros pueden ser utilizados como indicadores del estado de madurez.

Los valores de los coeficientes obtenidos son similares a los hallados por Perkins-Veazie et al. (2007) para tomates cosechados desde estados de madurez Pink a soft red y a los reportados por Nour, Ionica, & Trandafir, (2015). (Soto-Zamora et al., 2005) también reportaron una fuerte correlación entre el contenido de carotenoides y licopeno con el valor de h .

Tomates cosechados R (light red) no mostraron correlación entre los parámetros de color y el contenido de licopeno.

5.1.4. Pérdida de Peso

La pérdida de peso es un indicador importante de calidad de los frutos. De acuerdo con Nunes (2008) la máxima pérdida de peso admitida en tomates para poder ser comercializados se encuentra entre 6 y 7%.

Tal como se esperaba, la pérdida de peso (PP) aumentó con el transcurso del almacenamiento para todos los tratamientos (**Figura 5.1-8**).

Los tomates EAM, T1 y T1p, mostraron los menores valores de PP ($p < 0.05$) (menores a 0,5%). El control (C) junto con T2 y T3 son los que mayor peso perdieron hacia el final de la VU (entre 2,7 y 3,5%). La PP de T2 y T3 se da mayoritariamente en los primeros días, posterior al tratamiento térmico. Todos los tratamientos alcanzaron niveles de PP por debajo del 4%.

Estos resultados reflejan un comportamiento de acuerdo a lo esperado, tratamientos EAM reducen las pérdidas de peso en comparación con los vegetales no envasados y están de acuerdo con lo hallado por (Fagundes et al., 2015). Los autores establecen que el efecto positivo del EAM en la pérdida de peso podría deberse al efecto que tiene el contenido de O_2 y CO_2 y al mantenimiento de un alto contenido de humedad dentro de los envases. El efecto del contenido de humedad dentro de los envases es una reducción del estrés de los frutos que genera altas tasas de pérdida de peso en frutos no envasados.

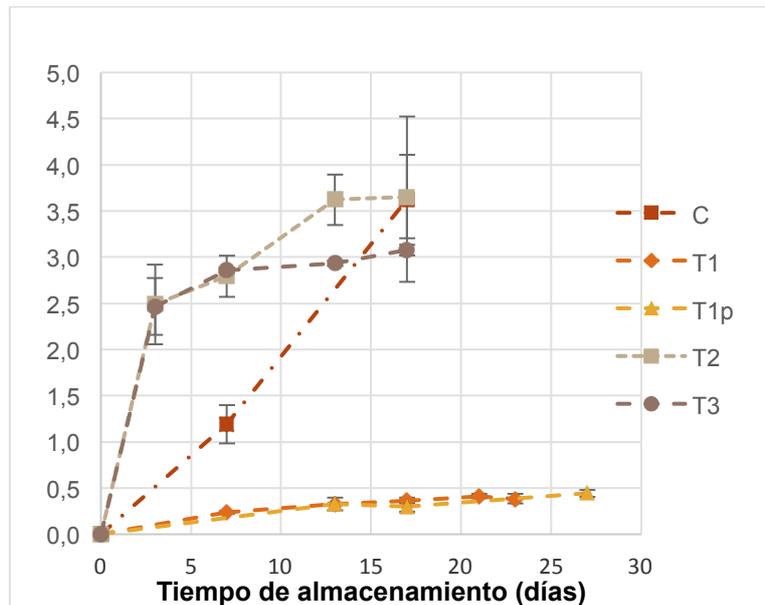


Figura 5.1-8: Evolución de la pérdida de peso durante todo el ensayo para tomates en estado de madurez turning con tratamiento térmico en bolsas MP y PE (T2 y T3), EAM en PE (T1), EAM en PEp (T1p) y control (C). Las barras verticales representan la desviación estándar (n=3). todos los tratamientos. Las barras verticales representan la desviación estándar (n=3)

5.1.5. pH, sólidos solubles y sólidos totales

Los valores de pH, sólidos solubles y sólidos totales se encuentran en el Anexo B del presente trabajo.

El pH durante la maduración de los tomates aumenta para todos los tratamientos en los frutos cosechados turning durante todo el almacenamiento. Si bien la diferencia no es grande (de 4,2 a 4,3 en casi todos los casos, estos valores de pH inicial y final mostraron diferencias significativas entre sí). No se observan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos hacia el final de la VU. Los tomates R no sufrieron cambios significativos en el valor de pH durante el almacenamiento.

En cuanto a los sólidos solubles (°Brix), no sufren variación durante el almacenamiento para ninguno de los tratamientos. Tampoco evidencian diferencias significativas entre los mismos para ninguno de los tiempos de muestreo ensayados. Contrario a lo que se esperaría, como resultado de la síntesis de azúcares reductores a partir de carbohidratos mayores, no se verificó un aumento de los sólidos solubles durante la maduración. Inicialmente presentaron un valor de sólidos solubles de $4,0 \pm 0,1$ los tomates cosechados turning y light red y no hubo un incremento significativo en los °Brix en ninguno de los tratamientos aplicados. No se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los sólidos solubles de los tomates turning y light red. Estos resultados son concordantes con lo reportado por Perkins-Veazie et al. (2007) para tomates producidos en forma orgánica. Los autores no hallaron cambios significativos en los sólidos solubles de tomates cosechados en estado de madurez pink durante todo el almacenamiento. El contenido de sólidos solubles es una combinación de azúcares, ácidos orgánicos y componentes solubles de la pared celular. Los azúcares reductores contribuyen en un 75 a 80% al contenido de sólidos solubles en tomates (Kader, Stevens, Albright Holton, Morris, & Algazi, 1977). Betancourt, Stevens, & Kader (1977) encontraron que tomates madurados en la planta tenían mayor contenido de azúcares reductores que tomates cosechados breaker y madurados fuera de la planta. Además, los autores reportan diferencias en la tasa de acumulación de azúcares durante la maduración de los frutos en función

del cultivar estudiado. En este trabajo, se podría inferir que una vez alcanzado el estadio de madurez turning ya no se verifican cambios en los SS.

Respecto de los sólidos totales (ST) se observa una disminución para los tomates turning en todos los tratamientos durante el almacenamiento. Tomates R no mostraron modificación en el valor de ST durante el almacenamiento.

De acuerdo con Nunes (2008) tomates cosechados en etapas tempranas de madurez y que se dejaron madurar a 20 ° C se evaluaron como menos dulces, más agrios, menos "parecidos a tomates" y con un sabor más desagradable que los recolectados en la etapa de maduración comercial. Según el autor, los tomates que se dejan madurar en la planta suelen tener un mayor contenido de sólidos solubles, menor acidez y una mayor proporción de azúcar a ácido, pero son menos firmes en comparación con los tomates cosechados cuando están menos maduros.

5.1.6. Textura instrumental

La pérdida de textura es función de la temperatura, el contenido de oxígeno y de la actividad de enzimas celulasa, pectinesterasa y poligalacturonasa. Esta última se sintetiza *de novo* y necesita O₂ para su síntesis (Gómez & Camelo, 2002). Bajas tasas respiratorias limitan la actividad enzimática y permiten obtener mayor firmeza.

La pérdida de firmeza se constata rápidamente para todos los tratamientos. El día 3, los tratamientos T2 y T3 llegaron al nivel de textura de los tomates R el día 0. Hacia el final de su VU la pérdida de firmeza total fue de 68% y 63% respectivamente.

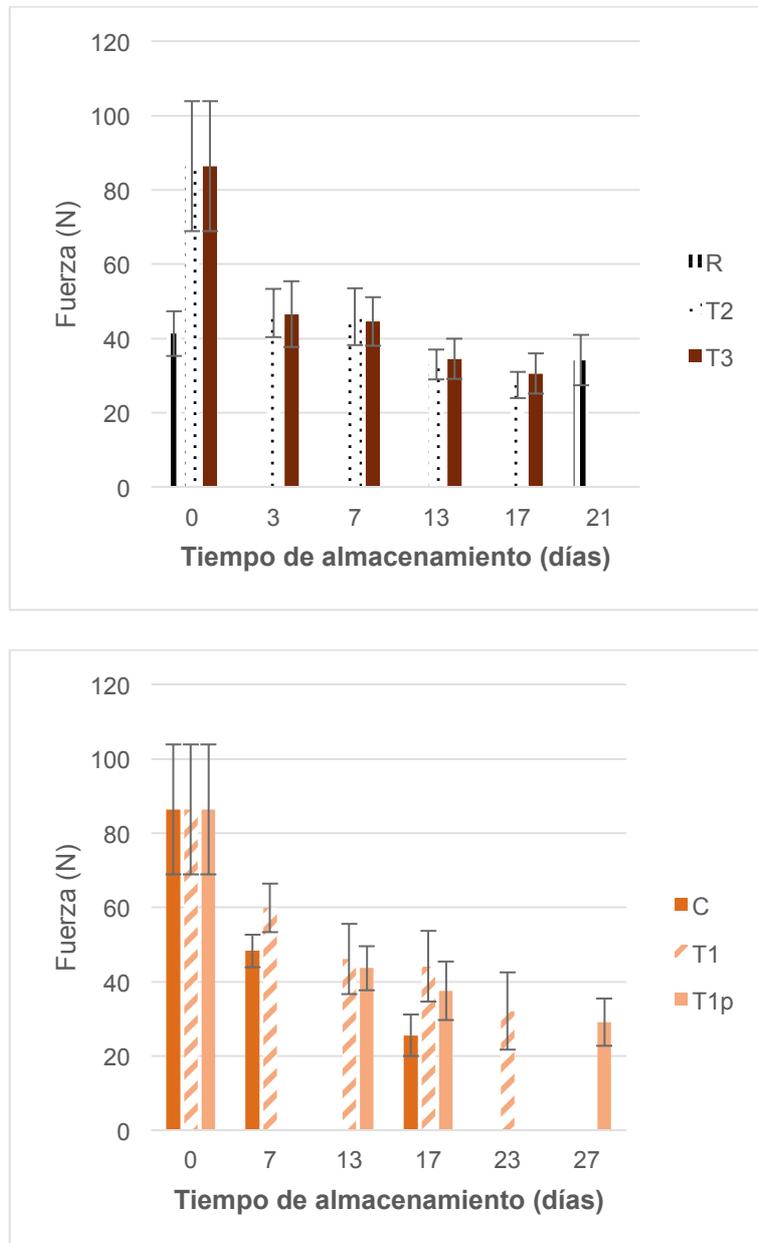


Figura 5.1-9: Evolución de la firmeza instrumental (N) para todos los tomates en estado de madurez turning con tratamiento térmico en bolsas MP y PE (T2 y T3), EAM en PE (T1), EAM en PEp (T1p), control (C) y tomates en estado de madurez light red (R). Las barras verticales representan la desviación estándar (n=3). todos los tratamientos.

Tomates T1 y T1p conservaron mejor la textura hasta el día 17 y 13 respectivamente en relación con el resto de los tratamientos estudiados.

En tomates R no se observó pérdida significativa de la textura ($p < 0.05$) en 17 días de almacenamiento. Esto coincide con lo hallado por Fagundes et al. (2015) quienes hallaron que tomates almacenados en refrigeración conservaron la firmeza respecto a tomates almacenados a temperaturas más elevadas (12-20°C). Dado que el ablandamiento de los tejidos implica hidrólisis de los componentes de las paredes celulares a través de enzimas, la retención de firmeza se podría explicar por una disminución de la actividad enzimática a menores temperaturas.

Se puede observar que tanto la pérdida de firmeza y la PP están estrechamente relacionadas. Los tomates T1 y T1p son los que conservaron mejor la firmeza y los que menos pérdida de peso mostraron hasta el final de la VU (**Figura 5.1-9**). Mientras que tomates control y tratados térmicamente son los que más rápidamente pierden peso y firmeza. Esto además sugiere que el EAM fue efectivo para mantener la firmeza de los tomates y concuerda con lo reportado por Akbudak, Akbudak, Seniz, & Eris (2012) para tomates cherry envasados en atmósfera modificada pasiva y por Fagundes et al. (2015) para tomates en atmósfera modificada activa (5% O₂, 5%CO₂ y 90%N).

5.1.7. Tasa respiratoria

La respiración es un proceso metabólico que provee de energía a las plantas para sus procesos bioquímicos. La respiración aeróbica

consiste en la ruptura de reservas orgánicas a moléculas más simples incluidas el CO_2 y agua, con liberación de energía. Los sustratos de la respiración pueden ser carbohidratos, lípidos y ácidos orgánicos. El proceso de respiración consume O_2 a lo largo de una serie de reacciones enzimáticas. La ruta metabólica de la respiración aeróbica incluye glicólisis, ciclo del ácido tricarboxílico y el sistema de transporte de electrones. (Fonseca et al., 2002; Robertson, 2006).

En este estudio se utilizó el método estático o de recipiente cerrado, para medir la respiración. Este método consiste en colocar los frutos dentro de un recipiente cerrado de volumen conocido, que contiene inicialmente aire ambiente como atmósfera inicial. Se miden los cambios en el O_2 y CO_2 durante un período de tiempo y se utilizan esos valores para medir las tasas respiratorias TRO_2 y TRCO_2 de acuerdo con la ecuación **Ec.3.1**.

Factores como el tipo y estado de madurez del fruto afectan las medidas de respiración, así como también la temperatura, el oxígeno disponible, la permeabilidad del envase.

En este estudio, se observó un descenso en la tasa respiratoria, indicada como TRO_2 , durante todo el almacenamiento, para todos los tratamientos (**Figura 5.1-10**).

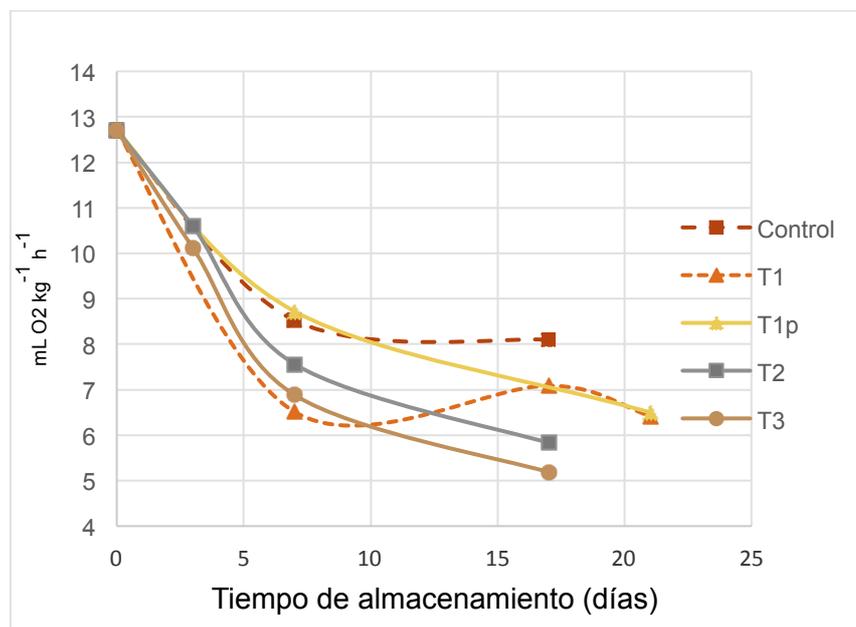


Figura 5.1-10: Evolución de la TR para todos los tratamientos con tomates en estado de madurez turning con tratamiento térmico en bolsas MP y PE (T2 y T3), EAM en PE (T1), EAM en PEp (T1p) y control (C).

Una vez transcurrida la primera semana, si bien la TR de todos los tomates continúa decreciendo, lo hace de manera menos pronunciada. En ese lapso (entre el día 7 y el final de la VU) se puede observar que la TR más elevada fue la de C, seguida por T1p, T2 y T3. Esta tendencia coincide con lo reportado por Dhalsamant, Mangaraj, & Bal (2017) quienes observaron en tomates EAM que la TR disminuía al disminuir el % de perforaciones del envase. La disminución tan pronunciada de la TR en la primera semana se debe sobre todo a la restricción de O_2 que fue observada para los tratamientos que fueron envasados. En el caso del tratamiento T1 (tomates turning envasados desde el inicio del experimento en PE y colocados a $15^\circ C$), la tasa respiratoria baja (**Figura 5.1-10**) acompañada de renovación de O_2 desde el exterior del envase dan como resultado una concentración de O_2 elevada (**Fig. 5.1-1**). De

acuerdo con la **Figura 5.1-1** era de esperar que la tasa respiratoria de T3 fuera más elevada el día 7 y que diera como resultado el bajo contenido de O₂ dentro de los envases (8%). Este comportamiento se podría deber a que el día 3 los tomates T3 (removidos del TT y expuestos a condiciones atmosféricas de O₂ y CO₂) colocados en PE con la TR elevada que se observa en la **Figura 5.1-10** consumieron el O₂ dentro de los envases a una tasa más alta de lo que el O₂ se pudo renovar desde el exterior de los envases. Entre el día 3 y el día 7 los tomates T3 se adaptaron a las nuevas condiciones (15°C y una concentración de oxígeno muy baja) y la tasa respiratoria por tanto llega a un valor bajo como respuesta a las nuevas condiciones de almacenamiento. Tomates R no mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la TR inicial y la TR de fin de VU.

Es sabido que la respiración se enlentece al disminuir el O₂ disponible como consecuencia de la reducción de la actividad metabólica global del fruto. Se cree que la reducción en la tasa respiratoria en respuesta a bajos niveles de O₂ no es el resultado de la actividad de la enzima citocromo oxidasa (que es muy afín al O₂) sino, que es debida a la reducción de otras enzimas oxidasas, como las polifenoloxidasas, ácido ascórbico oxidasa y ácido glicólico oxidasa cuya afinidad por el O₂ es mucho menor (Fonseca et al., 2002). Esto coincide con la menor pérdida de firmeza discutida anteriormente.

Hacia el final de la VU el comportamiento de T1p se asemeja al del climaterio con el aumento en la TR indicando la senescencia. En el resto de los tratamientos no se observa ese comportamiento. Frutos climatéricos tienen altas tasas respiratorias inicialmente y decrecen hasta un aumento que coincide con la madurez o la senescencia. Sin embargo, esto no implica que la respuesta respiratoria en frutos EAM o en atmósferas controladas (AC) necesariamente cambie durante el período climatérico. (Fonseca et al., 2002).

En la **Tabla 5.4** se muestra la reducción en la TR debido a cada tratamiento. Puede observarse que el EAM disminuye en casi un 50% la TR en los tratamientos T1 y T1p logrando una VU de 21 y 27 días respectivamente.

Tabla 5.4: Reducción (%) de TR para todos los tratamientos al final de la VU

Tratamiento	Control	T1	T1p	T2	T3
Reducción TR (%)	36%	49%	49%	54%	59%

5.1.8. Resumen de resultados

El EAM es efectivo no sólo para aumentar la VU de los frutos, sino que en el caso de T1p, se pudo alcanzar un contenido de licopeno superior al encontrado en tomates cosechados en estado de madurez comercial (o light red). Mediante el uso de EAM y almacenamiento a 15°C se pudo alcanzar una VU de 27 días con un procesamiento mínimo y una pérdida de peso menor al 1%.

El tratamiento térmico fue efectivo para lograr una evolución rápida del color y del contenido de licopeno en los primeros 7 días. Sin embargo, los tomates turning luego de ser sometidos a 30°C parecen ser inducidos a una senescencia temprana que lleva a una VU de 17 días. Esto también influye en la desaceleración de procesos metabólicos que incluyen la síntesis de licopeno, una TR baja a pesar de estar expuestos a una concentración oxígeno atmosférico como es el caso de T2 y una pérdida de firmeza pronunciada en los primeros días.

Se verificó que los parámetros colorimétricos h y a^*/b^* son buenos indicadores del contenido de licopeno y por tanto del estado de madurez de tomates cosechados previo a la madurez comercial.

5.2. Tomates cosechados en estado de madurez pink y red (cv. Lapataia)

Tomates cv. Lapataia descritos anteriormente, cosechados en estado de madurez pink (USDA) fueron procesados de acuerdo a lo descrito en la sección 4.2. En este experimento, se buscó prolongar la VU de los tomates T1p, T2 y T3 colocándolos a 7°C una vez alcanzado el color rojo de comercialización. Este tiempo varió según el tratamiento; para el tratamiento T1p fue de 13 días y para T2 y T3 de 7 días.

En la **Tabla 5.5** se detalla y resume la nomenclatura de los distintos tratamientos aplicados.

Tabla 5.5: Resumen y nomenclatura de los tratamientos con tomates pink y red.

Abreviación	Trat	Envase	Días TT 30°C	Tiempo almacenam a 15°C	Tiempo almacenam a 7°C
T1	EAM	PE	-	35	-
T1p (15)	EAM	PEp	-	26	-
T1p(7)	EAM	PEp		13	17
T2 (15)	TT	MP	3	37	-
T2(7)	TT	MP	3	7	15
T3(15)	TT/EAM	MP/PE	3	35	-
T3(7)	TT/EAM	MP/PE	3	7	15
C	Control	SE	-	35	-
R1	EAM	PE	-	-	22
R2	Control R	MP	-	-	17

*TT: tratamiento térmico; PE: polietileno; PEp: polietileno con 2 perforaciones físicas; SE: sin envase; MP: bolsa microperforada

A continuación, se detallan los resultados obtenidos.

5.2.1. Vida útil

En la **Tabla 5.6** se presentan los tiempos de VU alcanzados para todos los tratamientos de tomates cosechados pink y red. En este caso la limitante de la VU también fue el crecimiento de hongos.

Tabla 5.6: Valores de vida útil para todos los tratamientos de tomates pink y red expresada en días.

Tratamiento	VU (días)
C	35
R1	22
R2	17
T1	35
T1p(15)	26
T1p(7)	30
T2(15)	37
T2(7)	22
T3(15)	35
T3(7)	22

5.2.2. Atmósfera interior del envase

El contenido de O₂ dentro de los envases para los tomates T1p(15) disminuye en la primera semana hasta llegar al valor de equilibrio de 16% y se mantiene en ese valor hasta el final de la VU (día 26) (**Figura 5.2-1**). Los tomates T1p(7) una vez que fueron cambiados a 7°C, el contenido de oxígeno se situó en un equilibrio de mayor O₂ (19%) hasta el final de su VU (día 30). Este comportamiento es de esperar ya que a menores temperaturas disminuye el metabolismo de los frutos y con este la TR.

Esto hace que el oxígeno pueda reponerse desde el exterior y se alcance un equilibrio en un nivel mayor de O₂.

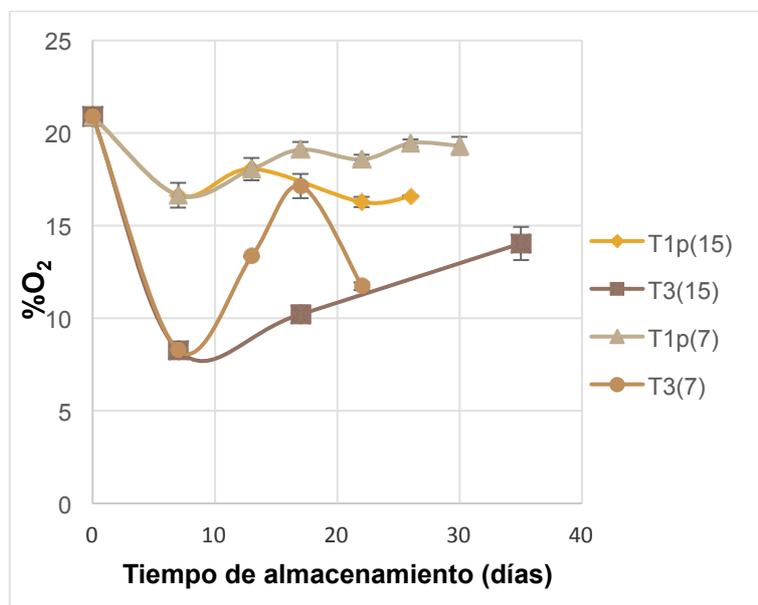
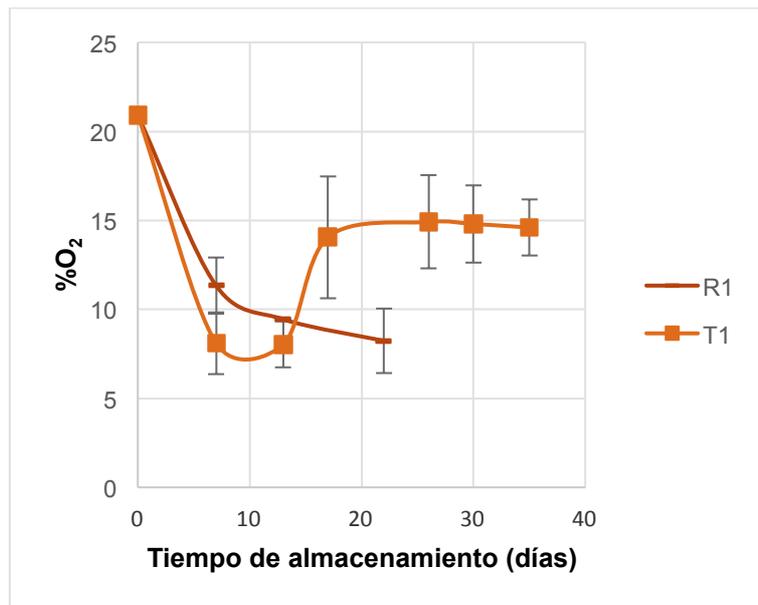


Figura 5.2-1: Evolución del contenido de oxígeno (%) en el espacio cabeza de los tratamientos con tomates envasados en estado light red con tratamiento térmico en bolsas de PE a 7°C (T3(7)) y 15°C (T3(15)), EAM en PE (T1), EAM en PEp a 15°C (T1p(15)) y a 7°C (T1p(7)) y tomates red envasados en PE (R1). Las barras verticales representan la desviación estándar (n=3)

Los tomates R1 mostraron una disminución de oxígeno al día 7 hasta llegar al equilibrio en un valor de 11% y se conservaron en esa concentración de O₂ hasta el final de la VU.

Tomates de los tratamientos T3(15) y T1 al principio disminuyeron el contenido de O₂ hasta 8% el día 7 y luego T1 se estabilizó en el valor de equilibrio 14% a partir del día 17. T3(15) fue aumentando gradualmente el contenido de O₂ con el transcurso del almacenamiento hasta alcanzar 14% sobre el final de su VU. Este comportamiento es indicador de la senescencia, una disminución en el metabolismo y por tanto en la TR acompañada de una reposición de O₂ desde el exterior del envase.

En cambio, tomates T3(7) una vez colocados a 7°C mostraron un ascenso significativo de O₂ dentro de los envases, y luego vuelve a disminuir al final de la VU hasta un valor de O₂ de 11%. El incremento en el contenido de O₂ una vez colocados a 7°C puede interpretarse como una desaceleración del metabolismo que ocurre al disminuir la temperatura y con ello una reducción de la TR.

Respecto de la evolución del CO₂ todos los tratamientos muestran un comportamiento similar durante el almacenamiento. La **Figura 5.2-2** muestra la evolución del contenido de CO₂ dentro de los envases durante el transcurso del ensayo de tomates T1 y R1. Los R1 y los T1 llegaron al pico de CO₂ al día 13 (5,4% y 4,3% respectivamente) y luego los R1 se estabilizaron en un valor de 3.5% a partir del día 17 hasta el final de la

VU. Tomates T1 mostraron un descenso más pronunciado hasta alcanzar 1,8% de CO₂ a partir del día 26. Esta disminución en el contenido de CO₂ indicaría el inicio de la senescencia y se verifica con el aumento de O₂ a partir del día 17 de almacenamiento.

En la **Figura 5.2-2** se muestra la evolución del contenido de CO₂ en el espacio cabeza de los envases para los tratamientos T1p y T3 a 15°C y 7°C. En relación a los valores CO₂ de los tratamientos T1p y T3, una vez alcanzado el pico máximo (4,1%) el día 7, llegan a equilibrarse en un valor de 2,23% para T1p(7) y 2,36 para T3(7) a partir del día 17. En el caso de los tomates almacenados a 15°C se observaron valores de equilibrio mayores. T1p(15) llegó a 3,5% a partir del día 21 hasta el final de la VU. Para T3(15) no se observa un valor de equilibrio, se observa un descenso continuado en el contenido de CO₂ hasta el final de la VU (35 días) hasta alcanzar 2,5%. Esto en conjunto con los resultados de la evolución de O₂ demuestra que la temperatura tiene un efecto importante en la TR y por tanto en las concentraciones de los gases dentro de los envases. La temperatura afecta tanto la permeabilidad de los envases como la TR de los frutos.

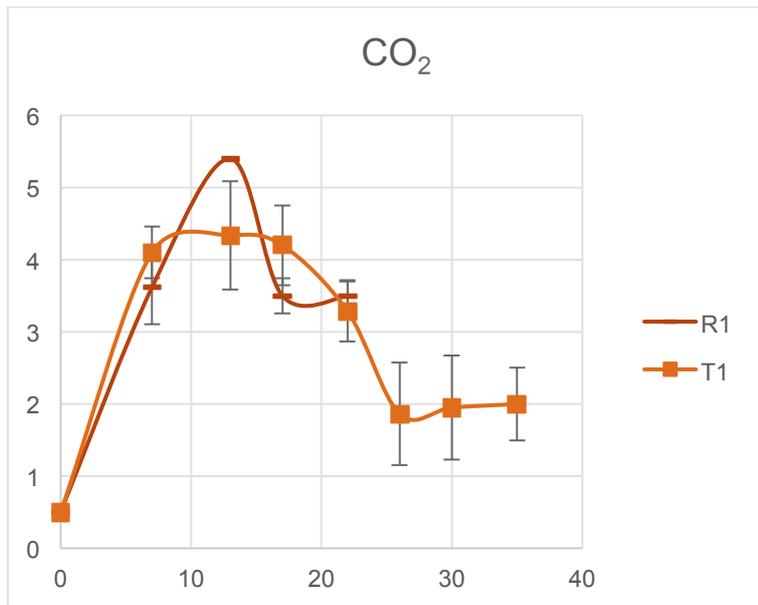
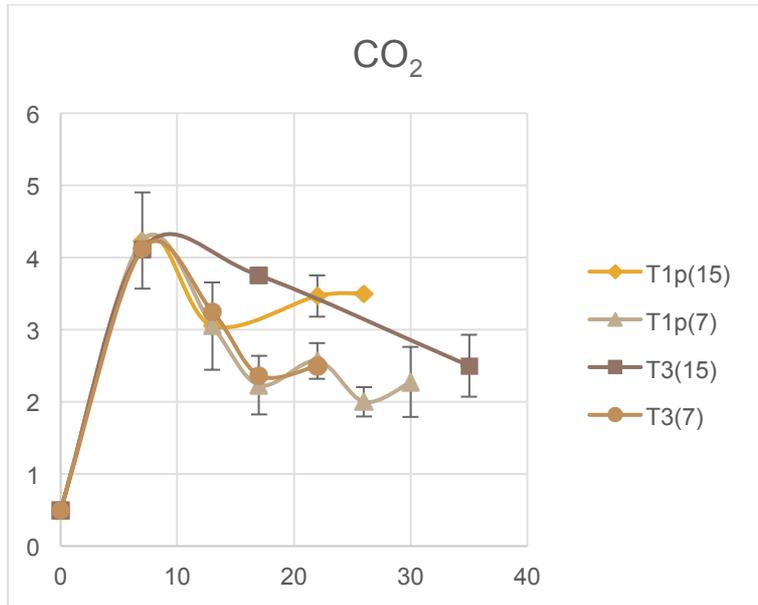


Figura 5.2-2: Evolución del CO₂ en el espacio cabeza de los tratamientos con tomates en estado light red y red. Las barras verticales representan la desviación estándar (n=3).

5.2.3. Color Instrumental

Al igual que con los tomates turning, los parámetros colorimétricos analizados en tomates pink que mostraron diferencias significativas entre tratamientos y durante el almacenamiento fueron L^* , a^* , b^* y a^*/b^* . Para los tomates cosechados red sólo el parámetro a^* y a^*/b^* mostró diferencias significativas durante su VU.

5.2.3.1. Luminosidad

El comportamiento del parámetro L^* se presentan en el Anexo B. Se observa que en todos los tomates pink que fueron almacenados y mantenidos a 15°C el parámetro L^* disminuye con el tiempo hasta el final de la VU. Tomates T2(7) y T3(7) es decir aquellos tomates que fueron colocados a 7°C a partir del día 13 de ensayo, no mostraron diferencias significativas en los valores de L^* . Este efecto de la temperatura también se observa en tomates cosechados red y almacenados a 7°C. Los tratamientos R1 y R2 no mostraron diferencias significativas en el parámetro L^* durante toda su VU. Sin embargo, tomates T1p(7) que fueron colocados a 7°C a partir del día 17 del ensayo muestran una disminución de L^* luego de ser cambiados de condición y hasta el día 30 (fin de VU).

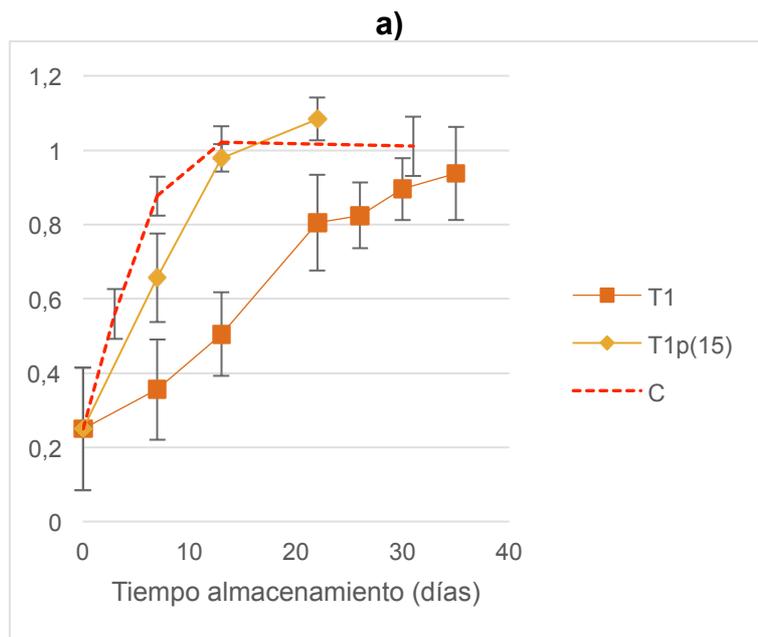
5.2.3.2. Parámetro colorimétrico a^*

Los valores y la evolución del parámetro a^* se muestran en el Anexo B del presente trabajo. El parámetro a^* evoluciona en forma creciente para todos los tomates pink durante el almacenamiento a 15°C. Una vez que los frutos de los tratamientos T2(7), T3(7) y T1p(7) se colocaron a 7°C no se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los valores de a^* hallados. Tomates tratados térmicamente (T2 y T3) mostraron una evolución de a^* hasta el día 3, es decir, una vez finalizado el tratamiento térmico el valor de a^* no incrementa más. Tomates C mostraron un incremento en el valor de a^* sostenido hasta el día 7, más allá de ese día no se observan cambios significativos hasta el final de la VU. El valor de a^* evoluciona en forma similar en tomates T1p hasta el día 13 y en el caso de los tomates T1 la evolución se da hasta el día 30 siendo este último el tratamiento con la evolución más lenta de a^* . Tomates R1 conservaron el valor de a^* inicial mientras que los tomates R2 tuvieron un aumento significativo de este parámetro hasta el día 7.

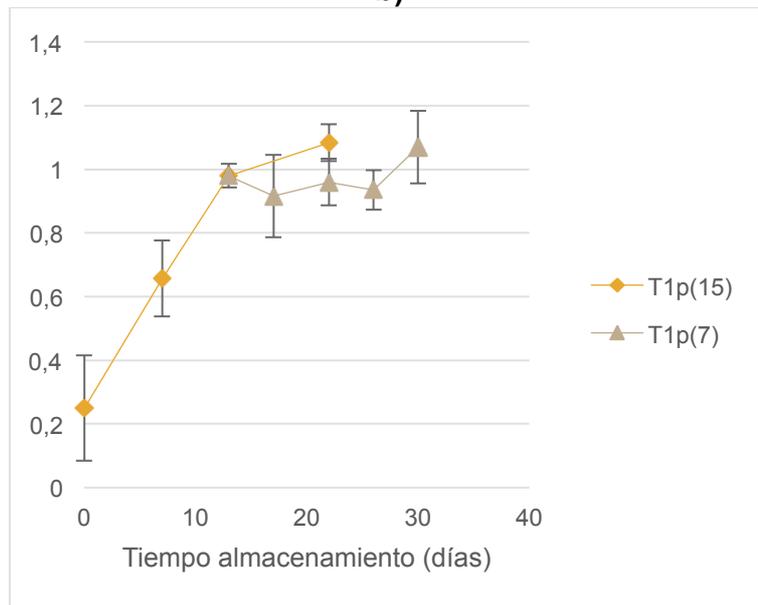
Estos valores y tendencias halladas coinciden con lo reportado anteriormente, y muestran que la mayor limitante para la conversión del color verde a rojo es la concentración de O_2 a la que están expuestos los tomates. La baja temperatura de almacenamiento no fue un obstáculo para el aumento de a^* , ya que tomates R2 lograron un incremento de a^* almacenados a 7°C.

5.2.3.3. Índice de color (IC) o a^*/b^*

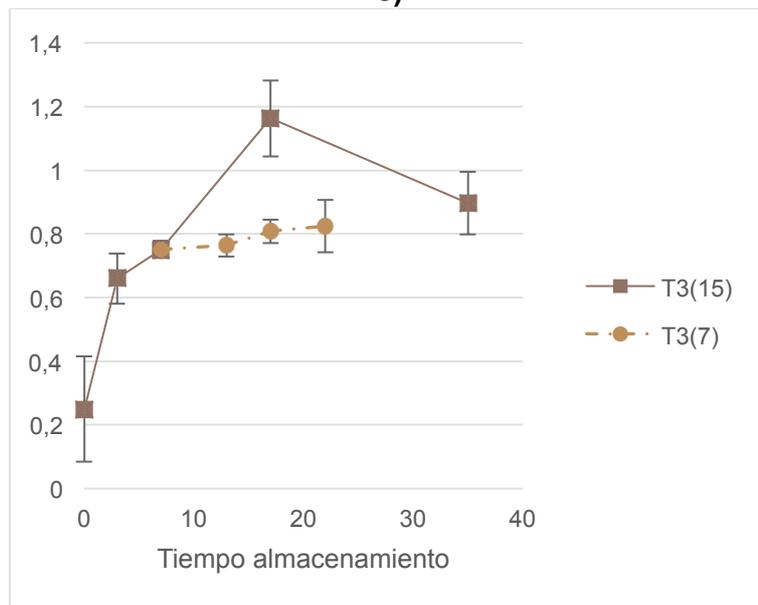
Como ya fue discutido en la sección 5.1.1.3 el IC resulta ser un buen indicador del contenido de licopeno y es utilizado como un indicador rápido del nivel de madurez (Arias et al., 2000; Perkins-Veazie et al., 2007). En la **Figura 5.2-3** se presenta la evolución del IC para los tomates pink durante todo el ensayo.



b)



c)



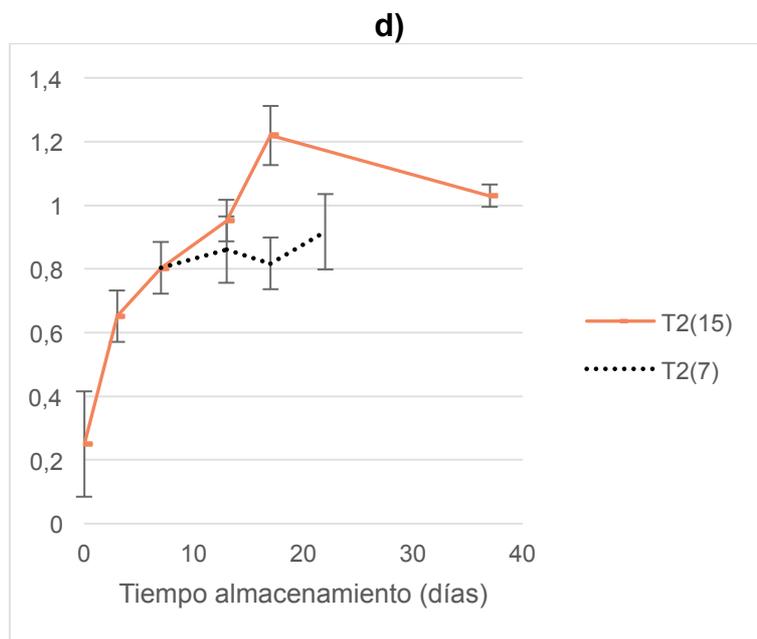


Figura 5.2-3: Evolución del índice de color (a^*/b^*) para los tomates pink durante el almacenamiento. a) Efecto del EAM y almacenamiento a 15°C en tomates C, T1 y T1p; b-d) efecto del cambio de temperatura de almacenamiento a 7°C en tratamientos T1p, T2 y T3. Barras verticales representan la desviación estándar ($n=3$).

Tomates C mostraron un aumento en el IC durante el almacenamiento hasta el día 13 alcanzando el máximo, mientras que T1 y T1p(15) lo hacen en forma más gradual hasta el día 22 (**Figura 5.2-3a**). Tomates T1 y T1p mostraron un aumento continuado en el IC durante el almacenamiento a 15°C. Por otra parte, en los tratamientos T2 y T3 se observa un aumento en el IC hasta el día 17 y luego un descenso significativo ($p<0.05$) en este parámetro hasta el final de la VU (día 35 para T3 y día 37 para T2) (**Figuras 5.2-3c-d**). En relación al efecto de la temperatura de almacenamiento, ninguno de los tomates que fueron colocados a 7°C (T1p(7), T2(7) y T3(7)) mostraron cambios significativos en el valor de IC durante el tiempo que se almacenaron a esa temperatura

(Figuras 5.2-3b-d). Es notorio además que los tomates almacenados a menor temperatura alcanzan valores de a^*/b^* menores que los conservados a temperatura más elevada (15°), salvo en el caso de T1p(7) (Figura 5.2-3b) que sobre el final de la VU consigue alcanzar el mismo valor del IC que T1p(15). En tomates cosechados red (R1 y R2) se observó el mismo efecto que para el parámetro h, no mostraron cambios en el valor del IC durante toda su VU. Es el comportamiento que se espera para tomates cosechados en estado de madurez comercial.

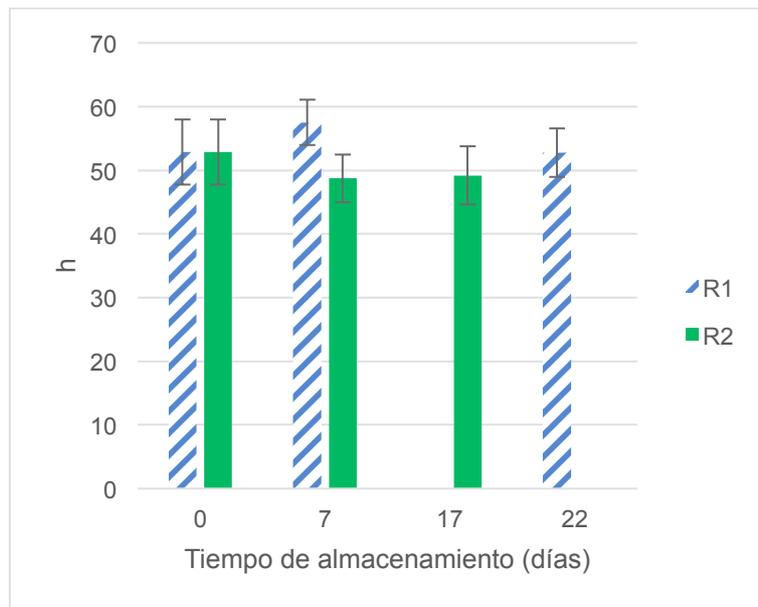
Se puede observar que el efecto del IC en tomates pink no coincide con el mostrado por tomates turning (sección 5.1). En tomates turning se observa que todos los tratamientos muestran un aumento en el IC sostenido en tiempo, mientras que tomates pink los tratamientos T2 y T3 muestran un efecto de aumento hasta alcanzar el máximo y luego una disminución que coincide con el fin de su VU. Algunos autores sostienen que el IC es un indicador del contenido de carotenoides en particular de licopeno (Arias et al., 2000) por lo que el comportamiento observado podría deberse a la disminución en el contenido de estos compuestos próximo a la senescencia como efecto del metabolismo de los frutos.

5.2.3.4. Parámetro colorimétrico h

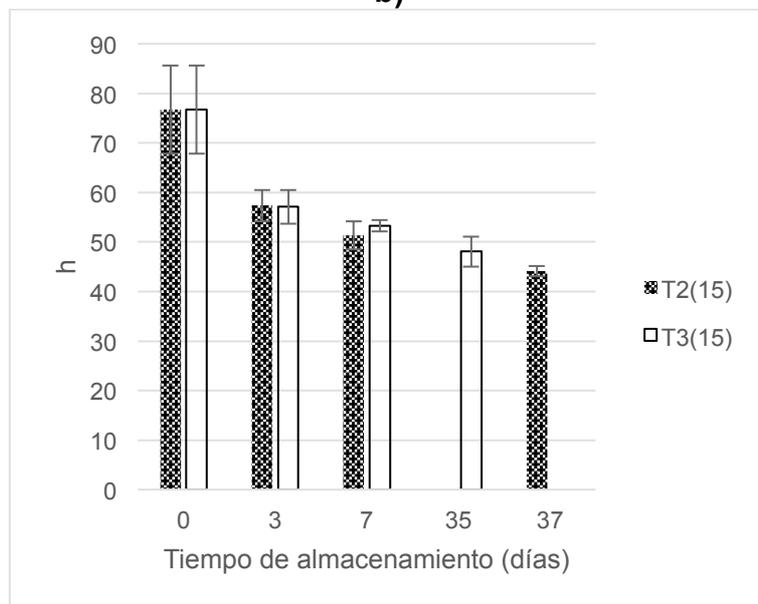
Tal como se describió anteriormente, el valor de h resulta más adecuado para describir el cambio de color en los tomates durante la

maduración. En la **Figura 5.2-4** se muestra la variación del parámetro para todos los tomates estudiados.

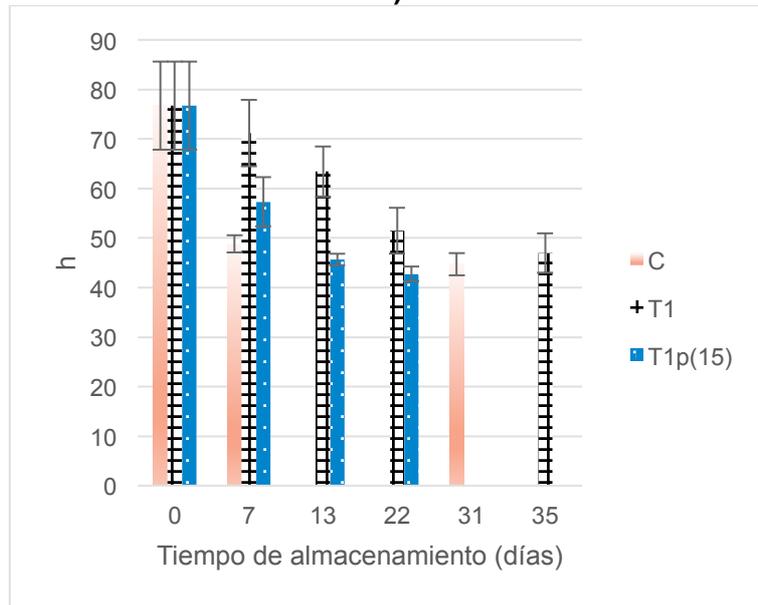
a)



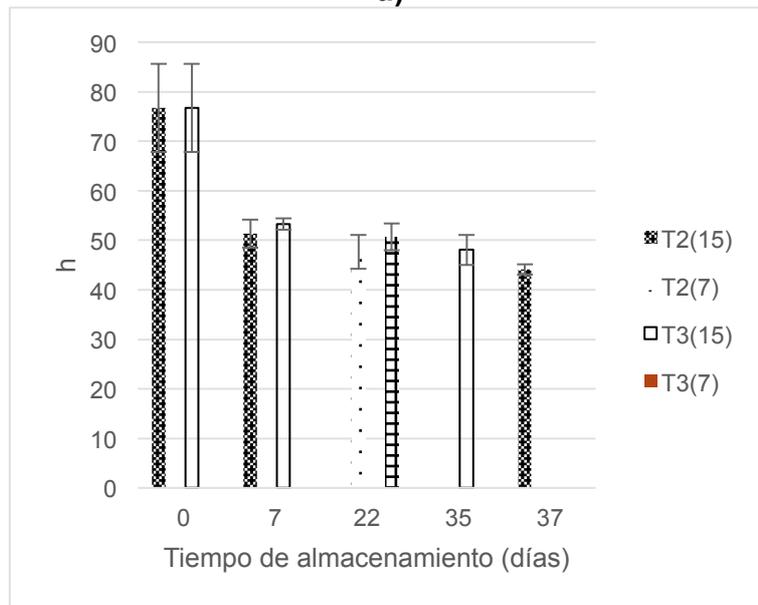
b)



c)



d)



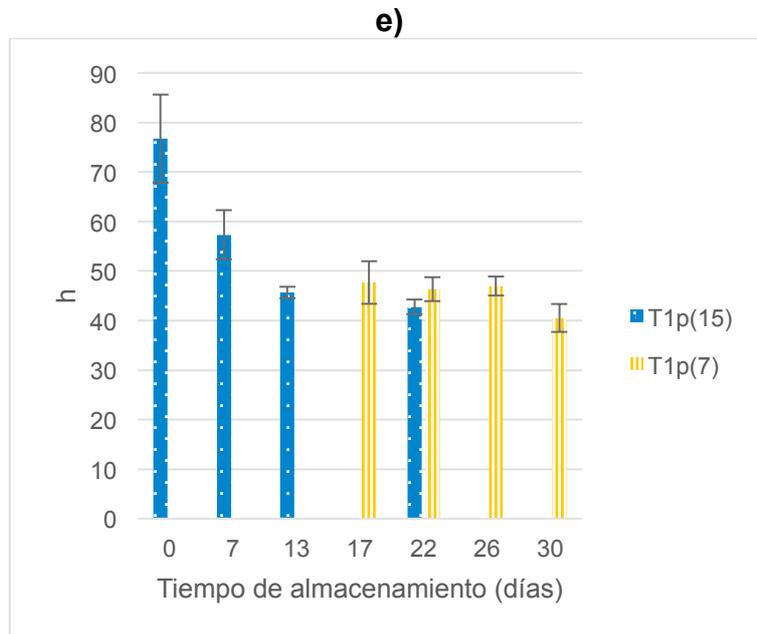


Figura 5.2-4: Valores del parámetro colorimétrico h para todos los tratamientos y el efecto en a) tomates red almacenados a 7°C; b) tratamiento térmico de tomates pink y posterior almacenamiento a 15°C(T2(15) y T3(15)); c) almacenamiento a 15°C de tomates pink durante toda la VU (C, T1 y T1p(1)); d) y e) cambio de temperatura de almacenamiento a 7°C (T1p, T2 y T3). Las barras verticales representan desviación estándar (n=3)

Se puede observar con el descenso del parámetro h durante el transcurso de los días de almacenamiento que todos los tomates pink muestran un aumento en el color rojo durante los primeros días de tratamiento (**Figura 5.2-4b-e**). La evolución del color rojo se dio a los 7 días para los tomates C, 13 días para los T1p, y tomates T1 mostraron una evolución de coloración roja más lenta alcanzando el máximo color rojo el día 22 (**Figura 5.2-4c**). Los tomates tratados térmicamente también muestran una evolución rápida del color rojo en la primera semana de ensayo (**Figura 5.2-4b**). Una vez transcurrido ese tiempo no se observan diferencias significativas ($p < 0.05$) en el valor del parámetro h. Tomates

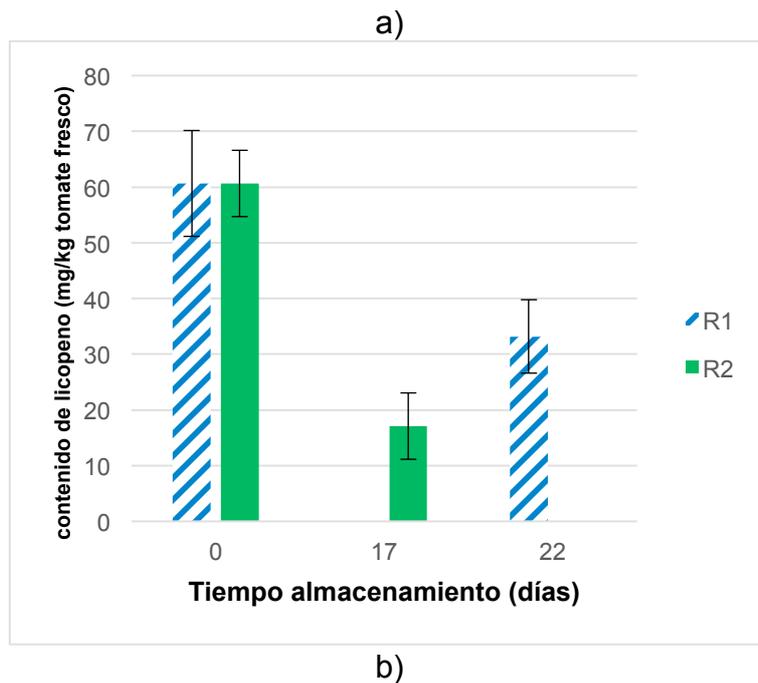
cosechados red (R1 y R2) no mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la variación del parámetro h durante todo el almacenamiento; es decir, conservaron la coloración roja inicial (**Figura 5.2-4a**). Este comportamiento coincide con lo esperado para tomates que por estar en estado de madurez comercial no se espera que continúe evolucionando la coloración. El efecto de la temperatura de almacenamiento se puede ver en las **Figuras 5.2-4d-e**. Los tratamientos T2(7), T3(7) y T1p(7) no mostraron variación de h una vez colocados en la nueva condición de temperatura de almacenamiento. En términos de parámetro h o coloración roja no se observan diferencias significativas entre la coloración roja alcanzada por tomates pink y los tomates cosechados red (R1 y R2). Esto indica que la coloración de los tomates pink evoluciona en forma creciente hasta alcanzar la de tomates maduros independientemente del tratamiento realizado; pero ningún tratamiento poscosecha pudo generar mayor coloración roja que la de los frutos cosechados red. En términos del tiempo en evolución de la coloración roja, se confirma lo ya discutido en la sección 5.1 para tomates turning de que independientemente de la temperatura de almacenamiento de los tomates, la limitante para el desarrollo de color está vinculada con la concentración de oxígeno a la que están expuestos los frutos.

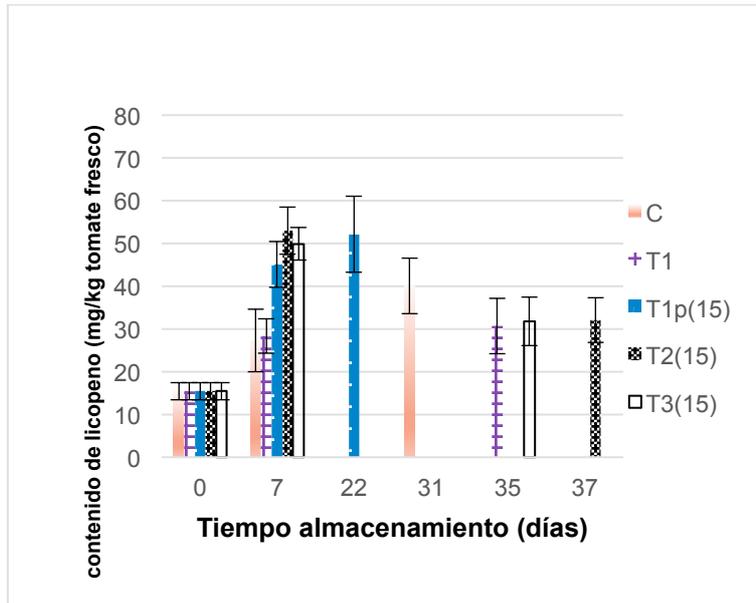
5.2.4. Licopeno

En la **Figura 5.2-5** se muestra la evolución del contenido de licopeno para todos los tratamientos. Tomates R1 y R2 a pesar de contener inicialmente mayor licopeno ($60,5 \pm 8,5$) ppm, ninguno de los dos tratamientos consiguió conservarlo (**Figura 5.2-5a**). En ambos casos se pierde, sobre todo en tomates R1 que pierden el 70% del licopeno inicial mientras que R2 consigue conservar sólo un 55%. En la **Figura 5.2-5b** se puede observar el efecto EAM y almacenamiento a 15°C en tomates pink. Tomates T1 y T1p consiguen acumular licopeno durante los primeros 7 días y luego si bien aumenta el contenido de licopeno no lo hace significativamente ($p < 0,05$). T1 y T1p consiguen acumular licopeno hasta ($30,5 \pm 6,5$) ppm y (52 ± 8) ppm respectivamente hasta el final de a VU (35 y 22 días respectivamente). Tomates control (C) acumulan licopeno hasta el final de la VU (31 días) alcanzando un contenido de licopeno máximo de ($40,1 \pm 6,5$) ppm. Por otro lado, los tratamientos T2 y T3 muestran un comportamiento igual al observado para el IC. Se ve un incremento del contenido de licopeno y luego un descenso significativo ($p < 0,05$). Para los tratamientos T1p(15), T2(15) y T3(15) no se consigue aumentar el contenido de licopeno más allá del día 7 de almacenamiento.

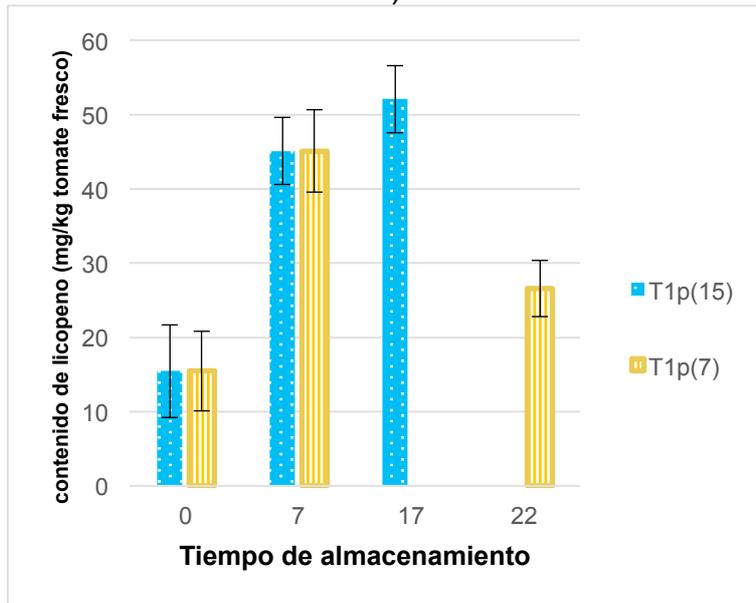
En las **Figuras 5.2-5c-e** se muestra el efecto del cambio de temperatura de almacenamiento a 7°C. Todos los tomates que fueron colocados a 7°C en algún momento del experimento, mostraron pérdida de licopeno. En este ensayo, a diferencia de lo observado en tomates

turning (sección 5.1), se observa que ninguno de los tratamientos poscosecha consigue alcanzar el mismo nivel de licopeno que los tomates cosechados maduros (red). Se verifica el comportamiento de R1 y R2, en concordancia con el ensayo con tomates light red (**sección 5.1.2**) que en condiciones de refrigeración (7°C) no se consigue conservar licopeno. Esto coincide con lo observado por (Javanmardi & Kubota, 2006). Los autores reportaron que una vez que los tomates fueron almacenados a 5°C perdían licopeno que había sido acumulado durante el almacenamiento a 12°C.

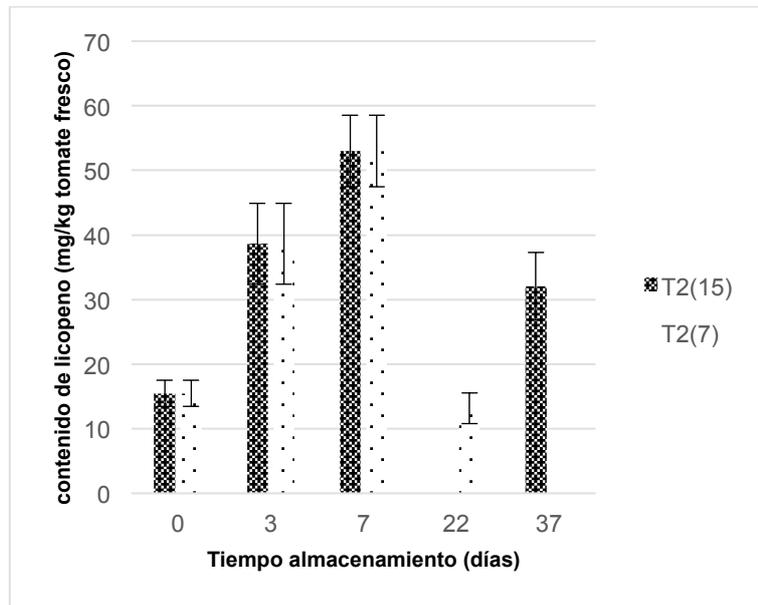




c)



d)



e)

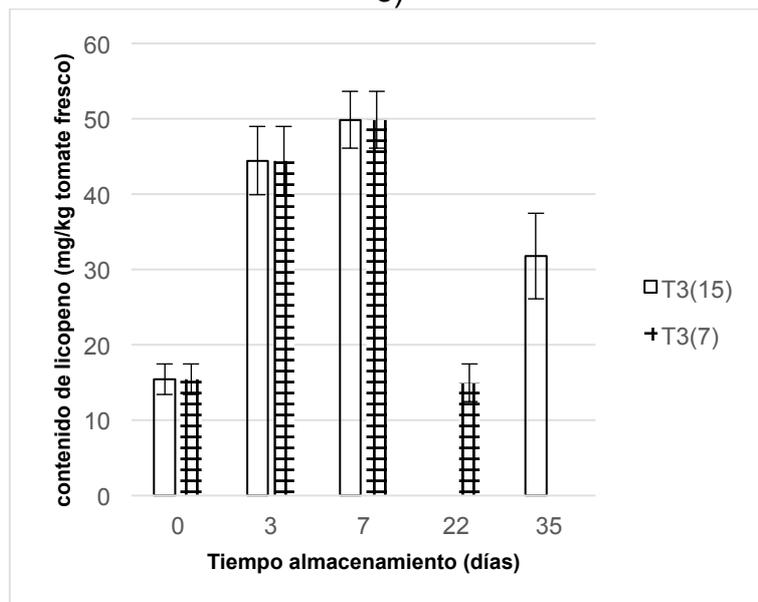


Figura 5.2-5: Evolución del contenido de licopeno durante el almacenamiento para los tomates a) red R1 y R2; b) pink almacenados a 15°C durante toda su VU (C, T1 y T1p(15)); c) T1p(15) y T1p(7); d) T2(15) y T2(7); e) T3(15) y T3(7). Barras verticales representan la desviación estándar (n=3).

Contrario a lo reportado por (Leonardi, Ambrosino, Esposito, & Fogliano, 2000) que informan que casi la mitad del licopeno es sintetizado

y acumulado durante el estadio red, en este estudio no se observa la acumulación de licopeno una vez que los frutos alcanzan la madurez.

Algunos autores han reportado efectos similares en la pérdida de licopeno durante el almacenamiento de tomates. De acuerdo con Park, et al. (2018) los frutos una vez alcanzada su madurez tienden a perder licopeno mientras que en frutos inmaduros se observa un incremento continuo en el contenido de licopeno. (Choi et al., 2010) observaron que el contenido de licopeno disminuía significativamente en tomates sobre maduros. Lewinsohn et al. (2005a) reportaron que a partir de carotenoides del tomate se biosintetiza citral. El citral es una mezcla de isómeros cis y trans no cíclicos de aldehído monoterpeno, neral y geranial. Tiene una esencia agradable a limón y está presente en plantas aromáticas. Además, este compuesto tiene un gran impacto en el aroma del tomate y se encuentra presente en frutas que contienen altos niveles de licopeno, como el tomate o la sandía, y sus precursores terpénicos (**Figura 5.2-6**)

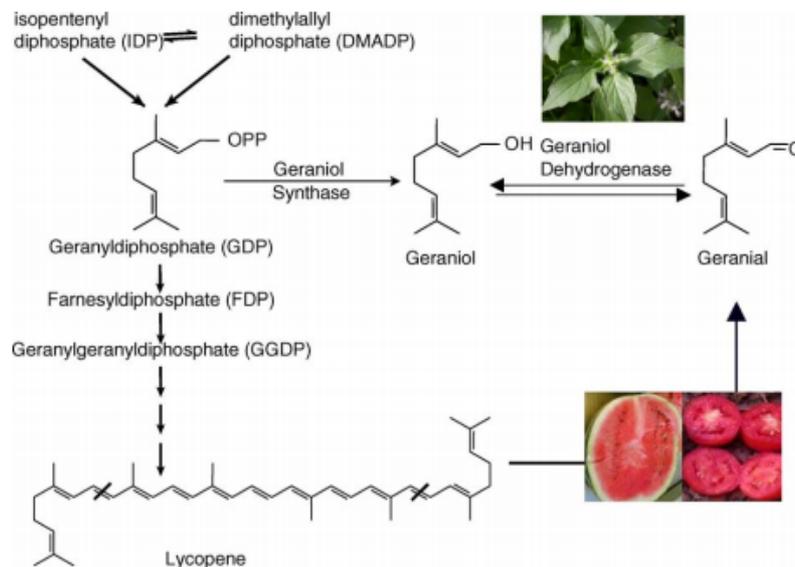


Figura 5.2-6: Ruta de degradación de licopeno a derivados aromáticos propuesta por Lewinsohn et al. (2005a)

Esta degradación de licopeno a volátiles responsables del aroma podría ser el principal responsable de la pérdida de licopeno en tomates ya maduros.

Otros autores reportaron que el etileno forma compuestos volátiles derivados de carotenoides y vieron que el etileno no tiene efecto en la producción de aromas volátiles. Ellos reportaron que el etileno sólo influye en la acumulación de licopeno y que este pigmento es el responsable de la síntesis de compuestos aromáticos (Gao et al., 2008).

5.2.4.1. Correlación licopeno vs. color

Tal como se realizó para los tomates cosechados en estado de madurez turning, se realizó un análisis de correlación entre el licopeno y los parámetros de color analizados.

En este experimento sólo se verificó correlación para los tratamientos C, T1, T1p(15), T2(15) y T3(15).

En la **Tabla 5.7** se muestra la matriz con los coeficientes de correlación de Pearson para ($p < 0.01$).

Tabla 5.7: Matriz de coeficientes de correlación de Pearson

	L*	a*	b*	C*	h	licopeno	a/b
L*	1	-0,88	0,58	-0,32	0,91	-0,34	-0,91
a*		1	-0,4	0,57	-0,95	0,51	0,93
b*			1	0,51	0,65	-0,25	-0,7
C*				1	-0,31	0,23	0,25
h					1	-0,51	-0,99
Licopeno						1	0,49
a*/b*							1

Los valores de los coeficientes para la correlación Licopeno-a*/b*, Licopeno-a*, Licopeno-h son menores que los hallados en los tomates cosechados turning. Al contrario de lo que se halló en este estudio, (Perkins-Veazie et al., 2007) reportaron correlación para tomates cosechados desde estados de madurez pink a light red, pero no así para tomates más inmaduros dejándolos madurar hasta light red.

La **Tabla 5.7** muestra los valores de los coeficientes de Pearson ($p < 0.01$) para el total de los tratamientos ensayados a tomates pink. Cuando se calcularon los coeficientes de correlación particionados por tratamiento se verifica al igual que con los tomates turning, que los tratamientos con mejor correlación fueron T1p(15) y C. Esto concuerda con lo discutido sobre la necesidad de O₂ para la formación de color rojo y síntesis de licopeno en tomates poscosecha.

Se puede observar que los tomates cosechados turning demostraron una correlación más intensa entre los parámetros de color y el licopeno acumulado hasta el final de la VU.

5.2.4.2. Análisis de la degradación de licopeno

Durante la maduración de los tomates se degradan componentes verdes (clorofila) hacia pigmentos incoloros y al mismo tiempo se sintetizan carotenoides desde precursores incoloros (phytoene) hasta caroteno (amarillos), licopeno (rojo), betacaroteno (naranja) y carotenoides hidroxilados (amarillo) (Fagundes et al., 2015).

Tal como indican los resultados de la **Figura 5.1-7** se observa en el caso de tomates turning una acumulación de licopeno sostenida en el tiempo, mientras que para tomates pink, light red y red dependiendo del tratamiento realizado, y si este incluía refrigeración, una acumulación y luego pérdida de este pigmento o sólo pérdida de este. (**Figura 5.2.5**)

Tomates C, T1 y T1p(15) tuvieron un aumento sostenido de licopeno mientras que T1p(7) muestra un incremento hasta el día 7 y luego una disminución. Tomates mantenidos a 15°C logran una mayor acumulación de licopeno que los tomates a 7°C. Los tomates a 15°C muestran una leve disminución en el contenido de licopeno luego del día 13 y una vez colocados a 7°C esa disminución se hace más evidente y pronunciada hasta el fin de VU. De acuerdo con Gómez et al. (2009) la

temperatura de refrigeración enlentece la cinética de maduración en azúcares, ácidos orgánicos, antioxidantes y licopeno mientras que la síntesis de carotenoides parece ser bloqueada en estas temperaturas.

En relación con la acumulación de licopeno y β -caroteno existen diversas teorías. Ronen et al. (1999) reportaron que cuando se observaba una disminución de licopeno, se observaba además un incremento de β -caroteno. De acuerdo con estos autores el mecanismo principal para la acumulación de licopeno está basado en la diferencia de regulación de la expresión de los genes de la biosíntesis de carotenoides. Encontraron que al aumentar los de síntesis de licopeno disminuyen los de carotenoides.

Por otra parte, Liu, Zabaras, Bennett, Aguas, & Woonton (2009) no hallaron cambios significativos en el contenido de β -caroteno en tomates cosechados breaker y sometidos a distintos tratamientos durante 21 días de almacenamiento, mientras que el contenido de licopeno aumentó en todos los casos. Riggi, Patanè, & Ruberto (2008) encontraron el mayor contenido de β -caroteno en estadíos tempranos de maduración y luego una disminución para los tomates pink a red. En el mismo sentido, Thiagu, Chand, & Ramana (1993) reportaron que el β -caroteno aumenta en tomates hasta el estadio pink, y luego disminuye hasta la maduración completa y sobre maduración de los frutos.

Otros autores sugieren la conversión entre β -caroteno y licopeno. Park et al. (2018) reportaron una disminución importante del β -caroteno a

los 20 días de almacenamiento a todas las temperaturas ensayadas. Los autores sugieren que el β -caroteno pudo haber sido isomerizado a compuestos derivados, incluidos flavor y aromas, o se convierte nuevamente en licopeno. Incluso reportan que la acumulación de licopeno en tomates es favorecida a 20°C, debido a una mayor conversión del ácido mevalónico a phytoeno y licopeno, mientras que observaron que la conversión de licopeno a β -caroteno más lenta.

En la **Figura 5.2-7** Lewinsohn et al., (2005b) sugieren una ruta de degradación de carotenoides en derivados del aroma (volátiles).

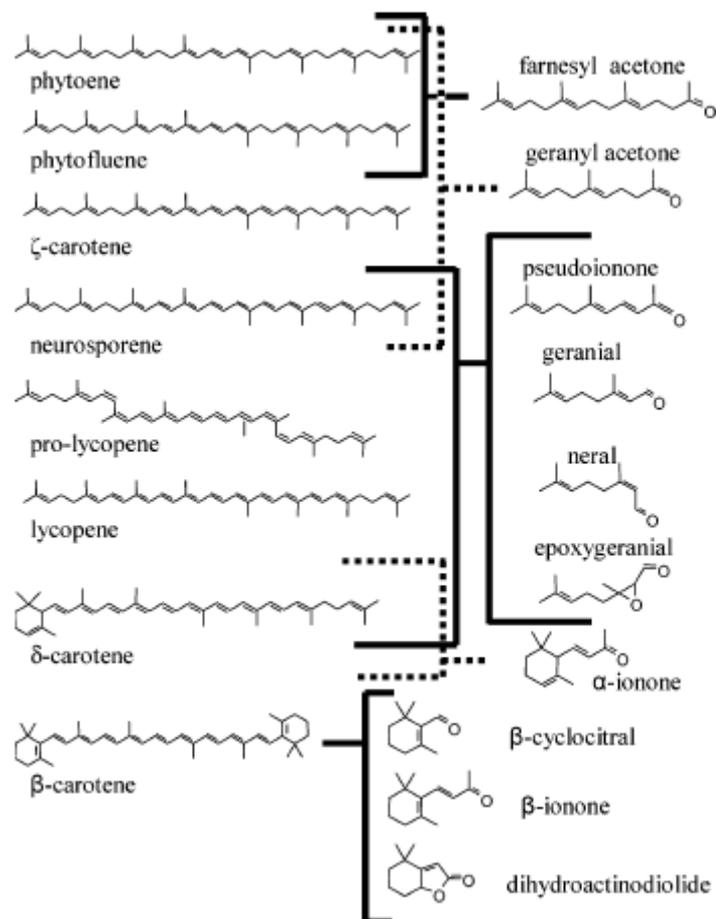


Figura 5.2-7: Carotenoides (izquierda) son degradados a aromas volátiles norisoprenoides y monoterpenos (derecha)

Como ya se observó en la **Figura 5.2-6**, el mismo autor propone que los norisoprenoides volátiles presentes en tomate y sandía son no-cíclicos como el geranial y el neral. Encontraron β -iononas y β -cyclocitral en tomates y sandías con alto contenido de β -caroteno. En tomates naranjas que acumulan δ -caroteno, se encontraron α -iononas. Esta ruta de degradación de carotenoides explica la pérdida de licopeno y β -caroteno a lo largo del almacenamiento de tomates.

De acuerdo con lo hallado en este estudio no se puede concluir si la pérdida de licopeno se debe a la síntesis de β -caroteno ya que no se contaba con estándar de este compuesto para cuantificarlo; o de otros pigmentos. Las referencias previas indicarían que la degradación de licopeno daría lugar a otros derivados o bien incoloros o derivados del flavor y aroma y por tanto volátiles.

5.2.5. Pérdida de Peso

Todos los tratamientos obtuvieron al final de la vida útil una pérdida de peso menor a 6,5% (**Tabla 5.8**) y por tanto un valor aceptable para considerarlos aptos para su comercialización.

T2(15) es el tratamiento que muestra mayor pérdida de peso en el final de la VU (4,22%), comparable con la pérdida de peso hallada para el control (4,43%) (**Figura 5.2-8**). El tratamiento T3(15) luego del tratamiento térmico los primeros 3 días pierde alrededor de un 2% de peso y luego del envasado no se observan cambios significativos en la PP. Lo mismo ocurre con T3(7), el cambio de condición a 7°C no modifica la PP respecto del tratamiento a 15°C una vez envasado.

Para T2(7) se obtuvo una PP al final de la VU (22 días) de 2,5% mientras que T2(15) muestra una PP de 4,22% el día 37. Esta diferencia podría deberse a que el cambio a 7°C provoca un enlentecimiento del metabolismo y por tanto una disminución en la pérdida de peso. A diferencia de T3 que luego del tratamiento térmico fue envasado, T2 estuvo expuesto a condiciones de oxígeno atmosférico en las bolsas MP. Esta disponibilidad de O₂ favorece la respiración, activa el metabolismo y la consecuente pérdida de peso.

Tabla 5.8: Valores de PP(%) en el final de la VU de todos los tratamientos

Tratamiento	Fin de VU (días)	PP(%)
C	35	4,43a
R1	22	0,28e
R2	17	0,84d
T1	35	0,33e
T1p(15)	26	0,55f
T1p(7)	30	0,47g
T2(15)	37	4,22a
T2(7)	22	2,48b
T3(15)	35	1,97c
T3(7)	22	1,96c

*letras minúsculas distintas indican valores significativamente diferentes ($p < 0.05$)

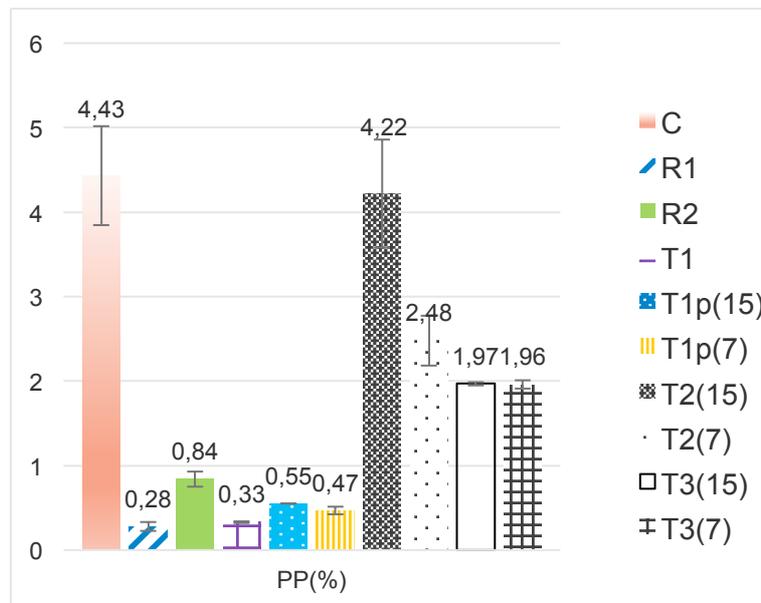


Figura 5.2-8: Valores de pérdida de peso (%) para todos los tratamientos con tomates light red el día de fin de VU para cada uno. Las barras verticales representan desviación estándar ($n=3$)

T1, T1p, T1p(7) y R1 no tienen pérdidas de peso significativas ($p < 0.05$) (menores al 0,5%) y se mantienen estables hasta el final de la VU demostrando la efectividad del EAM en la disminución de la PP.

R2 muestra un incremento de la PP al final de la VU (0,9%) que es mayor al observado para R1. Esta diferencia se debe a que R2 fue envasado y conservado en bolsas MP y por tanto expuesto a condiciones atmosféricas.

5.2.6. Textura instrumental

En la **Tabla 5.9** se pueden ver los valores de firmeza inicial y de fin de VU para todos los tratamientos con tomates pink y red. En la **Figura 5.2-9** se muestra la evolución de la firmeza instrumental de todos los tomates pink que fueron almacenados a 15°C. Los tomates tratados térmicamente (T2 y T3) al día 7 pierden en el entorno del 40% su firmeza inicial. Tratamientos T2, T3, T1 y T1p pierden la firmeza en los primeros 7 días para los primeros 3 tratamientos y 13 días para el último. Una vez pasado ese tiempo consiguen mantener esos valores de firmeza hasta el final de la VU. El tratamiento que mayor textura consigue retener es el T1 que una vez transcurrida la primera semana de almacenamiento no pierde más firmeza en forma significativa ($p < 0.05$) y mantiene valores del orden

de los tomates R inicialmente, es decir, se mantiene en niveles de firmeza de tomates cosechados prontos para consumir. T2 fue el tratamiento que mayor firmeza perdió, al final de su VU llega a los valores más bajos junto con el control.

El tratamiento T1p(15) consigue mantener la firmeza inicial en un 70% el día 13 de almacenamiento y se conserva sin cambios estadísticamente significativos ($p < 0.05$) hasta el final de su VU el día 22.

Tomates R no mostraron pérdida de firmeza durante todo el almacenamiento (22 días para R1 y 17 para R2).

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Fagundes et al. (2015), el EAM consigue mantener mejor la firmeza por reducción del O_2 dentro de los envases.

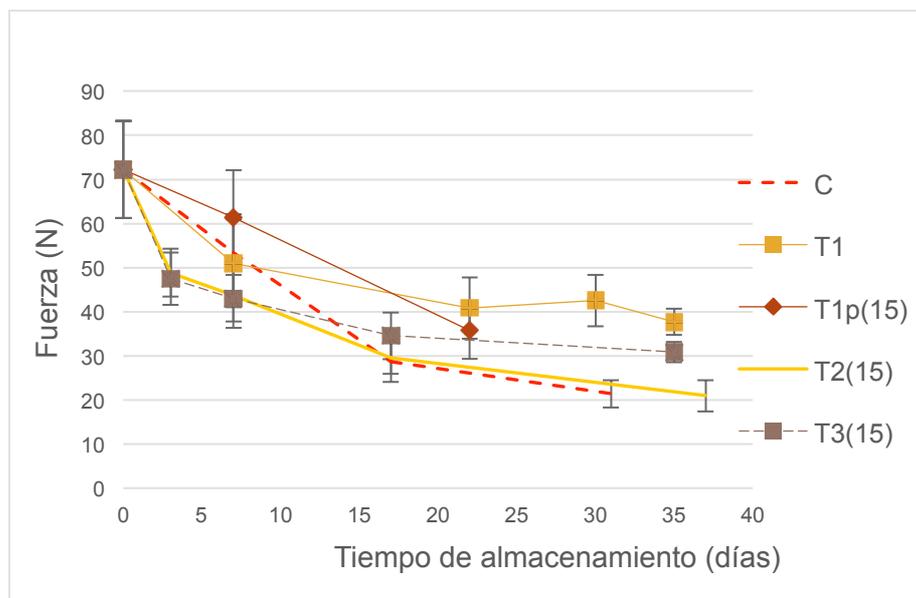


Figura 5.2-9: Evolución de la firmeza instrumental para los tratamientos de tomates pink almacenados a 15°C. Las barras verticales representan la desviación estándar (n=3).

Tabla 5.9: Valores de firmeza instrumental inicial y de fin de VU para todos los tratamientos con tomates pink y red. Letras minúsculas distintas dentro de una misma fila representan valores diferentes. Letras mayúsculas distintas en la misma columna representan valores diferentes ($p < 0.05$)

Tratamiento	Firmeza (N) día 0		Firmeza (N) fin VU		Fin de VU (día)
C	72,2	c,B	21,4	a	31
R1	42,9	a, A	32,3	a,AB	22
R2	42,9	a,A	39,4	a,ABC	17
T1	72,2	b,B	37,7	a,B	35
T1p	72,2	c,B	35,7	a,AB	22
T1p(7)	72,2	c,B	32,8	ab,A	30
T2	72,2	d,B	21,0	a	37
T2(7)	72,2	d,B	30,3	a,A	22
T3	72,2	c,B	30,9	a,A	35
T3(7)	72,2	c,B	30,3	a,A	22

5.2.7. pH, sólidos solubles y sólidos totales

Los valores de pH, sólidos solubles y sólidos totales se encuentran en el Anexo B del presente trabajo.

El pH al igual que en los tomates turning, aumenta para todos los tratamientos en los frutos cosechados pink durante todo el almacenamiento. No se observan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos hacia el final de la VU. Los tomates R1 no sufrieron cambios significativos en el valor de pH durante el almacenamiento. Los tomates

R2 muestran un aumento significativo con el tiempo de almacenamiento en el parámetro pH.

En cuanto a los sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix), y a los sólidos totales (ST) no se observaron variaciones durante el almacenamiento para ninguno de los tratamientos con tomates pink y red. Tampoco se evidencian diferencias significativas entre los mismos para ninguno de los tiempos de muestreo ensayados. Contrario a lo que se esperaría, no se verificó un aumento de los sólidos durante la maduración. Este comportamiento puede deberse a que los tomates ya estaban en un estado maduro (red) o muy próximo a la madurez comercial (pink). Estos resultados son concordantes con lo reportado por Perkins-Veazie et al. (2007). Los autores no hallaron cambios significativos en los sólidos solubles de tomates cosechados en estado de madurez pink durante todo el almacenamiento.

5.2.8. Tasa respiratoria

La **Figura 5.2-10** muestra la TR calculada para todos los tratamientos estudiados durante su almacenamiento y VU. Se observa que tomates cosechados más inmaduros tienen inicialmente una TR mayor que tomates cosechados ya maduros (red).

En relación a los tomates tratados térmicamente, muestran un descenso más marcado en los primeros 7 días que el resto de los tratamientos. Una vez transcurrido ese tiempo, los tomates T2(7) y T3(7)

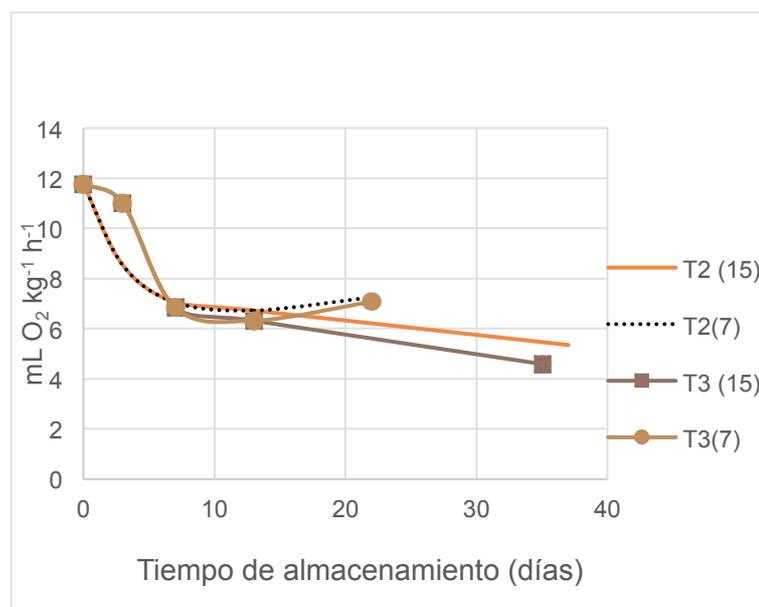
no continúan con el descenso de la TR, sino que se mantiene estable. Sin embargo, los tomates T2(15) y T3(15) cuyo almacenamiento continuó a 15°C muestran un posterior y gradual descenso en los valores de TR. Este comportamiento es el esperado, en términos generales la TR aumenta al aumentar la temperatura de almacenamiento y desciende al disminuir la temperatura de almacenamiento como consecuencia de un descenso en el metabolismo global del fruto.

Se observa que T1p(15) y T1 no muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) en la evolución de la TR a lo largo del almacenamiento. A pesar de que en las primeras 2 semanas de almacenamiento la atmósfera interior de los tomates T1 estuvo más reducida en oxígeno que la de tomates T1p(15) (**Figura 5.2-1**), no se observa diferencia en las TR de estos dos tratamientos. Con relación al cambio de temperatura a 7°C, la TR de T1p(7) se muestra estable y en valores superiores a la de T1p(15) y muestra un ascenso a partir del día 26 que se intensifica el día 30 que coincide con el fin de VU.

En tomates maduros cosechados red, la evolución de la TR de R1 es distinta a la de R2. La TR de R2 no muestra diferencias significativas a lo largo del tiempo de almacenamiento; esto puede deberse a que el estado fisiológico de esos frutos ya era el de madurez comercial y la atmósfera de esos tomates permaneció sin modificaciones (aire atmosférico). Por otra parte, la TR de Tomates R1 disminuye hasta el día 13 y luego muestra un ascenso significativo el día de fin de VU (22 días).

El descenso inicial está relacionada la atmósfera interior de los tomates que desciende en forma continua hasta el fin de VU y el aumento final suele interpretarse como la senescencia de los frutos o pico climatérico.

Se observa que tomates C muestran una evolución de la TR descendente y hacia el fin de la VU, alcanza valores mayores que T1, T2(15) y T3(15). Comportamiento esperado para tomates a los que no se les realizó ningún tratamiento para prolongar la VU ni disminuir la TR.



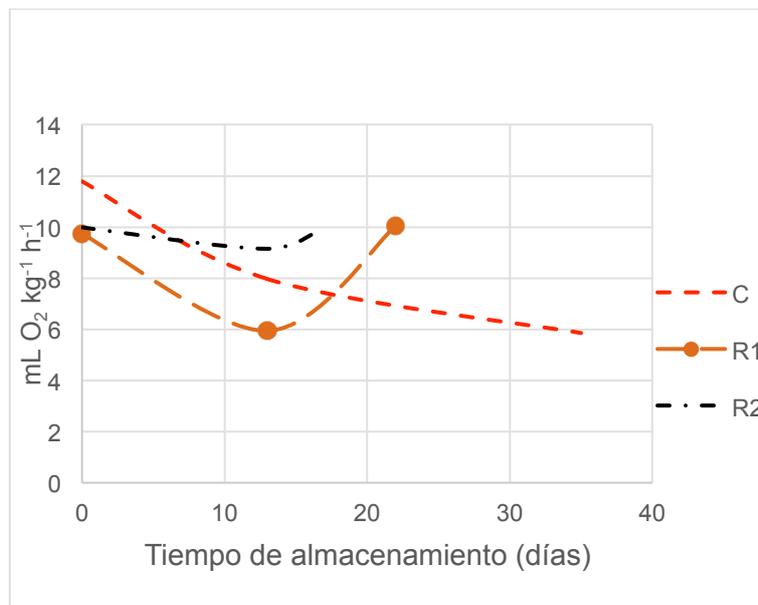
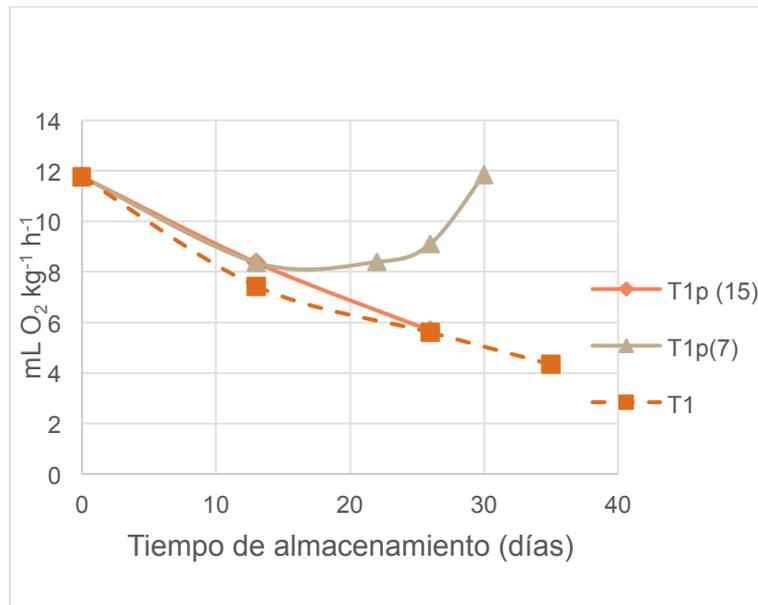


Figura 5.2-10: Evolución de la TR informada como TR O₂ para todos los tratamientos con tomates pink y red.

5.2.9. Resumen de resultados

Tomates cosechados pink y madurados poscosecha no lograron alcanzar ni superar el contenido licopeno de tomates cosechados red.

Tomates maduros no consiguen acumular licopeno debido a mecanismos de generación de compuestos del aroma del tomate que implican degradación del pigmento.

Se observa una degradación de licopeno en los tomates que inicialmente fueron sometidos a tratamiento térmico. El tratamiento térmico consiguió una síntesis de licopeno hasta los valores máximos en los primeros días. Estos frutos además alcanzaron una VU de 35 y 37 días, en tiempos prologados de almacenamiento comienzan los procesos de senescencia y el metabolismo si bien se reduce en velocidad, podría comprometer moléculas como licopeno y β -caroteno.

La VU alcanzada por los frutos almacenados a 15°C fue la mayor de todos los tratamientos (35 días para C, T1 y T3(15) y 37 días para T2(15). Es posible que temperaturas de almacenamiento de refrigeración (7°C) provoquen estrés en los tejidos causando mayor tasa de respiración y metabolismo global de los frutos, acelerando de esta manera la entrada en la etapa de senescencia.

Se observa una disminución en el contenido de licopeno para todos los tomates que fueron almacenados a 7°C. Otros autores han reportado

sobre la degradación de licopeno a bajas temperaturas y se verificó en este experimento en todos los casos.

Los tratamientos EAM fueron capaces de conservar la firmeza y la pérdida de peso, desarrollar color rojo y licopeno en valores de comercialización aceptables.

5.3. Tomates cosechados en estado de madurez breaker (variedad experimental)

Tomates breaker fueron procesados según fue descrito en la sección 4.3. En la **Tabla 5.10** se presenta la nomenclatura de los distintos tratamientos realizados.

Tabla 5.10: Nomenclatura y resumen de los tratamientos ensayados con tomates breaker

Nomenclatura	Tto	Envase	TT (30°C)	Almacenamiento sin envasar (15°)	Almacenamiento envasado (15°C)
C	EAM	PE	no	-	15 días
TE	TT/EAM	PE	3 días	-	12 días
TSE	TT/EAM	PE	3 días	7 días	5 días

TE: tomates con tratamiento térmico a 30°C durante 3 días luego envasados en PE y colocados a 15°C hasta el día 15.

TSE: tomates con tratamiento térmico a 30°C durante 3 días luego colocados a 15° C sin envase hasta alcanzar coloración roja. Envasados en PE el día 11 de almacenamiento hasta el día 15.

C: tomates control que no fueron sometidos a tratamiento térmico y fueron lavados, desinfectados y envasados desde el inicio en PE y almacenados a 15°C durante 15 días.

A continuación, se describen los resultados obtenidos.

5.3.1. Atmósfera interior del envase

En la **Tabla 5.11** se muestra la evolución de la concentración de O₂ y CO₂ dentro de los envases. Los tomates control que fueron envasados desde el inicio del experimento mostraron una disminución marcada del contenido de O₂ (7,2%) el día 1 y luego una estabilización hacia el final del almacenamiento, llegando a un contenido de oxígeno de equilibrio del 12%.

Para los tratamientos TE y TSE que fueron envasados el día 4 y 11 respectivamente no se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el contenido de O₂ entre ambos tratamientos ni con el control, llegando al día 15 a niveles de oxígeno de 10,8% y 12,7% respectivamente.

Tabla 5.11: Evolución de la concentración de O₂ y CO₂ en el espacio cabeza de los tratamientos con tomates breaker durante 15 días. Letras minúsculas distintas en la misma columna indican valores diferentes dentro del mismo tratamiento. Letras mayúsculas distintas en la misma fila indican valores diferentes para el mismo tiempo entre tratamientos.

Día	O ₂ (%)			CO ₂ (%)		
	C	TE	TSE	C	TE	TSE
0	20,9 a			0,5 a		
1	7,2 b			6,6 b		
4		20,9a			0,5 a	
11	11,1 c		20,9a	4 c		0,5 a
15	12,0 c,A	10,8 b,A	12,7 b;A	3,9 c,A	3,85 b,A	3,3 b; B

En relación al contenido de CO₂ el control (C) alcanzó su máxima concentración de 6,6% el día 1 y luego disminuye en forma significativa ($p < 0.05$) hasta alcanzar el valor de equilibrio de 3.9%. Los tomates TE

alcanzaron la concentración de CO₂ de equilibrio de los tomates control el día 15 de almacenamiento. Los tomates TSE envasados el día 11 alcanzaron valores estadísticamente menores de CO₂ (3.3±0.2) % el día 15 de almacenamiento.

Esta tendencia es la esperada para estos frutos cuando se aplica EAM, el O₂ tiende a disminuir rápidamente en los primeros días de envasado y alcanza un valor de equilibrio intermedio que es beneficioso para conservar una tasa respiratoria baja favoreciendo la prolongación de la VU. La evolución del contenido de CO₂ que se observó para todos los ensayos también es el esperado para este tipo de producto. El menor valor de CO₂ del tratamiento TSE hacia el final del almacenamiento pudo deberse a que fue el tratamiento que estuvo menos tiempo envasado.

5.3.2. Color instrumental

Se encontraron diferencias significativas en los parámetros colorimétricos a*, h y a*/b*. En este ensayo no se encontraron diferencias significativas en los valores de L* entre los tratamientos a lo largo de los 15 días de almacenamiento. En todos los casos L* disminuyó con el transcurso del tiempo indicando un oscurecimiento de los frutos.

El parámetro a* está directamente vinculado a la transición de color verde- rojo, valores mayores de a* indican una coloración roja mayor. Al día 15 los tomates con mayor valor del parámetro a* fueron los TSE y el

control. Entre estos dos tratamientos no se observaron diferencias significativas para a^* el día 15 de almacenamiento. Los TE mostraron valores de a^* significativamente menores ($p < 0.05$).

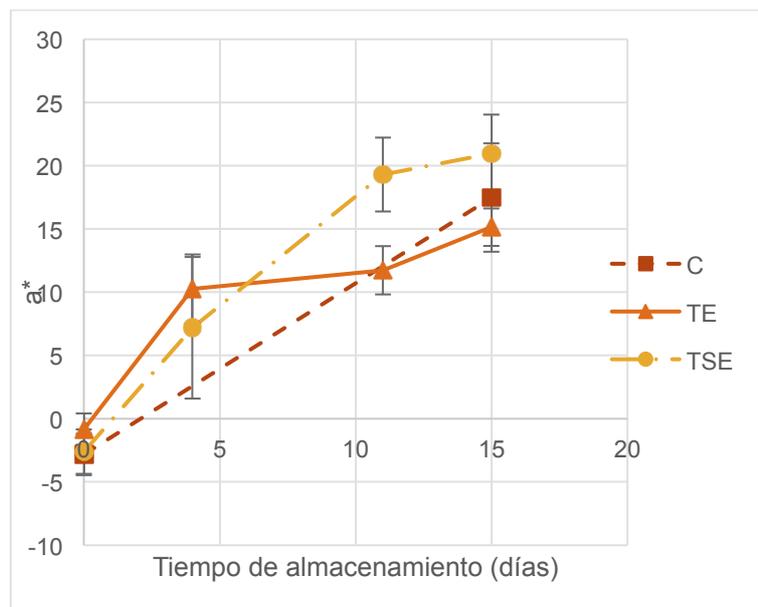


Figura 5.3-1: Evolución del parámetro colorimétrico a^* durante 15 días de almacenamiento de tomates breaker (C: control envasados; TSE: tomates sin envasar hasta el día 7 y TE: tomates envasados el día 3). Las barras verticales representan la desviación estándar ($n=3$).

El parámetro a^*/b^* o también llamado IC ha sido reportado como un buen indicador de la madurez de los tomates y correlaciona bien con el contenido de licopeno. En la **Figura 5.3-2** se muestra la evolución de este parámetro para todos los tratamientos durante 15 días de almacenamiento. Se puede observar que en todos los casos hay una evolución rápida de este parámetro que pasa de valores cercanos al 0 incluso negativos durante el estadio breaker a valores positivos el día 4 del ensayo.

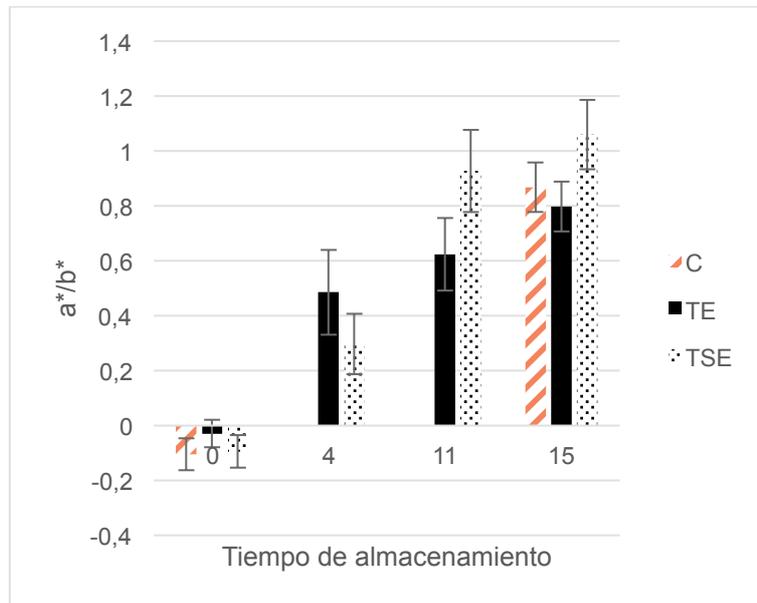


Figura 5.3-2: Evolución del parámetro a^*/b^* para todos los tratamientos de tomates breaker (C: control envasados; TSE: tomates sin envasar hasta el día 7 y TE: tomates envasados el día 3) durante 15 días de almacenamiento. Las barras verticales representan la desviación estándar ($n=3$).

El tratamiento TSE el día 15 alcanza el valor más alto de IC. Para tomates TE y C no se hallaron diferencias significativas en el valor del IC luego de 15 días de almacenamiento.

En relación al parámetro colorimétrico h , la variación (disminución) está relacionada con la evolución del color verde a rojo y por tanto con la coloración y maduración de los frutos. Esta evolución fue mayor para los tomates TSE que para los TE y los controles. No se observa diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los últimos dos tratamientos el día 15 de almacenamiento.

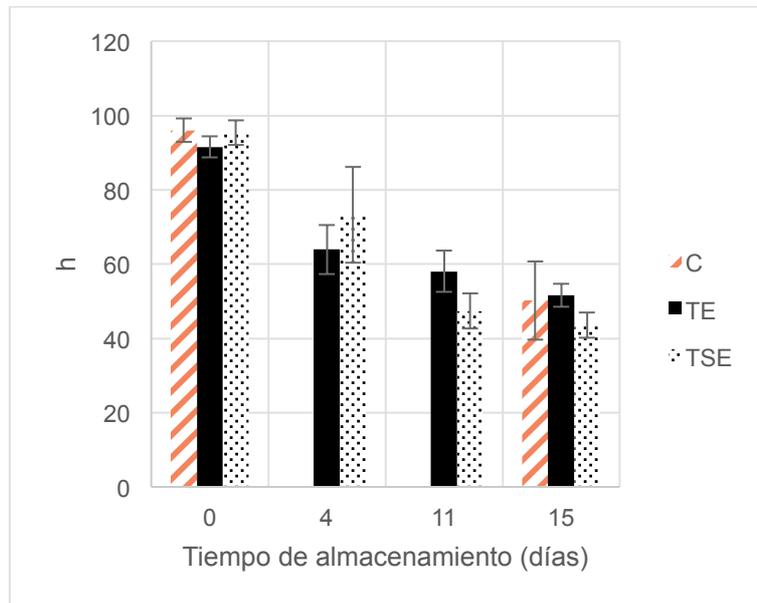


Figura 5.3-3: Evolución del parámetro h para todos los tratamientos de tomates breaker (C: control envasados; TSE: tomates sin envasar hasta el día 7 y TE: tomates envasados el día 3) durante 15 días de almacenamiento. Las barras verticales representan la desviación estándar (n=3)

5.3.3. Licopeno

En todos los tratamientos se observó un incremento significativo del contenido de licopeno ($p < 0.05$) respecto del contenido inicial ($4,1 \pm 0,5$) ppm (**Figura 5.3-4**). En el caso del control y de TE no se observan diferencias significativas en el contenido de licopeno el día 15. Los tomates TSE alcanzaron el contenido de licopeno significativamente mayor ($p < 0.05$) alcanzando un valor de ($72,8 \pm 8,5$) ppm.

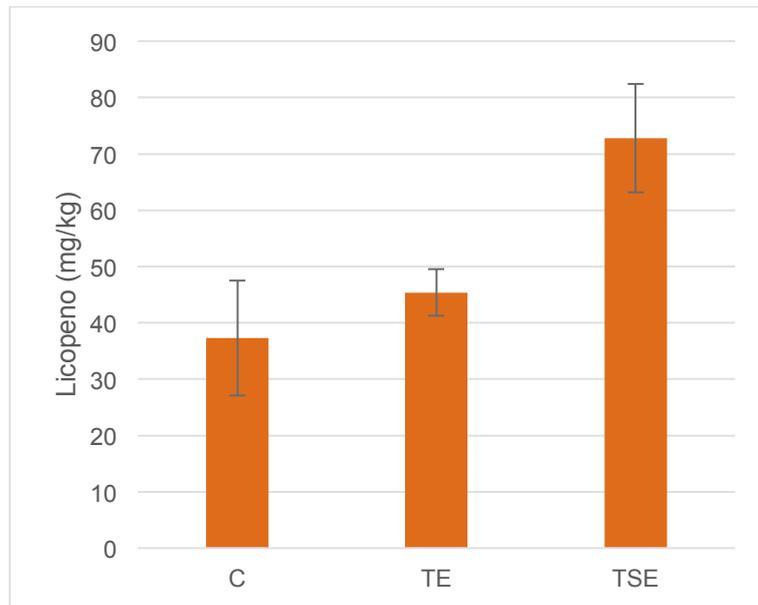


Figura 5.3-4: Contenido de licopeno en tomates breaker el día 15 de almacenamiento. Las barras verticales representan la desviación estándar (n=3)

Estos resultados indican que se consigue acumular licopeno en 15 días de almacenamiento y que, a la misma temperatura, el tratamiento que mayor licopeno obtuvo fue el que permaneció sin envasar los primeros 11 días de ensayo. Esto se verifica con los valores alcanzados de los parámetros colorimétricos. A mayor variación del h, mayor es la formación de color rojo y esto coincide con la síntesis de licopeno. También concuerda con la tendencia del parámetro a^*/b^* . Se confirma que a mayor IC mayor contenido de licopeno.

Se puede observar que la síntesis de licopeno está estrechamente relacionada con la disponibilidad de O_2 en estadios tempranos de maduración tal como fue verificado en los ensayos con tomates turning (**Figura 5.1-7**) y tomates pink (**Figura 5.2-5**) y reportado por otros autores (Arias et al., 2000; Dumas et al., 2003).

5.3.4. Pérdida de Peso

En la **Figura 5.3-5** se muestran los valores de PP alcanzados por todos los tratamientos al final del experimento. Los tratamientos TE y TSE alcanzan valores de pérdida de peso mayores al 8%. No se observaron diferencias significativas en la pérdida de peso para estos dos tratamientos. Este valor del PP se encuentra por encima de lo establecido para una calidad de comercialización aceptable. (Nunes, 2008). Este efecto observado es esperable debido a la alta temperatura a la que fueron sometidos los frutos desnudos. El tratamiento térmico ocasiona una elevada tasa respiratoria, baja HR y con ello se aceleran procesos metabólicos, transpiración entre otras reacciones que dan lugar a mayor pérdida de peso. El control tuvo una pérdida de peso menor al 1% a los 15 días de almacenamiento. Este comportamiento es el esperado para productos EAM.

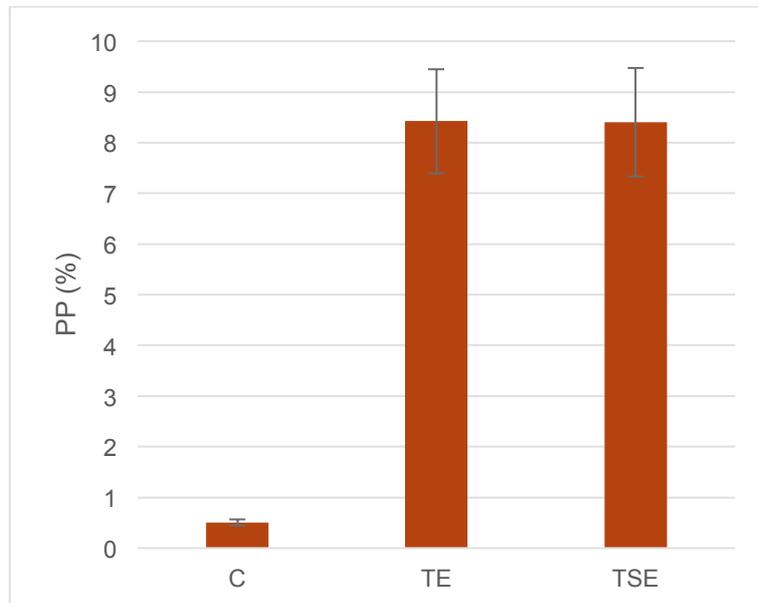


Figura 5.3-5: Pérdida de peso de tomates breaker el día 15 de almacenamiento. Las barras verticales representan la desviación estándar (n=3)

5.3.5. Textura instrumental

En la **Figura 5.3-6** se muestran los valores de textura presentados como firmeza (N) para todos los tratamientos el día 15 de almacenamiento. Se observa que el control conservó mejor la firmeza que los tomates que fueron tratados térmicamente; es decir, obtuvieron valores estadísticamente mayores ($p < 0.05$) de firmeza. En cuanto a la firmeza para los tratamientos TE y TSE al día 15 no se observan diferencias significativas entre ellos. Este comportamiento observado coincide con lo que se espera que suceda durante la aplicación de la tecnología de EAM. Los tomates del tratamiento control que no fueron sometidos a tratamiento térmico y que estuvieron expuestos a menores concentraciones de O_2 consiguieron conservar mejor la textura.

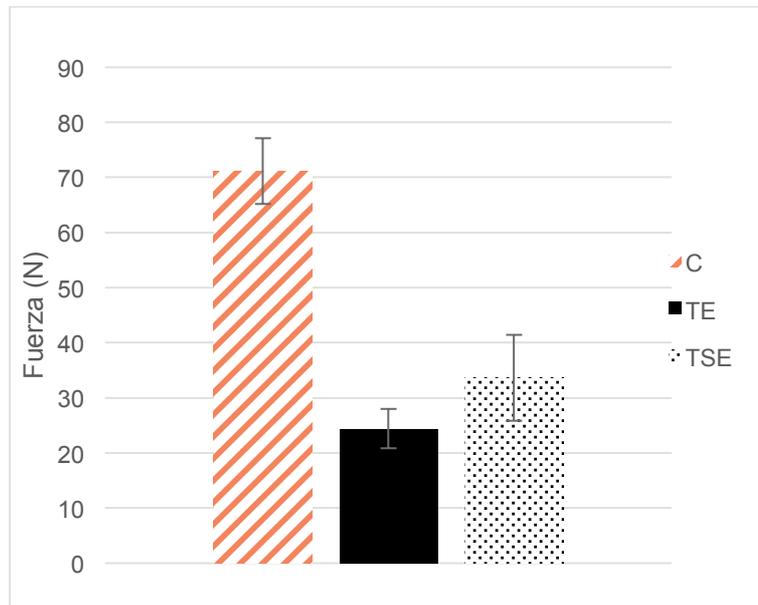


Figura 5.3-6: Textura instrumental informada como Fuerza (N) para todos los tratamientos con tomates breaker (C: control envasados; TSE: tomates sin envasar hasta el día 7 y TE: tomates envasados el día 3) el día 15 de almacenamiento. Las barras verticales representan la desviación estándar (n=3)

5.3.6. Resumen de resultados

En este ensayo se pudo observar y confirmar la tendencia observada por otros autores respecto de la vinculación entre el aumento del contenido de licopeno con la disponibilidad de oxígeno en etapas tempranas de maduración de los tomates.

Se observa que el EAM es un método eficaz para conservar la calidad de los frutos, reduce la pérdida de peso, conserva la firmeza y logra la evolución de color rojo. En cuanto al licopeno, se logra síntesis del pigmento y una acumulación menor que la observada en los tomates expuestos a una mayor concentración de O₂.

El tratamiento térmico fue efectivo para generar licopeno y lograr un aumento rápido del IC. Sin embargo, alcanza una pérdida de peso por encima de lo establecido para la comercialización de frutos de calidad. Esto se debe a que los tomates estuvieron desnudos durante el TT.

Capítulo 6. Conclusiones

El presente trabajo, permitió ampliar los conocimientos en términos de tratamientos poscosecha de tomates de variedades uruguayas en distintos estados de madurez, para el desarrollo de frutos ricos en licopeno con tiempos de VU y características de calidad aceptables para su comercialización.

La temperatura de almacenamiento fue el principal determinante en la conservación de licopeno. Temperaturas de refrigeración (7°C) causaron en todos los casos la pérdida del pigmento.

El estado de madurez inicial presentó un efecto determinante en el contenido de licopeno final alcanzado. Tomates en estado de madurez comercial o próximo al comercial no lograron desarrollar mayor contenido de licopeno. Sin embargo, tomates más inmaduros fueron capaces de sintetizar y acumular un contenido de licopeno igual o mayor al que mostraron los frutos cosechados maduros.

Existe una relación entre la temperatura de almacenamiento, estado de madurez y contenido de licopeno final. Frutos más inmaduros lograron sintetizar mayores contenidos de licopeno cuando fueron almacenados a 15°C. Frutos más maduros, almacenados a 15°C mostraron un incremento en el contenido de licopeno, pero una posterior

degradación del pigmento debido a procesos metabólicos de senescencia y desarrollo de compuestos del aroma.

La síntesis de licopeno y su evolución en los frutos en estados de madurez temprana parece estar directamente ligado a la concentración de oxígeno presente. Tomates EAM tuvieron un desarrollo más lento de color y licopeno que tomates expuestos al aire ambiente (control). Asimismo, tomates envasados en envases de mayor permeabilidad al oxígeno (PEp) desarrollaron mayor contenido de licopeno y en forma más rápida que aquellos en envases menos permeables (PE).

El EAM fue efectivo para reducir la PP, mantener la firmeza, desarrollar color y licopeno y alcanzar una VU de 27 días en tomates cosechados turning.

La presencia de hongos visibles fue la limitante en la VU en todos los ensayos.

Se pudo correlacionar los parámetros de color con el contenido de licopeno. El índice de color resultó un muy buen indicador de la madurez de los frutos y del contenido de licopeno.

Capítulo 7. Bibliografía

- Akbudak, B., Akbudak, N., Seniz, V., & Eris, A. (2012). Effect of pre-harvest harpin and modified atmosphere packaging on quality of cherry tomato cultivars “Alona” and “Cluster.” *British Food Journal*, 114(2), 180–196. <https://doi.org/10.1108/00070701211202377>
- Alam, P., Raka, M. A., Khan, S., Sarker, J., Ahmed, N., Nath, P. D., ... Taher Sagor, M. A. (2018). A clinical review of the effectiveness of tomato (*Solanum lycopersicum*) against cardiovascular dysfunction and related metabolic syndrome. *Journal of Herbal Medicine*, (December 2017), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2018.09.006>
- Anthon, G., & Barrett, D. M. (2007). Standardization of a rapid spectrophotometric method for lycopene analysis. *Acta Horticulturae*, 758, 111–128. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.758.12>
- Arias, R., Lee, T.-C., Logendra, L., & Janes, H. (2000). Correlation of Lycopene Measured by HPLC with the L^* , a^* , b^* Color Readings of a Hydroponic Tomato and the Relationship of Maturity with Color and Lycopene Content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5), 1697–1702. <https://doi.org/10.1021/jf990974e>
- Barrios, S; Luzardo, C; Ares, G; Lareo, C; Lema, P. (2009). *Envasado de tomates en atmósfera modificada pasiva. INNOVA*.
- Belmonte, J. (2018). *Variedades utilizadas para tomates de consumo en*

fresco y tendencias. Retrieved from <http://tomate-argentino.com.ar/Ponencias/congreso del tomate 2018 FINAL.pdf>

Belović, M., Kevrešan, Ž., Pestorić, M., & Mastilović, J. (2015). The influence of hot air treatment and UV irradiation on the quality of two tomato varieties after storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 5, 63–67. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2015.06.002>

Betancourt, L. A., Stevens, M. A., & Kader, A. A. (1977). Accumulation and loss of sugars and reduced ascorbic acid in attached and detached tomato fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 102, 721–723.

Bramley, P. M. (2002). Regulation of carotenoid formation during tomato fruit ripening and development. *Journal of Experimental Botany*. <https://doi.org/10.1093/jxb/erf059>

Brandt, S., Pék, Z., Barna, É., Lugasi, A., & Helyes, L. (2006). Lycopene content and colour of ripening tomatoes as affected by environmental conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(4), 568–572. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2390>

Castellanos, D. A., Cerisuelo, J. P., Hernandez-Muñoz, P., Herrera, A. O., & Gavara, R. (2016). Modelling the evolution of O₂ and CO₂ concentrations in MAP of a fresh product: Application to tomato. *Journal of Food Engineering*, 168, 84–95. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.07.019>

Choi, S. H., Lee, S. H., Kim, H. J., Lee, I. S., Nobuyuki, K., Levin, C. E., &

Mendel, F. (2010). Changes in free amino acid, phenolic, chlorophyll, carotenoid, and glycoalkaloid contents in tomatoes during 11 stages of growth and inhibition of cervical and lung human cancer cells by green tomato extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/jf100162j>

Colle, I., Lemmens, L., Van Buggenhout, S., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2010). Effect of Thermal Processing on the Degradation, Isomerization, and Bioaccessibility of Lycopene in Tomato Pulp. *Journal of Food Science*, 75(9). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01862.x>

Dhalsamant, K., Mangaraj, S., & Bal, L. M. (2017). Modified Atmosphere Packaging for Mango and Tomato: An Appraisal to Improve Shelf Life. *Journal of Packaging Technology and Research*, 1(3), 127–133. <https://doi.org/10.1007/s41783-017-0021-2>

Domínguez, I., Lafuente, M. T., Hernández-Muñoz, P., & Gavara, R. (2016). Influence of modified atmosphere and ethylene levels on quality attributes of fresh tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Food Chemistry*, 209, 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.049>

Dumas, Y., Dadomo, M., Di Lucca, G., & Grolier, P. (2003). Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*,

83(5), 369–382. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1370>

Fagundes, C., Moraes, K., Pérez-Gago, M. B., Palou, L., Maraschin, M., & Monteiro, A. R. (2015). Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 109, 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.017>

FAO. (2013). *El cultivo de tomate con buenas prácticas agrícolas en la agricultura urbana y periurbana. Agricultura para el Desarrollo*. Retrieved from www.fao.org/publications

FAO. (2015). *Statistics division of the agriculture organization of the unitednations*. Retrieved from <http://faostat.fao.org/>

Farneti, B., Schouten, R. E., & Woltering, E. J. (2012). Low temperature-induced lycopene degradation in red ripe tomato evaluated by remittance spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 73, 22–27. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2012.05.008>

Fish, W. W., Perkins-Veazie, P., & Collins, J. K. (2002). A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(3), 309–317. <https://doi.org/10.1006/jfca.2002.1069>

Fonseca, S. C., Oliveira, F. A. R., & Brecht, J. K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for. *Journal of Food Engineering*, 52(2), 99–119.

Fraser, M. L., Lee, A. H., & Binns, C. W. (2019a). *Lycopene and prostate cancer: emerging evidence - Health - ProQuest*. 5(5), 4–7.

Fraser, M. L., Lee, A. H., & Binns, C. W. (2019b). *Lycopene and prostate cancer: emerging evidence - Health - ProQuest*. 5(5), 4–7. Retrieved from

<http://search.proquest.com.ezproxy.endeavour.edu.au/health/docview/1318710351/DC97E8BE58D947EBPQ/4?accountid=45102>

Gao, H., Zhu, H., Shao, Y., Chen, A., Lu, C., Zhu, B., & Luo, Y. (2008). Lycopene accumulation affects the biosynthesis of some carotenoid-related volatiles independent of ethylene in tomato. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50(8), 991–996. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2008.00685.x>

Gómez, & Camelo. (2002). Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. *Horticultura Brasileira*, 20(1), 38–43. <https://doi.org/10.1590/s0102-05362002000100007>

Gómez, P., Ángeles Ferrer, M., Pablo Fernández-Trujillo, J., Calderón, A., Artés, F., Egea-Cortines, M., & Weiss, J. (2009). Structural changes, chemical composition and antioxidant activity of cherry tomato fruits (cv. Micro-Tom) stored under optimal and chilling conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(9), 1543–1551. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3622>

González-Casado, S., Martín-Belloso, O., Elez-Martínez, P., & Soliva-

Fortuny, R. (2018). Induced accumulation of individual carotenoids and quality changes in tomato fruits treated with pulsed electric fields and stored at different post-treatments temperatures. *Postharvest Biology and Technology*, 146(July), 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.08.013>

González-Chavira M. M., Herrera-Hernández M. G., Guzmán-Maldonado H., P.-H. J. L. (2018). Controlled water deficit as abiotic stress factor for enhancing the phytochemical content and adding-value of crops. *Sci. Hortic.* 234 354–360. [10.1016/j.Scienta.2018.02.049](https://doi.org/10.1016/j.Scienta.2018.02.049).

Guerreiro, D., Madureira, J., Silva, T., ... R. M.-I. food science, & 2016, U. (2016). Post-harvest treatment of cherry tomatoes by gamma radiation: Microbial and physicochemical parameters evaluation. *Elsevier*. Retrieved from [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S146685641630085](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856416300856)

6

Hassan, A. S. A., Arisha, H. M. E., Bardisi, A. A., & Ibraheim, S. K. A. (2016). Effect Of Some Packaging Materials on Quality Attributes of Tomato Fruits (*Solanum Lycopersicum* L .) During Cold Storage and After Shelf Life Period. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 05(04), 687–700.

Hirschberg, J. (2001). Carotenoid biosynthesis in flowering plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 4(3), 210–218. Retrieved from

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11312131>

INIA. (2015). *Catálogo de cultivares Hortícolas*. INIA, Uruguay. Retrieved from <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7053/1/bd-113-Catalogo-Horticola-2a.ed.2017.pdf>

INIA. (2017). *Avances en tecnologías para la producción de tomate en invernadero*. INIA, Uruguay. Retrieved from <http://www.inia.uy/Paginas/Avances-en-Tecnologias-para-la-produccion-en-Tomate-Invernadero.aspx>

Javanmardi, J., & Kubota, C. (2006). Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 41(2), 151–155. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.03.008>

Kader, A. A., Stevens, M. A., Albright Holton, M., Morris, L., & Algazi, M. (1977). Effect of fruit ripeness when picked on flavor and composition in fresh market tomatoes [Quality]. *Journal American Society for Horticultural Science*.

Kun, Y., Lule, U. S., & Xiao-Lin, D. (2006). Lycopene: Its properties and relationship to human health. *Food Reviews International*, 22(4), 309–333. <https://doi.org/10.1080/87559120600864753>

Leonardi, C., Ambrosino, P., Esposito, F., & Fogliano, V. (2000). Antioxidative activity and carotenoid and tomatine contents in different typologies of fresh consumption tomatoes. *Journal of Agricultural and*

Food Chemistry, 48(10), 4723–4727. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11052724>

Lewinsohn, E., Sitrit, Y., Bar, E., Azulay, Y., Ibdah, M., Meir, A., ... Tadmor, Y. (2005). Not just colors - Carotenoid degradation as a link between pigmentation and aroma in tomato and watermelon fruit. *Trends in Food Science and Technology*, 16(9), 407–415. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.04.004>

Lewinsohn, E., Sitrit, Y., Bar, E., Azulay, Y., Meir, A., Zamir, D., & Tadmor, Y. (2005). Carotenoid pigmentation affects the volatile composition of tomato and watermelon fruits, as revealed by comparative genetic analyses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(8), 3142–3148. <https://doi.org/10.1021/jf047927t>

Liu, L. H., Zabaraz, D., Bennett, L. E., Aguas, P., & Woonton, B. W. (2009). Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chemistry*, 115(2), 495–500. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.042>

Lurie, S. (1998). Postharvest heat treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 14, 257–269. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00045-3](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00045-3)

Mathooko, F. M., Kubo, Y., Inaba, A., & Nakamura, R. (1995). Characterization of the regulation of ethylene biosynthesis in tomato

fruit by carbon dioxide and diazocyclopentadiene. *Postharvest Biology and Technology*, 5(3), 221–233. [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(94\)00029-R](https://doi.org/10.1016/0925-5214(94)00029-R)

Ministerio de Salud Pública, U. (2013). *2^a Encuesta Nacional de Factores de Riesgo de Enfermedades No Transmisibles*. Retrieved from <https://www.gub.uy/ministerio-salud-publica/comunicacion/publicaciones/2da-encuesta-nacional-de-factores-de-riesgo-de-enfermedades-no>

Modelo, M. (2012). *Observaciones, conclusiones y recomendaciones sobre el consumo de frutas y verduras en Montevideo*. Retrieved from <http://www4.mercadomodelo.net/documentos/Manual de Comercializacion/14-Tomate.pdf>

Nour, V., Ionica, M. E., & Trandafir, I. (2015). Bioactive compounds, antioxidant activity and color of hydroponic tomato fruits at different stages of ripening. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 43(2), 404–412. <https://doi.org/10.15835/nbha4321008>

Nunes, M. C. do N. (2008). *Color Atlas of Postharvest Quality*.

Park, M. H., Sangwanankul, P., & Baek, D. R. (2018). Changes in carotenoid and chlorophyll content of black tomatoes (*Lycopersicon esculentum* L.) during storage at various temperatures. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(1), 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.10.002>

- Park, M. H., Sangwanankul, P., & Choi, J. W. (2018). Reduced chilling injury and delayed fruit ripening in tomatoes with modified atmosphere and humidity packaging. *Scientia Horticulturae*, 231(December 2017), 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.021>
- Patanè, C., Malvuccio, A., Saita, A., Rizzarelli, P., Siracusa, L., Rizzo, V., & Muratore, G. (2019). Nutritional changes during storage in fresh-cut long storage tomato as affected by biocompostable polylactide and cellulose based packaging. *Lwt*, 101(May 2018), 618–624. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.069>
- Pék, Z., & Helyes, L. (2010). Color changes and antioxidant content of vine and postharvest-ripened tomato fruits. *Journals.Ashs.Org*. Retrieved from <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/45/3/article-p466.xml>
- Perkins-Veazie, P., Roberts, W., & Collins, J. K. (2007). Lycopene Content Among Organically Produced Tomatoes. *Journal of Vegetable Science*, 12(4), 93–106. https://doi.org/10.1300/J484v12n04_07
- Riggi, E., Patanè, C., & Ruberto, G. (2008). Content of carotenoids at different ripening stages in processing tomato in relation to soil water availability. *Australian Journal of Agricultural Research*, 59(4), 348. <https://doi.org/10.1071/AR07215>
- Robertson, G. L. (2006). *Food packaging : principles and practice*. Taylor

& Francis/CRC Press.

Ronen, G., Cohen, M., Zamir, D., & Hirschberg, J. (1999). Regulation of carotenoid biosynthesis during tomato fruit development: Expression of the gene for lycopene epsilon-cyclase is down-regulated during ripening and is elevated in the mutant Delta. *Plant Journal*, *17*(4), 341–351. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.1999.00381.x>

Sadler, G., Davis, J., & Dezman, D. (1990). Rapid Extraction of Lycopene and β -Carotene from Reconstituted Tomato Paste and Pink Grapefruit Homogenates. *Journal of Food Science*, *55*(5), 1460–1461. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb03958.x>

Sargent, S. A., & Moretti, C. L. (1991). *Tomato*. (1976).

Sargent, S. A., & Moretti, C. L. (2016). The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist & Nursery Stocks. In *Tomato Agricultural Handbook 66*.

Soto-Zamora, G., Yahia, E. M., Brecht, J. K., & Gardea, A. (2005). Effects of postharvest hot air treatments on the quality and antioxidant levels in tomato fruit. *LWT - Food Science and Technology*, *38*(6), 657–663. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.08.005>

Tadesse, T. N., & Abteu, W. G. (2016). Effect of hot water treatment on reduction of chilling injury and keeping quality in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits. *Journal of Stored Products and Postharvest Research*, *7*(7), 61–68. <https://doi.org/10.5897/JSPPR2015.0221>

- Thiagu, R., Chand, N., & Ramana, K. V. R. (1993). Evolution of mechanical characteristics of tomatoes of two varieties during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 62(2), 175–183. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740620211>
- Tilahun, S., Park, D. S., Taye, A. M., & Jeong, C. S. (2017). Effect of ripening conditions on the physicochemical and antioxidant properties of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Food Science and Biotechnology*, 26(2), 473–479. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0065-7>
- USDA. (2010). *Composition of Foods Raw, Processed, Prepared USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 23*. Retrieved from <http://www.ars.usda.gov/nutrientdata>
- USDA. (2011). *United States Department of Agriculture (USDA). Color charts*. Retrieved from <https://www.ams.usda.gov>
- Vallverdú-Queralt, A., Odriozola-Serrano, I., Oms-Oliu, G., Lamuela-Raventós, R. M., Elez-Martínez, P., & Martín-Belloso, O. (2013). Impact of high-intensity pulsed electric fields on carotenoids profile of tomato juice made of moderate-intensity pulsed electric field-treated tomatoes. *Food Chemistry*, 141(3), 3131–3138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.150>
- Yang, C. C., Brennan, P., Chinnan, M. S., & Shewfelt, R. L. (1987). Characterization of tomato ripening process as influenced by

individual seal-packaging and temperature. *Journal of Food Quality*, 10(1), 21–33. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.1987.tb00286.x>

Zechmeister, L., & Polgár, A. (1943). cis-trans Isomerization and Spectral Characteristics of Carotenoids and some Related Compounds. *Journal of the American Chemical Society*, 65(8), 1522–1528. <https://doi.org/10.1021/ja01248a025>

Capítulo 8. Anexos

8.1. Anexo A: Estudios preliminares con tomates perita (cv Santa Paula) en estado de madurez pink

Para definir las estrategias de trabajo se estudió en forma preliminar tomates cosechados en estado de madurez pink (cv. Santa Paula).

Estos tomates fueron recogidos en el Mercado Modelo en estado de madurez pink (USDA). En el laboratorio se lavaron, desinfectaron (100 ppm NaOCl) durante 5 minutos, se les realizó EAM. Unidades experimentales de 450-550 gramos se colocaron en envases flexibles de material PE y Polipropileno (PP). Se almacenaron a 20°C y 13°C hasta que desarrollaron color rojo de comercialización e inmediatamente fueron colocados a 7°C hasta el final de su vida útil. Tomates control fueron almacenados a 7°C y 13°C sin envoltorio. En la **Tabla 8.1** se muestran los tratamientos realizados y su nomenclatura. Durante el almacenamiento se analizaron periódicamente: atmósfera gaseosa dentro del envase, pérdida de peso, color instrumental (CieLab), textura instrumental, pH, sólidos solubles y sólidos totales.

Tabla 8.1: Nomenclatura de los tratamientos realizados a tomates (cv Santa Paula) en estado de madurez pink

Nomenclatura	Tratamiento	Temp. Almacenam. (°C) primario	Días a temperatura de almac. Primario	Días almacenamiento a 7°C
PE13	EAM	13	10	13
PE20	EAM	20	14	14
PP20	EAM	20	10	-
C13	-	13	7	16
C20	-	20	7	11

8.1.1. Vida útil

En la **Tabla 8.2** se detallan los resultados de VU para cada tratamiento.

Tabla 8.2: Días de VU alcanzada para todos los tratamientos de tomates (cv Santa Paula)

Tratamiento	VU(días)
PE13	23
PE20	28
PP20	10
C13	23
C20	23

Los tomates almacenados en PE a 13°C fueron cambiados a 7° C el día 10 y los almacenados en PE a 20°C a los 14 días. Los controles

fueron colocados a 7°C el día 7 de almacenamiento. Los tomates almacenados en PP a 20°C mostraron anaerobiosis el día 7 y sin detectarse cambios en el desarrollo de color rojo. Se removieron de los envases y colocaron en condiciones atmosféricas para constatar cambio de color, se descartaron el día 10 por crecimiento de hongos sin detectar cambios en el color.

8.1.2. Atmósfera interior

Los niveles de oxígeno en los tratamientos PE20 y PE13 fueron similares a lo largo de todo el almacenamiento (**Figura 8.1**). Se observa una disminución marcada hacia el día 7 y luego una estabilización en el valor de equilibrio de 14% para PE13 y 17,3% para PE20. Esto coincide con el comportamiento esperado para tomates EAM, con el transcurso de la vida útil y la maduración la tendencia es a estabilizarse en un valor de O₂ por debajo del nivel atmosférico.

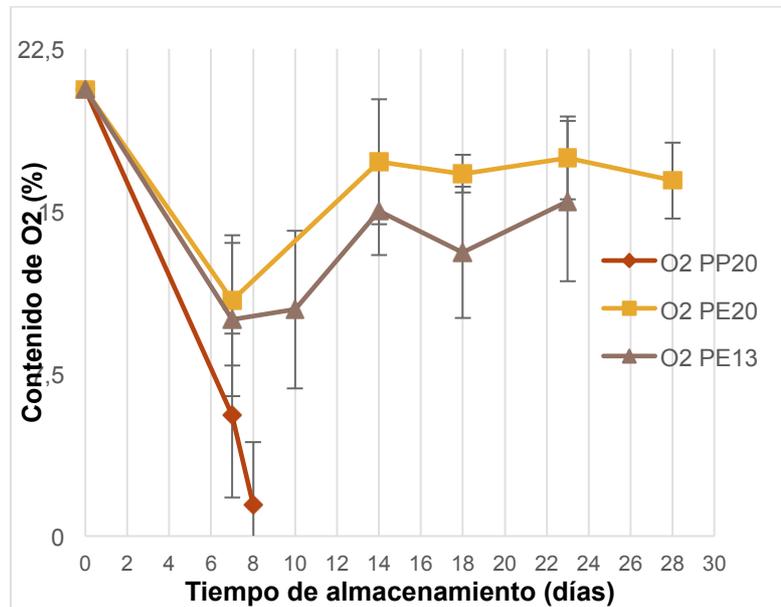


Figura 8.1: Evolución del contenido de O₂ dentro de los envases de tomates en estado de madurez pink (cv. Santa Paula). Las barras verticales representan desviación estándar (n=3).

Los tomates PP20 alcanzaron condiciones de anaerobiosis el día 8.

En relación al contenido de CO₂, los tratamientos PE20 y PE13 alcanzan el valor de equilibrio de 3,5% el día 4 y se mantienen en ese valor hasta el final de la VU (**Figura 8.2**). Tomates PP20 alcanzaron un valor de CO₂ de 12,8% el día 8, momento en el que fueron abiertos a condiciones atmosféricas.

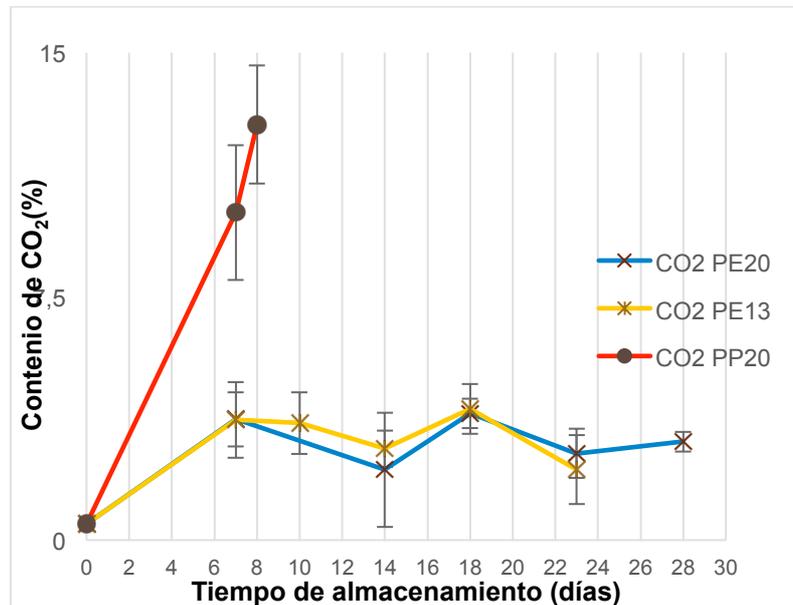


Figura 8.2: Evolución del contenido de CO₂ dentro de los envases de tomates en estado de madurez pink (cv. Santa Paula). Las barras verticales representan desviación estándar (n=3).

8.1.3. Color instrumental

8.1.3.1. Parámetro colorimétrico a*

Se observa un aumento en el parámetro a* para todos los tratamientos (excepto para PP20) en la primera semana de ensayo (**Figura 8.3**). Se observa además que el parámetro a* el día 7 es mayor para los C13 y C20, seguido por PE13 y PE20 y por último para PP20. Esto indica que la evolución fue mayor en los primeros 7 días para los tomates sin envasar, luego para los tomates envasados en envase más permeable y por último para los tomates envasados en envases de menor permeabilidad. Tomates PP20 no mostraron diferencias significativas en el parámetro a* entre el día 0 y el día 7 de tratamiento.

El día 10 de almacenamiento tomates PE13 alcanzaron el valor a^* de los controles y fueron colocados en cámara a 7°C con el objetivo de prologar su vida útil.

Hacia el final de la vida útil los tomates que consiguieron significativamente mayor valor de a^* ($p < 0,05$) fueron los C20 seguidos por el resto de los tratamientos entre los cuales no hubo diferencias significativas en el valor final de a^* ($p < 0,05$)

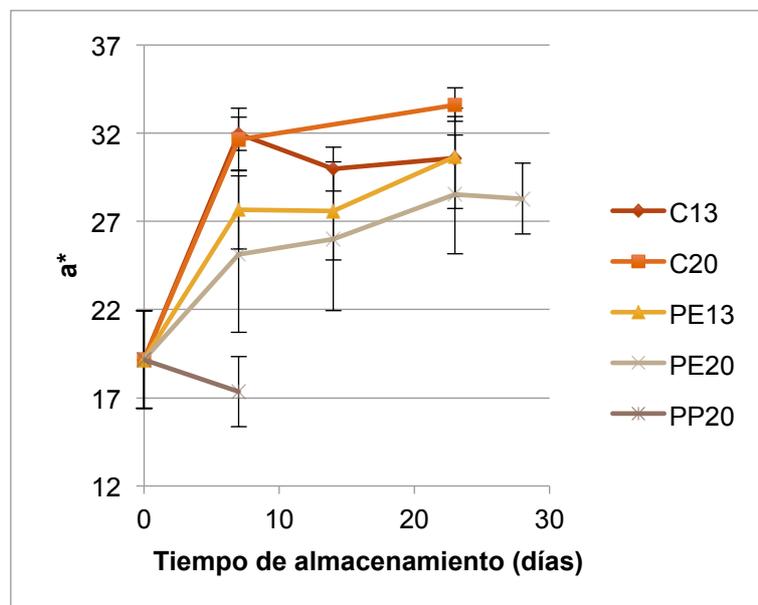


Figura 8.3: Evolución del parámetro colorimétrico a^* para tomates en estado de madurez pink (cv. Santa Paula) durante toda la VU. Las barras verticales representan desviación estándar ($n=3$).

8.1.3.2. Parámetro colorimétrico L^*

Tal como se esperaba, en todos los tratamientos se observa una disminución de L^* (**Figura 8.4**). En los controles, que no fueron envasados, se observa una disminución de L^* mucho más marcada en comparación con el resto de los tomates que fueron envasados. Se

observan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el valor de L^* final de C13 y C20 en relación al de PE13 y PE20, siendo estos últimos los tratamientos con menor pérdida de luminosidad.

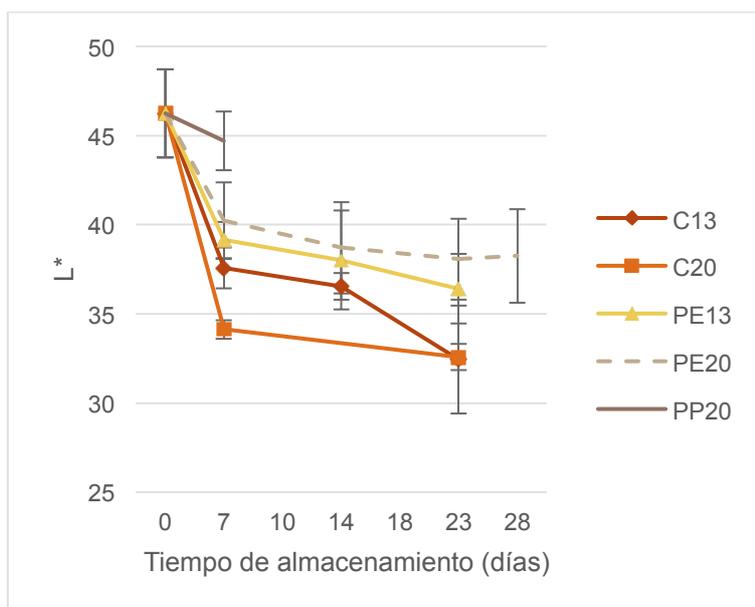


Figura 8.4: Evolución del parámetro colorimétrico L^* para tomates en estado de madurez pink (cv. Santa Paula) durante toda la VU. Las barras verticales representan desviación estándar ($n=3$).

8.1.3.3. Parámetro colorimétrico h

En términos del parámetro h al principio se observa la misma tendencia que con a^* , los tomates control muestran una evolución de color mayor al resto de los tomates debido a la disminución del parámetro h con el tiempo de almacenamiento (**Figura 8.5**). Al final de la VU los tomates control muestran mayor color rojo significativamente ($p < 0,05$) que los PE13 y PE20. Los tomates PP20 muestran una evolución del color inversa, se observa un aumento significativo ($p < 0,05$) en el valor de h que

se atribuye a una degradación del color rojo durante los primeros días de almacenamiento.

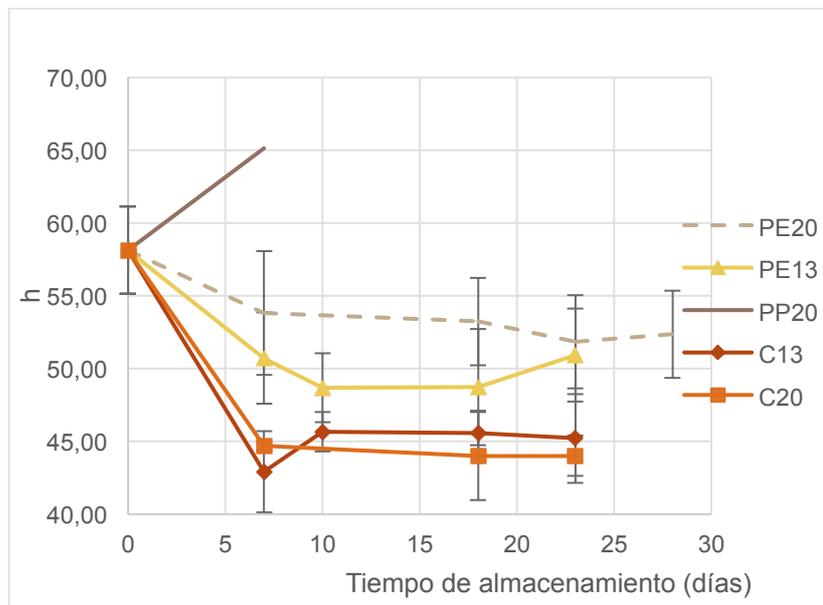


Figura 8.5: Evolución del parámetro colorimétrico h para tomates en estado de madurez pink (cv. Santa Paula) durante toda la VU. Las barras verticales representan desviación estándar (n=3).

8.1.4. Pérdida de Peso

Se constata pérdida de peso a lo largo de todo el almacenamiento para todos los tratamientos. Se obtuvieron PP de $(0,29 \pm 0,04)\%$ para PE13, $(0,29 \pm 0,05)\%$ para PE20 y $(0,31 \pm 0,01)\%$ todas menores 6,5% límite propuesto para finalizar VU y aptas para la comercialización. En el caso de los tomates control, tanto C13 como C20 superaron el 6,5% debido a que no fueron envasados.

8.1.5. Textura instrumental

Los valores de firmeza instrumental se muestran en la **Tabla 8.3**. Se puede observar que los tomates control son los que mostraron mayor pérdida de firmeza. Esto está vinculado a la falta de envase, la exposición a altas temperaturas y por tanto un aumento del metabolismo, PP, pérdida de firmeza, etc.

Los tratamientos PE13 y PE20 lograron conservar la firmeza inicial en los 23 y 28 días de almacenamiento respectivamente.

Tabla 8.3: Valores de firmeza instrumental inicial (día 0) y final (día 15) de tomates pink (cv Santa Paula). Letras minúsculas diferentes en la misma fila indican diferencias significativas y letras mayúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias significativas. Test de Tuckey ($p < 0,05$).

Tratamiento	Firmeza inicial (N)		Firmeza fin VU (N)		Fin VU (días)
C13	59,7	a A	20,9	b A	23
C20	59,7	a A	27,2	b	18
PE13	55,9	a A	58,2	a B	23
PE20	55,9	a A	42,2	a	28

8.1.6. pH, sólidos solubles y sólidos totales

No se observaron diferencias significativas en el valor de pH durante todo el almacenamiento ni entre tratamientos.

En relación a los sólidos solubles los tratamientos C13 y C20 mostraron un aumento significativo de $(4,0 \pm 0,1)$ inicialmente a $(4,4 \pm 0,1)$ al final de la VU. Tomates PE 13 y PE20 también mostraron un aumento significativo de $(4,0 \pm 0,1)$ inicialmente a $(4,5 \pm 0,1)$ y $(4,3 \pm 0,1)$ respectivamente al final de la VU.

En los sólidos totales no se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los valores iniciales y finales de cada tratamiento ni entre tratamientos.

8.1.7. Resumen de los resultados

El tratamiento EAM fue efectivo para conservar la firmeza inicial, reducir la PP y reducir la pérdida de luminosidad de tomates perita (cv Santa Paula).

En términos de color, los que mayor color rojo alcanzaron fueron los C13 y C20 que estuvieron sin envasar durante todo el ensayo. Entre los dos tratamientos no se observaron diferencias significativas entre h ni a^* por lo que se podría concluir que la evolución del color rojo está más condicionada por la concentración de O_2 que por la temperatura de almacenamiento.

Los tomates perita (cv Santa Paula) mostraron ser una variedad que consigue una VU prolongada aun cuando no se le aplica ningún tratamiento, como se observa en el caso de los tomates control a las dos temperaturas de trabajo ensayadas.

Los envases de PP resultaron muy poco permeables para conservar tomates en temperaturas de 20°C . Estos tomates en 7 días llegaron a condiciones de anaerobiosis sin cambios significativos en el color rojo. Cuando se expusieron a condiciones atmosféricas no se

consiguió revertir el efecto. Los tomates no pudieron desarrollar color rojo y el día 10 se constató presencia de hongos visibles en todas las unidades experimentales teniendo que terminar el ensayo para el tratamiento PP20.

Tomates perita (cv. Santa Paula) no resultaron de interés a los efectos de este trabajo debido a que los tratamientos que resultaron con mayor coloración roja y una VU de 23 días fueron los control (C13 y C20).

8.2. Anexo B

8.2.1. pH, sólidos solubles y sólidos totales de tomates turning

Tabla 8.2-1: Evolución de los parámetros fisicoquímicos pH, sólidos solubles y sólidos totales durante el almacenamiento para tomates cosechados turning y light red.

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre días de almacenamiento, letras mayúsculas diferentes indican diferencias entre tratamientos.

Test de Tuckey ($p < 0.05$)

Tratamiento	Día	°Brix	pH			ST(%)	
C	0	4,0	a,A	4,17	a,A	6,47	b,B
	7	4,2	a,A	4,23	a,A	6,12	ab,A
	17	3,8	a,A	4,33	b,A	5,81	a,AB
R	0	4,1	a,A	4,24	a,B	6,12	a,A
	21	4,3	a,A	4,28	a,A	6,12	a,B
T1	0	4,0	a,A	4,17	a,A	6,47	d,B
	7	4,1	a,A	4,22	a,b,A	5,80	bc,A
	13	4,2	a,A	4,28	b,c,A	5,96	c A
	17	3,9	a,A	4,29	b,c,A	5,72	abcAB
	21	3,8	a,A	4,29	b,c,A	5,43	abA
T1P	23	3,9	a,A	4,34	c	5,58	a
	0	4,0	a,A	4,17	a,A	6,47	c,B
	13	4,2	a,A	4,31	b,A	6,15	bcA
	17	3,8	a,A	4,32	b,A	5,41	aA
	27	4,0	a,A	4,37	c	5,79	ab
T2	0	4,0	a,A	4,17	a,A	6,47	b,B
	3	4,0	a,A	4,22	a,b,A	5,89	a,A
	7	4,1	a,A	4,21	a,A	5,91	a,A
	13	3,9	a,A	4,28	b,c,A	5,95	aA
T3	17	3,9	a,A	4,30	c,A	6,05	aB
	0	4,0	a,A	4,17	a,A	6,47	b,B
	3	4,2	a,A	4,18	a,A	6,04	a,A
	7	4,0	a,A	4,27	b,A	5,84	a,A
	13	4,0	a,A	4,32	b,c,A	5,91	aA
	17	4,1	a,A	4,37	c,A	5,74	aAB

8.2.2. Parámetros colorimétricos de tomates pink

Tabla 8.2-2: Evolución de los parámetros colorimétricos L* y a* durante el almacenamiento para tomates cosechados pink y red. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre días de almacenamiento, letras mayúsculas diferentes indican diferencias entre tratamientos. Test de Tuckey (p<0.05)

Tratamiento	Día	L*		a*	
Control	0	48,1	d,B	8,2	a,A
	3	44,4	c,A	18,0	b,A
	7	39,2	b,BC	26,5	c,C
	13	37,0	b,A	28,1	c,C
	17	33,4	a,A	29,1	c,D
	31	33,3	a	26,8	c
R1	0	36,9	ab,A	21,5	a,B
	7	36,4	a,A	23,4	a,BC
	17	38,6	b,BC	22,0	a,AB
	22	34,8	a,A	23,6	a,A
R2	0	36,9	a,A	21,5	a,B
	7	37,7	a,AB	23,7	ab,BC
	17	36,8	a,B	24,8	b,BC
T1	0	48,1	f,B	8,2	a,A
	7	44,7	e,D	11,8	a,A
	13	41,4	cd,B	17,1	b,A
	17	41,6	de,E	20,6	bc,A
	22	38,8	bcd,B	22,5	c,A
	26	38,1	bc,B	22,8	c,A
	30	37,9	b,B	23,9	cd,A
T1p(15)	35	34,5	a,A	27,6	d,A
	0	48,1	d,B	8,2	a,A
	7	41,4	c,C	20,9	b,B
	13	36,9	b,A	27,6	c,C
	22	34,2	a,A	28,0	c,B
T1p(7)	17	37,5	b,BC	25,5	a,C
	22	35,3	a,A	26,7	a,B
	26	35,3	a,A	28,0	a,B
	30	36,0	ab,A	26,3	a,B
T2(15)	0	48,1	d,B	8,2	a,A
	3	42,7	c,A	21,9	b,B
	7	40,9	bc,C	24,5	b,BC
	13	39,1	b,AB	25,5	b,BC
	17	39,8	b,CDE	23,1	a,ABC
	37	35,5	a	24,7	b

T2(7)	13	38,3	a,A	26,0	a,BC
	17	38,9	a,BCD	25,4	a,C
	22	38,1	a,B	26,1	a,B
T3(15)	0	48,1	c,B	8,2	a,A
	3	42,3	b,A	21,2	b,B
	7	40,4	b,C	23,0	bc,BC
	17	41,4	b,DE	21,0	b,A
	35	33,6	a,A	27,2	c,A
T3(7)	13	38,5	a,A	24,0	a,B
	17	38,1	a,BC	23,7	a,ABC
	22	37,7	a,B	23,1	a,A

8.2.3. pH, sólidos solubles y sólidos totales de tomates pink y

red

Tabla 8.2-3: Evolución de los parámetros fisicoquímicos pH, sólidos solubles y sólidos totales durante el almacenamiento para tomates cosechados pink y red. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre días de almacenamiento, letras mayúsculas diferentes indican diferencias entre tratamientos. Test de Tuckey ($p < 0.05$)

Tratamiento	Día	ss	st	pH			
C	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	7	4,1	a,A	6,23	a,A	3,99	ab,A
	31	3,9	a	6,23	a	4,13	b
R1	0	4,0	a,A	5,98	a,A	4,10	a,B
	7	3,9	a,A	5,95	a,A	4,14	a,AB
	22	4,1	a,AB	5,93	a,A	4,21	a,AB
R2	0	4,0	a,A	5,98	a,A	4,10	a,B
	7	4,3	a,A	5,94	a,A	4,31	b,B
	17	4,0	a	5,98	a,A	4,18	ab
T1	0	4,0	ab,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	7	4,2	b,A	6,07	a,A	4,24	b,B
	35	3,8	a,A	6,04	a,A	4,30	b,A
T1p(15)	0	4,1	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	7	4,1	a,A	6,02	a,A	4,23	b,B
	22	4,0	a,A	6,06	a,A	4,19	b,A
T1p(7)	0	4,0	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	7	4,0	a,A	6,02	a,A	4,23	b,B
	30	4,1	a	6,03	a,A	4,28	b,A
T2(15)	0	3,9	a,A	6,19	b,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,52	a,A	4,20	b,A
	7	4,1	a,A	5,47	a,A	4,22	b,B
T2(7)	0	4,1	a,A	6,19	b,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,52	a,A	4,20	b,A
	7	4,2	a,A	5,47	a,A	4,22	b,B
T2(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,1	a,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(15)	0	3,9	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	ab,A	5,80	a,A	4,13	b,A
	7	4,3	b,A	6,20	a,A	4,30	c,B
T3(7)	0	4,2	a,A	6,19	a,A	3,83	a,A
	3	4,1	a,A	5,80	a,A	4	

