

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS



**“EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS NO
CONTAMINANTES PARA MANTENER LA CALIDAD Y
EXTENDER LA VIDA POSCOSECHA DE PIMIENTOS
(*Capsicum annum* L.) FRESCOS CORTADOS”**

Luis Maria Rodoni

Director: Dr. Ariel R. Vicente

Co-director: Dra. Alicia R. Chaves

Año 2014

El presente trabajo de tesis para acceder al grado de Doctor de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata fue realizado por el Lic. Luis Maria Rodoni en el Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA) bajo la dirección del Dr. Ariel R. Vicente y codirección de la Dra. Alicia R. Chaves.

AGRADECIMIENTOS

Muy especialmente a mis padres.

A mis directores Ariel Vicente y Alicia Chaves por su colaboración, ayuda y paciencia en todo momento.

A Analía Concellón por su ayuda y a todos los amigos del grupo de vegetales, Joaquín, Facundo, Laura, Majo y Cristian por toda su ayuda y buena onda.

A todos mis compañeros de trabajo del CIDCA.

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por darme la posibilidad de realizar esta tesis.

A la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP por la formación que me brindó.

Por último todos los que me apoyaron durante estos años

¡Muchas gracias!

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
1. OBJETIVO E INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.2. PRODUCCIÓN HORTÍCOLA ARGENTINA	3
1.3. PRODUCTOS HORTÍCOLAS PROCESADOS	4
1.3.1. <i>Productos de I° GAMA</i>	4
1.3.2. <i>Productos de II° GAMA</i>	5
1.3.3. <i>Productos de III° GAMA</i>	5
1.3.4. <i>Productos IV° GAMA</i>	5
1.3.5. <i>Productos V° GAMA</i>	5
1.4. VEGETALES DE CUARTA GAMA, MÍNIMAMENTE PROCESADOS O FRESCOS CORTADOS	6
1.4.1. <i>Origen y evolución</i>	6
1.4.2. <i>Oferta de vegetales cuarta gama en la Argentina</i>	6
1.4.3. <i>Preparación de los productos mínimamente procesados</i>	8
1.5. FACTORES INVOLUCRADOS EN EL DETERIORO DE VEGETALES FRESCOS CORTADOS	12
1.6. TRATAMIENTOS PARA EXTENDER LA VIDA POSCOSECHA DE VEGETALES FRESCOS CORTADOS	13
1.6.1. <i>Tratamientos químicos</i>	14
1.6.2. <i>Tratamientos físicos</i>	18
1.7. SITUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS FÍSICOS EN EL MANEJO POSCOSECHA DE HORTALIZAS FRESCAS CORTADAS	20
1.8. PIMIENTO	21
1.8.1. <i>Generalidades y producción</i>	21
1.8.2. <i>Tipos</i>	23
1.8.3. <i>Atributos de calidad y comportamiento poscosecha de frutos de pimiento</i>	24
1.8.4. <i>Pimientos frescos cortados</i>	25
2. MATERIALES Y MÉTODOS	28
2.1. MATERIAL VEGETAL Y PROCESAMIENTO	29
2.2. OPTIMIZACIÓN DEL EMPLEO DE ATMÓSFERAS EN PIMIENTO FRESCO CORTADO	29

2.2.1. Selección de las presiones parciales óptimas de CO ₂ y O ₂ .	29
2.2.2. Efecto de los tratamientos seleccionados sobre la calidad poscosecha de pimiento verde y rojo refrigerado	30
2.3. EFECTO DE TRATAMIENTOS UV-C SOBRE LA CALIDAD DE PIMIENTO FRESCO CORTADO	31
2.3.1. Selección de la dosis y modo de realización de los tratamientos	31
2.3.2. Efecto del tratamiento UV-C seleccionado sobre la calidad poscosecha de pimiento verde y rojo refrigerado a 5 °C	32
2.4. USO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS PARA MANTENER LA CALIDAD DE PIMIENTO FRESCO CORTADO	32
2.4.1. Selección de las condiciones óptimas (tiempo y temperatura) de tratamiento	32
2.4.2. Efecto del tratamiento térmico seleccionado sobre la calidad poscosecha de pimiento verde y rojo refrigerado	33
2.5. COMPARACIÓN DE LA EFICACIA DE LOS TRATAMIENTOS DE ATMÓSFERA MODIFICADA, UV-C Y TÉRMICO	34
2.5.1. Selección de una película apropiada para el envasado en AM	34
2.5.2. Determinación del peso óptimo de producto para los envases de AM	34
2.5.3. Efecto de los diferentes tratamientos sobre la calidad poscosecha de pimiento cortado	35
2.6. DETERMINACIONES ANALÍTICAS	35
2.6.1. Podredumbre blanda, síntomas de deshidratación en la zona de corte y ataque de hongos	35
2.6.2. Pérdida de peso	36
2.6.3. Tasa respiratoria	36
2.6.4. Exudado	36
2.6.5. Fuga de electrolitos	37
2.6.6. Recuento de bacterias aerobias mesófilas, mohos y levaduras	37
2.6.7. Color superficial	37
2.6.8. Azúcares solubles en etanol	37
2.6.9. Acidez y pH	38
2.6.10. Capacidad antioxidante contra el radical ABTS ^{•+}	38
2.6.11. Capacidad antioxidante contra el radical DPPH [•]	38
2.6.12. Capacidad antioxidante por el método del fosfomolibdeno.	39
2.6.13. Compuestos fenólicos	39
2.6.14. Firmeza	39
2.6.15. Pectinas solubles en agua	40
2.6.16. Determinación del espesor de la película utilizada en AM	41
2.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	41
3. EFECTO DE LOS NIVELES DE CO₂ Y O₂ SOBRE LA CALIDAD DE PIMIENTO FRESCO CORTADO	43
3.1. INTRODUCCIÓN	44
3.1.1. Definición y antecedentes	44
3.1.2. Efectos de las atmósferas modificadas (AM) y controladas (AC) en vegetales.	46
3.1.3. Otras atmósferas	46
3.1.4. Aspectos tecnológicos del almacenamiento en AC	49

3.1.5. <i>Niveles óptimos de CO₂ y O₂</i>	50
3.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	53
3.2.1. <i>Objetivos</i>	53
3.2.2. <i>Hipótesis</i>	53
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
3.3.1. <i>Selección de las presiones parciales óptimas de O₂ y CO₂</i>	54
3.3.2. <i>Efecto de los tratamientos con las atmósferas seleccionadas sobre la calidad poscosecha de pimiento verde y rojo refrigerado</i>	57
3.4. CONCLUSIONES	69
4. EFECTO DE TRATAMIENTOS CON RADIACIÓN UV-C SOBRE LA CALIDAD DE PIMIENTO FRESCO CORTADO	72
4.1. INTRODUCCIÓN	73
4.1.1. <i>Radiación UV-C</i>	73
4.1.2. <i>Efecto de la radiación UV en los seres vivos</i>	75
4.1.3. <i>Uso de la radiación UV-C en alimentos</i>	76
4.1.4. <i>Modo de aplicación de la radiación UV-C</i>	76
4.1.5. <i>Efecto de la radiación UV-C en vegetales</i>	78
4.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	80
4.2.1. <i>Objetivos</i>	80
4.2.2. <i>Hipótesis</i>	80
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	81
4.3.1. <i>Selección de la dosis y modo de realización de los tratamientos</i>	81
4.3.2. <i>Efecto del tratamiento UV-C seleccionado sobre la calidad poscosecha de pimiento verde y rojo refrigerado a 5 °C</i>	83
4.4. CONCLUSIONES	96
5. EFECTO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE ALTA TEMPERATURA SOBRE LA CALIDAD DE PIMIENTO FRESCO CORTADO	99
5.1. INTRODUCCIÓN	100
5.1.1. <i>Tratamientos térmicos en vegetales frescos</i>	100
5.1.2. <i>Tipos de tratamientos térmicos</i>	100
5.1.3. <i>Medios de calefacción</i>	102
5.1.4. <i>Efectos de los tratamientos térmicos sobre diferentes procesos biológicos, en agentes fitopatógenos y en los vegetales</i>	104
5.1.5. <i>Uso de TT en productos frescos cortados</i>	107
5.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	108
5.2.1. <i>Objetivos</i>	108
5.2.2. <i>Hipótesis</i>	108
5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	109
5.3.1. <i>Selección de las condiciones óptimas (tiempo y temperatura) de tratamiento</i>	109
5.3.2. <i>Efecto del tratamiento térmico seleccionado sobre la calidad poscosecha de pimiento verde y rojo refrigerado</i>	111
5.4. CONCLUSIONES	124
6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICACIA DE LA ATMÓSFERA MODIFICADA, TRATAMIENTOS UV-C Y TÉRMICOS	126
6.1. INTRODUCCIÓN	127
6.1.1. <i>Fundamentación general</i>	127

6.1.2. Aspectos a considerar en el diseño de sistemas de envasado en atmósfera modificada	127
6.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	132
6.2.1. Objetivos	132
6.2.2. Hipótesis	132
6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	133
6.3.1. Atmósfera modificada en pimiento	133
6.3.2. Evaluación de la eficacia de tratamientos de AM, TT y UV en el control del deterioro de pimiento fresco cortado	135
6.4. CONCLUSIONES	140
7. CONCLUSIONES FINALES	141
8. REFERENCIAS	144

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

I. TABLAS

Tabla 1.1. Precios relativos de vegetales frescos cortados o a granel en Argentina. Se consideró como valor 100 a la rúcula a granel (Soleno Wilches, 2012).	8
Tabla 1.2. Aditivos empleados en productos frescos cortados.	17
Tabla 3.1. Niveles de CO ₂ y O ₂ óptimos para el almacenamiento de frutas y hortalizas enteras o frescas cortadas (Farber et al., 2003; Rodríguez-Félix et al., 2005; Sandhya, 2010).	51
Tabla 3.2. Luminosidad (L*), color (hue), azúcares, acidez, pH, capacidad antioxidante, fenoles totales y ácidos hidroxicinámicos en pimiento rojo fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO ₂ + 5,0 kPa O ₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Valores seguidos de distintas letras indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P < 0,05.	64
Tabla 3.3. Luminosidad (L*), color (hue), azúcares, acidez, pH, capacidad antioxidante, fenoles totales y ácidos hidroxicinámicos en pimiento verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO ₂ + 5,0 kPa O ₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Valores seguidos de distintas letras indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P < 0,05.	65
Tabla 4.1. Luminosidad (L*), color (hue), azúcares, acidez, pH, capacidad antioxidante contra los radicales DPPH [•] o ABTS ^{•+} en bastones control y tratados con UV-C [20,0 kJ m ⁻² (I/E)] de pimiento rojo almacenados a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Valores seguidos de distintas letras indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P < 0,05.	90
Tabla 4.2. Luminosidad (L*), color (hue), azúcares, acidez, pH, capacidad antioxidante contra los radicales DPPH [•] o ABTS ^{•+} en bastones control y tratados con UV-C [20,0 kJ m ⁻² (I/E)] de pimiento verde almacenados a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Valores seguidos de distintas letras indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P < 0,05.	91
Tabla 5.1. Tratamientos térmicos empleados en frutas y hortalizas frescas. (Fallik, 2004).	102
Tabla 5.2. Luminosidad (L*), color (hue), azúcares, acidez, pH, capacidad antioxidante contra los radicales DPPH [•] o ABTS ^{•+} en bastones rojos control y tratados (TT, 45 °C, 3 min.) almacenados a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Valores seguidos de distintas letras indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P < 0,05.	118

Tabla 5.3. Luminosidad (L^*), color (hue), azúcares, acidez, pH, capacidad antioxidante contra los radicales DPPH[·] o ABTS^{·+} en bastones verdes control y tratados (TT, 45 °C, 3 min.) almacenados a 5 °C por 0, 7, 12 y 19 d. Valores seguidos de distintas letras indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 119

Tabla 6.1. Permeabilidad de polímeros comúnmente empleados en el envasado de vegetales frescos cortados en AM (Kader, 2007a; Sandhya, 2010). 129

II. FIGURAS

Figura 1.1. Diferentes gamas en las que pueden comercializarse las hortalizas. A. Frescas, deshidratadas o fermentadas (I gama); B. en conserva (II gama), C. congeladas (III gama) D. frescas cortadas (IV gama); y E. pre-cocidas (V gama). 4

Figura 1.2. Esquema simplificado de las principales etapas de producción de vegetales frescos cortados (Artés y Allende, 2005). 10

Figura 1.3. Principales factores involucrados en el deterioro poscosecha de vegetales frescos cortados. 13

Figura 1.4. Tecnologías poscosecha para mantener la calidad de vegetales frescos cortados. 14

Figura 1.5. Esquema simplificado de la generación de HClO por disolución de cloro gaseoso o por disociación y posterior hidrólisis del hipoclorito de sodio. 14

Figura 1.6. Sanitizantes utilizados en la producción de vegetales frescos cortados. 15

Figura 1.7. Morfología del fruto de pimiento. 22

Figura 1.8. Frutos de pimiento de diferentes colores disponibles en el mercado. 23

Figura 1.9. Diferentes tipos de pimiento dulce: A) blocky, B) lamuyo, C) italiano. 24

Figura 3.1. A) Cámaras para el almacenamiento en atmósfera controlada. B) Sistema de atmósfera modificada activa en pallets de frutilla. C) Vegetales envasados en AM. 45

Figura 3.2. Posibles beneficios del empleo de AM y AC en frutas y hortalizas. 46

Figura 3.3. Índice de deterioro de bastones de pimiento rojo, almacenados con diferentes presiones parciales de CO₂ y O₂ (AC) a 5 °C por 7 y 10 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 56

- Figura 3.4.** Índice de deterioro de bastones de pimiento verde almacenados con diferentes presiones parciales de CO₂ y O₂, (AC) a 5 °C por 5 y 8 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05. 57
- Figura 3.5.** Pérdida de peso en pimiento A) rojo y B) verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05. 58
- Figura 3.6.** Podredumbre blanda en pimiento A) rojo y B) verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05. 59
- Figura 3.7.** Apariencia en pimiento verde y rojo fresco cortado almacenado por 12 d a 5 °C en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC). Las flechas celestes indican zonas de maceración y podredumbre blanda. 60
- Figura 3.8.** Tasa respiratoria en pimiento A) rojo y B) verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 1, 7 y 12 d. Las barras azules muestran la tasa respiratoria antes del almacenamiento. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05. 61
- Figura 3.9.** Fuga de electrolitos en pimiento A) rojo y B) verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05. 62
- Figura 3.10.** Exudado en pimiento A) rojo y B) verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05. 63
- Figura 3.11.** Recuento de bacterias aerobias mesófilas en pimiento A) rojo y B) verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05. 67
- Figura 3.12.** Recuento de mohos y levaduras en pimiento A) rojo y B) verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05. 67
- Figura 3.13.** Resistencia a la flexión en pimiento A) rojo y B) verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05. 68

- Figura 3.14.** Firmeza en pimiento A) rojo y B) verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05. 69
- Figura 4.1.** Espectro electromagnético en donde puede verse ampliada la región UV (Maverakis et al., 2010). 73
- Figura 4.2.** A) Emisión relativa de una lámpara de mercurio a baja presión, en donde puede observarse el máximo a 253,7 nm (Crystec, 2013); B) lámpara UV-C encendida. 74
- Figura 4.3.** Equipos para la realización de tratamientos UV-C. A) Malla transparente, B) túnel de tratamiento, C) cinta transportadora, D) tambores rotatorios. 77
- Figura 4.4.** Índice de deterioro de bastones de pimiento rojo, tratados con diferentes dosis de radiación UV-C (0; 3,0; 10,0 y 20,0 kJ m⁻²) y en distintas caras (interior, I; exterior, E; o ambas, I/E) y almacenados a 10 °C por 5 y 8 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05. 81
- Figura 4.5.** Índice de deterioro de bastones de pimiento verde, tratados con diferentes dosis de radiación UV-C (0; 3,0; 10,0 y 20,0 kJ m⁻²) y en distintas caras (interior, I; exterior, E; o ambas, I/E) y almacenados a 10 °C por 5 y 8 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05. 82
- Figura 4.6.** Síntomas de deshidratación superficial en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [20,0 kJ m⁻² (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05. 84
- Figura 4.7.** Pérdida de peso en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [20,0 kJ m⁻² (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05. 84
- Figura 4.8.** Podredumbre blanda en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [20,0 kJ m⁻² (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05. 85
- Figura 4.9.** Incidencia de hongos en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [20,0 kJ m⁻² (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05. 86

- Figura 4.10.** Apariencia de bastones de pimiento control y tratados con una dosis de $20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ de radiación UV-C en la zona externa e interna (I/E) y almacenados a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 12 d. Las flechas celestes indican zonas de maceración y deshidratación. 86
- Figura 4.11.** Tasa respiratoria en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [$20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 87
- Figura 4.12.** Fuga de electrolitos en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [$20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 88
- Figura 4.13.** Exudado en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [$20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 89
- Figura 4.14.** Recuento de bacterias aerobias mesófilas en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [$20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 92
- Figura 4.15.** Recuento de mohos y levaduras en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [$20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 93
- Figura 4.16.** Resistencia a la flexión en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [$20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 95
- Figura 4.17.** Firmeza en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [$20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 95
- Figura 4.18.** Pectinas solubles en agua en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [$20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 96

- Figura 5.1.** Esquema de una línea de tratamientos térmicos de alta temperatura (TT) por aspersion. (1) cinta transportadora; (2) aspersor de agua fría; (3) aspersor de agua caliente; (4) contenedor de agua caliente; (5) bomba para recircular el agua que es reciclada; (6) secador por aire forzado (Fallik, 2004). 103
- Figura 5.2.** Índice de deterioro de bastones de pimienta roja, control o sometidos a diferentes condiciones de tratamiento térmico de alta temperatura por inmersión en agua y almacenados a 5 °C por 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 110
- Figura 5.3.** Índice de deterioro de bastones de pimienta verde, control o sometidos a diferentes condiciones de tratamiento térmico de alta temperatura por inmersión en agua y almacenados a 5 °C por 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 110
- Figura 5.4.** Síntomas de deshidratación superficial en pimienta fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 112
- Figura 5.5.** Pérdida de peso en pimienta fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 113
- Figura 5.6.** Podredumbre blanda en pimienta fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 113
- Figura 5.7.** Apariencia de pimienta fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en ambos estados de madurez y almacenado a 5 °C 12 d. Las flechas celestes indican zonas de daño y deshidratación. 114
- Figura 5.8.** Tasa respiratoria en pimienta fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7, 12 y 19 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 115
- Figura 5.9.** Fuga de electrolitos en pimienta fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7, 12 y 19 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 116

- Figura 5.10.** Exudado en pimiento fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7, 12 y 19 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 116
- Figura 5.11.** Recuento de bacterias aerobias mesófilas en pimiento fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 120
- Figura 5.12.** Recuento de mohos y levaduras en pimiento fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 121
- Figura 5.13.** Resistencia a la flexión en pimiento fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7, 12 y 19 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 122
- Figura 5.14.** Firmeza en pimiento fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7, 12 y 19 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 123
- Figura 5.15.** Pectinas solubles en pimiento fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7, 12 y 19 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 123
- Figura 6.1.** Esquema del intercambio que se establece entre el medio externo y los productos frutihortícolas en sistemas de AM. 128
- Figura 6.2.** Envases de AM pasiva diseñados para el almacenamiento de pimientos rojos y verdes frescos cortados. 133
- Figura 6.3.** Evolución del A) O_2 y B) CO_2 dentro de los envases durante el almacenamiento a 5 °C de pimiento rojo y verde fresco cortado durante 12 d. Se muestran las barras de error estándar ($n=x$). 134
- Figura 6.4.** Índice de deterioro de bastones de pimiento verde, almacenados en AM, tratados con radiación UV-C ($20,0 \text{ kJ m}^{-2}$) o tratados térmicamente (TT, 45 °C, 3 min.) y almacenados a 5 °C por 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 135

Figura 6.5. Índice de deterioro de bastones de pimiento rojo, almacenados en AM, tratados con radiación UV-C ($20,0 \text{ kJ m}^{-2}$) o tratados térmicamente (TT, $45 \text{ }^\circ\text{C}$, 3 min.) y almacenados a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 136

Figura 6.6. Podredumbre blanda en pimiento rojo y verde fresco cortado almacenado en AM, tratado con radiación UV-C ($20,0 \text{ kJ m}^{-2}$) o tratado térmicamente (TT, $45 \text{ }^\circ\text{C}$, 3 min.) y almacenado a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 7 o 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 137

Figura 6.7. Apariencia en pimiento verde y rojo fresco cortado almacenado en AM, tratado con radiación UV-C ($20,0 \text{ kJ m}^{-2}$) o tratado térmicamente (TT, $45 \text{ }^\circ\text{C}$, 3 min.) y almacenado a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 12 d. Las flechas azules indican zonas de podredumbre blanda o maceración. 138

Figura 6.8. Tasa respiratoria en pimiento rojo (A) y verde (B) fresco cortado almacenado en AM, tratado con radiación UV-C ($20,0 \text{ kJ m}^{-2}$) o tratado térmicamente (TT, $45 \text{ }^\circ\text{C}$, 3 min.) y almacenado a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 7 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$. 139

Resumen

En los últimos años se ha incrementado a nivel mundial la demanda de vegetales IV gama o frescos cortados. Estos productos presentan mayor conveniencia de uso, menor tiempo de preparación y más bajo descarte a nivel doméstico que las hortalizas enteras. De todos modos, dado que el procesamiento mínimo reduce en forma marcada la vida útil de los productos, en muchos casos es necesario emplear tecnologías suplementarias a la refrigeración para reducir su rápido deterioro. En las últimas dos décadas, y ante la demanda de productos más sanos y seguros por parte de los consumidores, varios grupos de investigación se han orientado hacia la búsqueda de metodologías de conservación que no dejen residuos y que sean más amigables con el ambiente. Esto ha llevado a evaluar con mayor interés a los métodos físicos de conservación tales como las atmósferas controladas (AC) y modificadas (AM), los tratamientos con radiación UV-C (UV) y los tratamientos térmicos de alta temperatura (TT). Si bien estos métodos se conocen desde hace tiempo, su difusión en el manejo de muchos productos frescos es aún limitada. Llamativamente, en varias hortalizas aún no se han establecido las condiciones más apropiadas para su implementación. Esto resulta indispensable puesto que las mismas pueden diferir marcadamente dependiendo del producto considerado y eventualmente de su estado de madurez. En este trabajo se estudió la influencia de la composición de la atmósfera de almacenamiento (O_2 y CO_2), de las condiciones de realización de TT (tiempo y temperatura) y de tratamientos UV (dosis y superficie expuesta) sobre la calidad organoléptica, microbiológica y nutricional de pimientos frescos cortados. A fin de determinar la dependencia del estado de madurez sobre la efectividad sobre los procedimientos de conservación mencionados, se analizaron tanto frutos verdes como rojos. En ambos estados de desarrollo, el almacenamiento en AC con presiones de 5,0 kPa de CO_2 y 5,0-10,0 kPa de O_2 fue una de las condiciones más favorables. Para los TT el mayor efecto se obtuvo por inmersión en agua a 45 °C durante 3 minutos. La irradiación UV-C con una dosis de 20 kJ m⁻² dividida en la zona externa e interna de los bastones resultó en los mayores beneficios en términos de mantenimiento de la calidad tanto en pimientos rojos como verdes. Las AC, los TT y tratamientos UV en las condiciones seleccionadas redujeron el ablandamiento, la deshidratación, la incidencia de podredumbre blanda, el exudado y la fuga de electrolitos. Asimismo el incremento en la tasa respiratoria registrado en los bastones control durante el almacenamiento fue retrasado por los tratamientos. Los pimientos tratados presentaron menores recuentos de bacterias aerobias mesófilas, mohos y levaduras, no mostrando cambios indeseables en la capacidad antioxidante, el color, contenido de azúcares, pH y acidez. A fin de comparar la eficacia de las diferentes estrategias de conservación se realizó un último grupo de ensayos en el que se almacenaron simultáneamente bastones de pimiento (verdes y rojos) control y sometidos a TT, UV o en AM (5,0 kPa CO_2 y 10,0 kPa O_2 en el equilibrio). Si bien los tres métodos fueron beneficiosos para mantener la calidad, en frutos rojos los mejores resultados se encontraron con los TT y UV-C. En pimiento verde todos los tratamientos fueron igualmente eficaces. En síntesis el presente trabajo de tesis permitió optimizar tres tipos de tratamientos no químicos que podrían ser empleados como suplementos a la refrigeración en pimientos verdes y rojos frescos cortados. Esta información podría resultar de interés para la industria en el desarrollo de estrategias no-químicas para el manejo poscosecha de productos de IV gama.

Palabras clave: hortalizas, atmósferas modificadas, tratamientos térmicos, radiación ultravioleta.

Abstract

In the last years there has been an increasing global demand for fresh-cut fruits and vegetables. These products show higher use convenience, lower domestic wastage and preparation time than whole commodities. However, since minimally processing increases produce perishability, supplemental technologies to cold storage may be needed for keeping quality. In the last two decades, and given the raising consumer demands for healthier and safer foods, several research groups have focused in the search of non-contaminant, environmentally friendly postharvest technologies. Consequently, interest in non-chemical treatments such as controlled (CA) and modified atmospheres (MA), UV-C irradiation (UV) and mild heat treatments (TT) has risen. Although these methods have been known for a long time, their use in postharvest management of fresh produce is still limited. Strikingly, in a number of vegetables the optimal treatment conditions have not been established yet. This is mandatory since the appropriate time, temperature and exposure conditions may markedly differ depending on the product considered and eventually on its ripening stage. In this work we determined the influence of storage atmosphere modification (O₂ and CO₂ levels), heat treatments (TT) conditions (time and temperature) and of UV-C irradiation (dose and exposed surface) on the organoleptic, microbiological and nutritional quality of fresh-cut sweet peppers. In order to assess the role of fruit maturity stage on the efficacy of the treatments, both green and red peppers were evaluated. Storage under 5.0 kPa CO₂ and 5.0 kPa O₂ and water dips at 45 °C for 3 minutes performed best among CA and TT respectively in both green and red peppers. UV-C exposure with a dose of 20.0 kJ m⁻² fractionated in the inner and outer side showed most benefits in terms of quality maintenance, regardless of the ripening stage. Selected CA, TT and UV treatments (5.0 kPa CO₂ and 10.0 kPa O₂) reduced softening, dehydration, soft rots, juice exudate and electrolyte leakage. The treatments delayed the increase in fruit respiration rate recorded in control fruit during storage. In order to compare the efficacy of the different physical methods we performed another set of experiments in which we stored fresh-cut green and red peppers simultaneously in air (control), after heat or UV-C treatment or under MA (5.0 kPa CO₂ y 10.0 kPa O₂ at steady state) stored at 5 °C. Although it was confirmed that all three methods were beneficial to prevent pepper sticks deterioration, the best results in red peppers were found with TT and UV. In green fruit the three treatments were equally efficient. Overall, in this work we optimized three non-chemical postharvest treatments, which could be used to supplement refrigeration in fresh-cut green and red peppers. This information could be useful for the fresh-cut industry in the development of environmentally friendly techniques for postharvest management of fresh-cut vegetables.

Keywords: vegetables, modified atmosphere, heat treatments, ultraviolet radiation.

1. OBJETIVO E INTRODUCCIÓN GENERAL



1.1 OBJETIVO GENERAL:

-Evaluar la potencialidad de tratamientos físicos de poscosecha suplementarios a la refrigeración (atmósferas controladas, atmósferas modificadas, tratamientos con radiación UV-C y térmicos de alta temperatura), como estrategias no contaminantes y seguras para mantener la calidad organoléptica, microbiológica y nutricional de pimiento fresco cortado en diferentes estados de madurez.

1.2. PRODUCCIÓN HORTÍCOLA ARGENTINA

La horticultura Argentina es una actividad de gran relevancia como productora de alimentos indispensables en la dieta (8-10 millones de toneladas anuales en unas 500.000 Ha) (**Fernández Lozano, 2012**), como generadora de empleo (al menos 10 millones de salarios diarios por año) (**INDEC, 2008**) y como motor de algunas economías regionales. En términos de volumen de producción se destacan la papa, tomate, cebolla, vegetales de hoja y el ajo que junto con la batata, zapallo y la zanahoria representan el 65% del total (**Castagnino et al., 2011**). La producción se destina mayoritariamente al mercado interno (93%), aunque la exportación es importante en algunos productos como la cebolla y el ajo (en 2012 las exportaciones ascendieron a 706 millones de dólares). Las provincias que más se destacan en la producción hortícola son Buenos Aires, Córdoba, Mendoza, Salta, Santiago del Estero, Jujuy, Santa Fe y Corrientes (**INDEC, 2008**).

Con relación a las formas de organización de la producción hortícola, pueden distinguirse tres modalidades. Las producciones extensivas, de vegetales destinados a la industria y horticultura intensiva (ya sea a campo o bajo cobertura). Las producciones extensivas incluyen comúnmente unidades de mediana y gran superficie (20-300 Ha) con mecanización parcial o completa. Algunas hortalizas características de este tipo de unidades son el poroto en el noroeste, la arveja y la lenteja en el sur de Santa Fe y norte de Bs. As., la mandioca en Misiones, la papa en el sudeste de Buenos Aires y el Zapallo en Santiago del Estero. Las zonas de producción industrial necesitan proveer a tiempo a la industria con el volumen y calidad requeridos. La producción en muchos casos presenta cierta mecanización y la venta puede asegurarse mediante contratos. Ejemplos de esta modalidad se observan en parte de la producción de arveja y maíz dulce en Bs. As., de frutilla en Tucumán, de tomate perita en Mendoza, San Juan y Río Negro, de pimiento picante en los Valles Calchaquíos y de la papa en Bs.As. La horticultura más intensiva se asocia en muchos casos con los llamados cinturones productivos que circundan a los principales centros urbanos del país. Estas unidades están posicionadas en torno a las grandes urbes y tienen como ventaja competitiva la cercanía al mercado consumidor (**Fernández Lozano, 2012**). Están caracterizadas por ser parcelas pequeñas o medianas en las que predomina la

organización familiar del trabajo. En general, abarcan diferentes tipos de cultivos y predomina el trabajo manual, ya sea a campo o en invernadero. En este último caso la intensificación se incrementa propendiendo a aumentar el rendimiento y la calidad de los productos. Dentro de las hortalizas bajo cobertura se destaca la lechuga mantecosa, el tomate y el pimiento (*Castagnino et al., 2011*).

1.3. PRODUCTOS HORTÍCOLAS PROCESADOS

Si bien las hortalizas se comercializan en nuestro país principalmente en estado fresco o *in natura*, existe un marcado interés en avanzar en las diferentes formas de procesamiento como estrategia de generación de valor de la producción primaria (*PEA, 2010*). Las variantes de productos hortícolas procesados disponibles en el mercado son numerosas y suelen clasificarse en cinco grupos o gamas (*Figura 2.1*),



Figura 1.1. Diferentes gamas en las que pueden comercializarse las hortalizas. A. Frescas, deshidratadas o fermentadas (I gama); B. en conserva (II gama), C. congeladas (III gama) D. frescas cortadas (IV gama); y E. pre-cocidas (V gama).

1.3.1. Productos de I° GAMA

Además de las hortalizas frescas incluye a los productos deshidratados o fermentados, es decir sometidos a los métodos más antiguos de conservación empleados por el hombre con el objetivo de diferir el consumo (*Peña y Aperte, 2013*).

1.3.2. Productos de II° GAMA

Dentro de este grupo se encuentran los vegetales en conserva que han sido sometidos a un tratamiento térmico de esterilización industrial para su conservación. Las conservas de frutas y hortalizas tomaron auge ya a partir del siglo XIX con los estudios de Pasteur y Appert, quienes demostraron que el calor podía ser de utilidad para el control de microorganismos responsables del deterioro y a su vez reducir significativamente la velocidad de ciertas reacciones químicas involucradas en la descomposición de los alimentos. En nuestro país se destaca la industrialización de choclo, tomate perita y arveja (**Franco, 2012**).

1.3.3. Productos de III° GAMA

Este segmento se compone de los productos congelados. Los procesos de congelación de alimentos florecieron en el siglo XX con el desarrollo de los sistemas mecánicos de refrigeración y en forma más pronunciada a partir de fines de la década del `70, cuando comenzaron a difundirse congeladores de uso doméstico. Las especies más comúnmente congeladas en nuestro país son la acelga, la espinaca, la arveja, el brócoli, la chaucha y el choclo (**Franco, 2013**).

1.3.4. Productos IV° GAMA

También conocidos como productos mínimamente procesados, pre-cortados, frescos cortados. Incluyen a aquellos vegetales que han sufrido procesos de transformación moderados (ej. selección, lavado, limpieza, lavado seguido de pelado, cortado, rallado y envasado). Estos productos mantienen una apariencia similar a los vegetales frescos y puesto que conservan su actividad metabólica deben almacenarse en forma refrigerada.

1.3.5. Productos V° GAMA: Hortalizas pre-cocidas

En este grupo se incluyen a los vegetales pre-cocidos y listos para consumir como por ejemplo las salsas ya formuladas y vegetales hervidos en bandejas.

1.4. VEGETALES DE CUARTA GAMA, MÍNIMAMENTE PROCESADOS O FRESCOS

CORTADOS

1.4.1. Origen y evolución

A diferencia de lo que ocurre con otros vegetales procesados en los que se busca la estabilización del alimento, en los vegetales frescos cortados (VFC) se tiende a un producto con apariencia fresca y que satisfaga ciertas necesidades derivadas de cambios recientes en ciertos hábitos de consumo. Estas incluyen la reducción del tiempo de preparación y del volumen de descarte y la mayor simplicidad de uso. Además de poder presentarle al consumidor una gran variedad de opciones en un simple envase en algunos productos de gran tamaño el procesamiento permite ofrecer al consumidor porciones apropiadas a sus necesidades (*James y Ngarmsak, 2011*).

Los VFC son mucho más recientes que los productos de I°, II° y III° gama. De hecho la oferta era muy pequeña unas dos décadas atrás. Fueron introducidos en Europa en la década del 80'. Diez años después se popularizaron en Estados Unidos donde se expandieron en forma notable. Sólo en este país entre los años 1999 y el 2007 el comercio de VFC se incrementó de 3.000 a 15.000 millones de dólares anuales (*James y Ngarmsak, 2011*). En países en vías de desarrollo el mercado todavía no es tan amplio, aunque se estima que en los grandes centros urbanos puede continuar expandiéndose (*Arienzo et al, 2013*). Dentro de los VFC los más comercializados son la espinaca, lechuga, acelga, albahaca, rúcula, radicheta, zanahoria rallada, provenzal, zapallo cortado en rodajas ensaladas y otras preparaciones mixtas. Generalmente se presentan en fracciones de 200 a 500 gramos.

1.4.2. Oferta de vegetales cuarta gama en la Argentina

El consumo total de vegetales en nuestro país es bajo (130 g/día) en comparación a las recomendaciones de consumo diario de la Organización Mundial de la Salud (400 g/día) (*WHO/FAO, 2004*). Dentro de este porcentaje, la participación de productos frescos a granel es todavía mayoritaria.

El mercado potencial para este tipo de productos se encuentra ubicado en los grandes centros de consumo y dentro de los mismos se focaliza en el público con mayor poder adquisitivo, cuyo ritmo de vida y costumbres se adaptan cada vez más al

perfil del consumidor de este tipo de productos. Con una población de 13,5 millones de habitantes, el conglomerado de la ciudad de Buenos Aires es el principal mercado de productos vegetales pre-cortados (**Soleno Wilches, 2012**).

A pesar del alto mercado potencial la industria de VFC en Argentina es aún incipiente respecto a otros países del mundo. La mayoría de las empresas del ramo se caracterizan por tener procesos de elaboración artesanales o con tecnologías relativamente simples.

Los productores primarios que abastecen a la industria de procesamiento mínimo pueden ser familiares o empresariales (**Castagnino et al., 2011**). El productor familiar posee relativamente limitados recursos financieros, menor experiencia en la gestión empresarial y escasa participación en la cadena del valor agregado (**Fernández Lozano, 2012**). Contrariamente el productor con perfil empresarial posee mayor disponibilidad de capital lo que facilita su acceso a puestos propios en los mercados concentradores y en ciertos casos su incorporación en proyectos de industrialización de la producción primaria.

Si bien algunas empresas productoras de VFC poseen producción agrícola propia otras adquieren la materia prima a través de contratos con productores y/o compras en el mercado (**Viteri, 2006**). En ciertos casos se opta por situaciones intermedias de aprovisionamiento (mixtas) que permiten que las firmas diversifiquen el riesgo productivo (**Fernández Lozano, 2012**). En tales casos los mayores esfuerzos productivos se centran en aquellos productos que mayor valor agregan. Además de sus actividades específicas, las firmas desarrollan las marcas asociadas y organizan la red de distribución hacia los clientes (**Soleno Wilches, 2012**). Algunas de las marcas de VFC más conocidas son Finca Pilar (FP), Buy & Eat (B&E), Sueño Verde (SV) y De la Huerta.

La industria de VFC a través de diferentes acuerdos abastece a supermercados, restaurantes, hoteles o catering. En los supermercados se comercializa cerca del 60% de las hortalizas frescas pre-cortadas de la ciudad de Buenos Aires. Este sector posee algunas ventajas en el sentido del mayor acceso al consumidor final dada la comodidad y la posibilidad que brinda al cliente de tener una amplia gama de productos en un solo lugar y la rápida adaptabilidad para competir con las tiendas minoristas o verdulerías. El canal HORECA de los hoteles (HO), restaurantes (RE) y catering (CA) es considerado de gran importancia para establecer una diversificación del riesgo

comercial asociado, ya que permite su colocación en el mercado a precios diferenciales. En promedio un 35% de las ventas de hortalizas frescas pre-cortadas es comercializada a través de este canal (**Viteri, 2006**). Los precios dependen de la marca y el vegetal considerado, pero los productos procesados son de 3 a 10 veces más caros que los vendidos a granel (**Tabla 1.1**).

Tabla 1.1. Precios relativos de vegetales frescos cortados o a granel en Argentina. Se consideró como valor 100 a la rúcula a granel (**Soleno Wilches, 2012**).

Producto	Fresco cortado	A granel
Rúcula (SV)	967	100
Espinaca (B&E)	410	118
Espinaca (SV)	410	118
Lechuga (B&E)	414	105
Lechuga (SV)	363	105
Lechuga (FP)	435	105
Acelga (B&E)	215	51

1.4.3. Preparación de los productos mínimamente procesados

La producción de VFC puede ser dividida en una serie de etapas que van desde la recepción de la materia prima hasta el envasado y despacho de la mercadería.

a) Cosecha y selección: La calidad del producto procesado está en buena parte determinada por la calidad de la materia prima empleada. En este sentido, es muy importante que los vegetales se cosechen con una madurez óptima, que no necesariamente debe coincidir con la del producto fresco. En general para VFC la madurez de cosecha coincide con la madurez organoléptica. Si se utilizan productos sobremaduros aumenta la susceptibilidad al deterioro por agentes fitopatógenos (**James y Ngarmsak, 2011**). El anticipo de la cosecha como estrategia para maximizar la vida poscosecha suele redundar en VFC en una menor calidad organoléptica debido a que el tiempo de almacenamiento de estos productos es muy corto impidiendo una evolución marcada de la maduración. La población microbiana debe ser reducida lo

más posible antes del almacenamiento, sin embargo las herramientas de desinfección no deben dañar la apariencia o frescura del producto, lo que es de por sí una gran limitación para la industria (*Barry-Ryan et al., 2007; Gómez-López et al., 2009*). Las variedades óptimas para el mercado en fresco no necesariamente coinciden con las que presenten mejores propiedades para el procesamiento mínimo.

b) Recepción del producto: La materia prima que entra a la planta debe ser controlada y descartarse aquellos productos que presenten cualquier tipo de daños ya sean mecánicos, daño por frío, podredumbres o insectos, así como también los vegetales que lleguen con una excesiva temperatura (*Corbo et al., 2010; James y Ngarmsak, 2011*). También deben controlarse cuando corresponda el peso, madurez, calibre, aspecto y sabor. Los lotes aceptados deben ser fechados para asegurar que el primer lote en entrar sea el primer lote en salir y así asegurar la rápida circulación de la mercadería. Frecuentemente, la materia prima puede llegar a temperaturas elevadas por lo que, en caso de no procesarse inmediatamente, debe refrigerarse hasta su entrada en la línea para minimizar el deterioro.

c) Pre-lavado y pre-enfriado: Los vegetales generalmente llegan a la planta de procesado con restos de tierra y polvo. Por lo tanto resulta indispensable una operación de limpieza. Los productos se suelen lavar con agua clorada fresca para ir reduciendo la carga microbiana y la temperatura. El lavado por aspersion es preferible al lavado por inmersión, ya que de esta manera se evita la contaminación cruzada. Luego del lavado también puede realizarse una clasificación del material ya sea por forma, color o tamaño según el producto considerado. En esta etapa también pueden eliminarse algunos residuos de pesticidas y esporas de microorganismos. El control periódico del agua de lavado en las etapas del proceso es sumamente importante para evitar que las zonas de descarga se conviertan en fuentes de contaminación (*INTI, 2013*).

d) Pelado: Algunos vegetales y la mayoría de las frutas deben ser pelados antes del corte o rallado. El mismo puede realizarse manualmente por operarios o en forma mecánica. Las máquinas utilizadas constan de rodillos con superficies abrasivas que

remueven la cáscara, pero este tipo de pelado puede dañar el vegetal. En otros casos depende del tipo de procesamiento a realizar. Por ejemplo en pimiento el pelado puede realizarse para productos en conserva, pero no si los frutos son destinados a la IV gama.

e) Reducción de tamaño: Las zonas no deseadas del vegetal como semillas, pedúnculo o raíces deben ser retiradas antes del corte definitivo. Resulta muy importante controlar que las cuchillas estén afiladas ya que de otro modo pueden dañar el producto y reducir la vida útil del mismo (**James y Ngarmsak, 2011**). Se recomienda la separación física entre la “zona sucia” donde se realiza el proceso de selección, pelado y cortado, de la “zona limpia” de picado y lavado, centrifugado, secado y embalaje (**Figura 1.2**), como así también la colocación de filtros de aire en las entradas de ventilación.

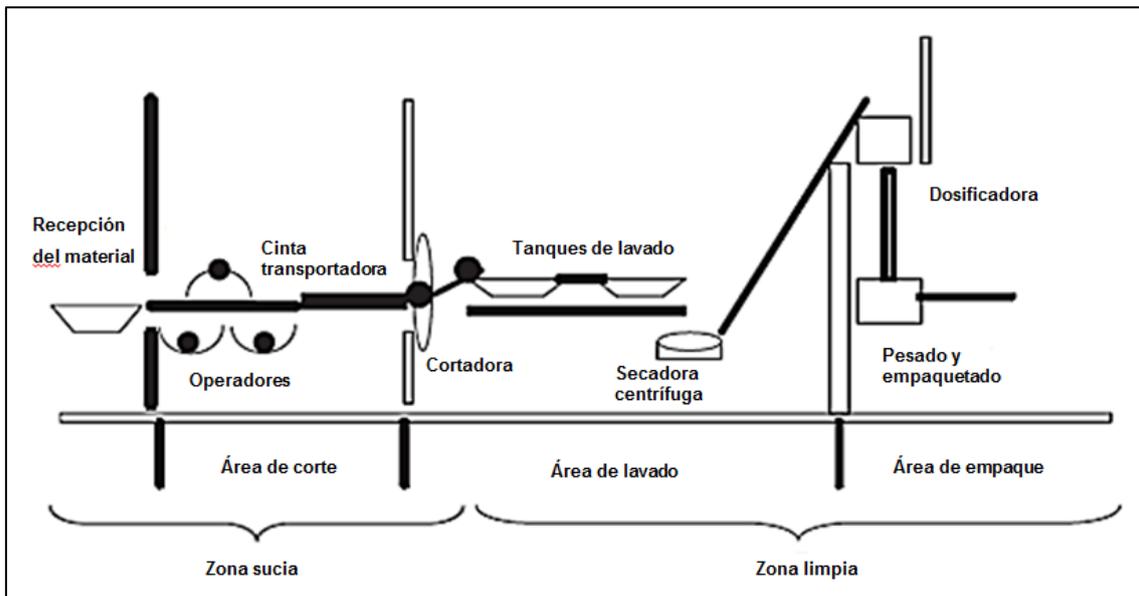


Figura 1.2. Esquema simplificado de las principales etapas de producción de vegetales frescos cortados (**Artés y Allende, 2005**).

f) Clasificación por tamaño y eliminación por defectos: Se utilizan cintas vibratorias o bien líneas con operarios para descartar las piezas de producto que no posean el calibre adecuado o presenten otros defectos (**Artés y Allende, 2005**).

g) Lavado y enfriado: En esta etapa de lavado se busca reducir la carga microbiana del producto y remover los jugos celulares en la superficie de corte al mismo tiempo en que se refrigera el producto rápidamente y a la menor temperatura posible (**Corbo et al., 2010**).

h) Secado: La remoción del agua que lleva el producto ya procesado puede realizarse por centrifugación o por aire forzado (**James y Ngarmsak, 2011**). En la centrifugación el tiempo y la velocidad de centrifugado deben adecuarse a cada producto, tiempos o velocidades muy elevadas pueden provocar exudado con subsecuente pérdida de calidad. Para los productos muy sensibles que no toleran una centrifugación se utiliza aire forzado en lecho semifluidizado.

i) Mezclado, dosificación, pesado y envasado: En este punto suelen utilizarse bolsas o bandejas cubiertas con películas a las que se les controla no sólo el peso final sino también la ausencia de metales provenientes de desperfectos en la línea de procesamiento, actualmente esto se realiza mediante equipos automatizados. Cuando se envasa el producto la atmósfera dentro del envase puede ser reemplazada por una mezcla de gases para que se establezca rápidamente la atmósfera deseada dentro del mismo, si por el contrario la mezcla no se inyecta, está se ha de generar por la propia respiración del vegetal (**Artés y Allende, 2005**). La combinación de la película a utilizar, el peso y tipo de producto vegetal son cruciales para mantener la calidad del producto. Los envases para los VFC no son los mismos que para frutos enteros. En estos últimos los envases se utilizan principalmente para evitar los golpes y el daño mecánico entre los frutos. Finalmente los envases primarios se acondicionan en cajas para luego ser distribuidas y comercializadas a baja temperatura.

La limpieza de las líneas de procesamiento es crucial para obtener VFC de buena calidad. Del mismo modo, la disponibilidad de equipos que puedan limpiarse y

desinfectarse adecuadamente es primordial (**Hübe, 2010**). Deben realizarse tareas de limpieza de los equipamientos diariamente utilizando agua potable, limpiadores y desinfectantes apropiados (**Hübe, 2010**). Si el área de trabajo es mantenida con control de temperatura (4 °C) se debe asegurar que el personal cuente con la indumentaria de abrigo necesaria (**INTI, 2013**). Más allá de los aspectos edilicios y de infraestructura, la capacitación de los trabajadores es indispensable. Asimismo es fundamental establecer un sistema de registro de las operaciones en todas las etapas del proceso de producción y un sistema de trazabilidad de modo de permitir el seguimiento del producto en los canales de distribución.

1.5. FACTORES INVOLUCRADOS EN EL DETERIORO DE VEGETALES FRESCOS CORTADOS

La calidad de los VFC está definida por su apariencia fresca, la textura, sabor y olor y seguridad microbiológica. Su vida útil debe ser lo suficientemente larga para soportar el tiempo de distribución y almacenamiento hasta su consumo. Si bien la mayoría de las técnicas del procesamiento de alimentos tienden a estabilizar los productos y aumentar su capacidad de almacenamiento, los VFC presentan por lo general mayor perecibilidad que sus contrapartes enteros. El daño mecánico durante el trozado, pelado o rallado genera un aumento en la tasa respiratoria de los productos, indicando un metabolismo más activo y usualmente una tasa de deterioro más acelerada (**Viña, 2001**). También se aumenta la producción de etileno, hormona que acelera la maduración y la senescencia (**Kader, 2007b**). Por otra parte, estas técnicas de procesamiento involucran comúnmente la remoción y/o fractura de barreras naturales presentes en los vegetales intactos (ceras, cutícula, epidermis), lo que favorece la deshidratación y el desarrollo microbiano. Asimismo la pérdida de compartimentalización celular favorece en muchas hortalizas el pardeamiento localizado en los sectores de corte y también diversas reacciones bioquímicas responsables de cambios de sabor, textura y de pérdida de calidad nutricional (**Figura 1.3**).

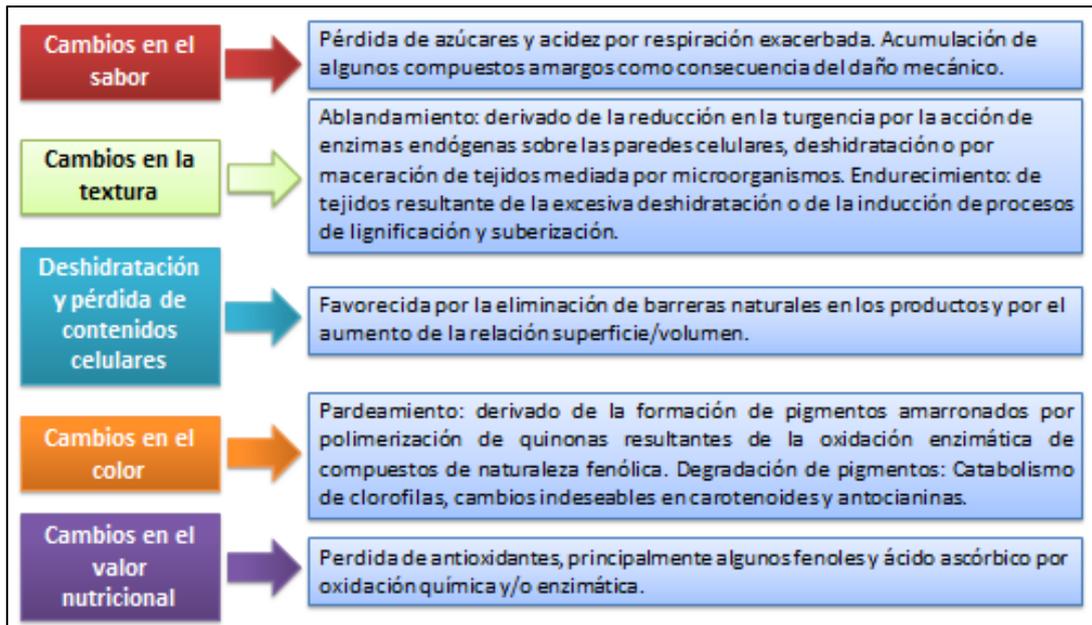


Figura 1.3. Principales factores involucrados en el deterioro poscosecha de vegetales frescos cortados.

Como consecuencia de esto se desprende que un factor problemático asociado con la producción y distribución de productos mínimamente procesados es su corta vida útil (*Singh y Alam, 2012*). Dependiendo del producto y de las tecnologías de poscosecha empleadas, la vida de los productos mínimamente procesados suele ser de entre 5 y 12 días.

1.6. TRATAMIENTOS PARA EXTENDER LA VIDA POSCOSECHA DE VEGETALES FRESCOS CORTADOS

A fin de extender la vida poscosecha y de retrasar las pérdidas de calidad durante el almacenamiento, la industria recurre a una serie de estrategias físicas o químicas que contribuyen a una mejor conservación (*Figura 1.4*). Las mismas pueden aplicarse en forma individual o combinada.

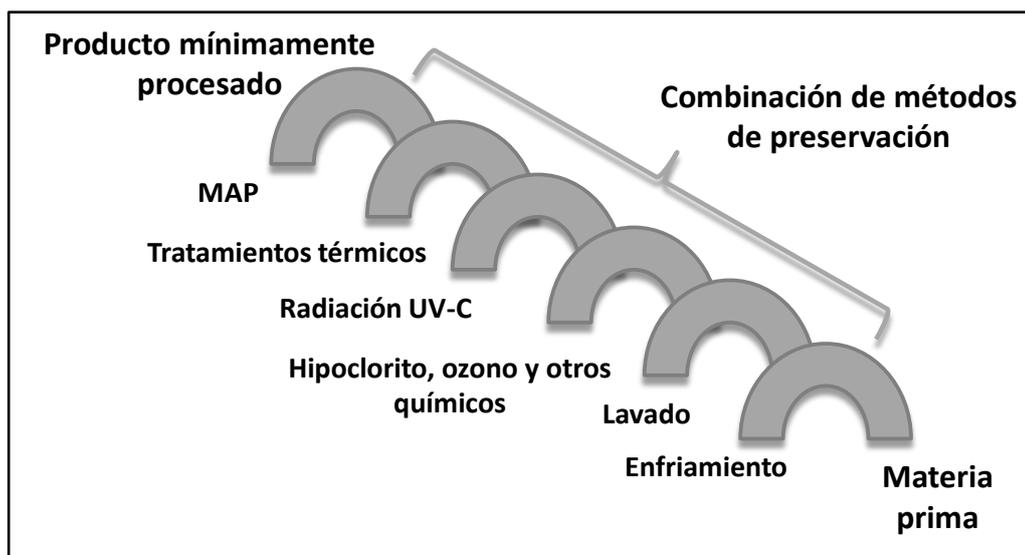


Figura 1.4. Tecnologías poscosecha para mantener la calidad de vegetales frescos cortados.

1.6.1. Tratamientos químicos

La sanitización es una operación indispensable en la producción de VFC. Si bien en productos orgánicos o ecológicos el agua clorada sólo está permitida para la limpieza de equipamientos (**SAGyP, 1992**), en productos convencionales esta es la forma más difundida de desinfección. El NaClO se utiliza desde 50 a 200 mg L⁻¹ a 0-5 °C, con un tiempo de contacto de 1 a 5 minutos. En algunos casos se han empleado concentraciones menores (15-20 mg L⁻¹) pero con tiempos de contacto mayores (10 min.) (**Fan et al., 2008**). El cloro se utiliza principalmente bajo las formas de hipoclorito de sodio o cloro gaseoso que en medio acuoso generan ácido hipocloroso (**Figura 1.5**), sustancia activa para el control de microorganismos.

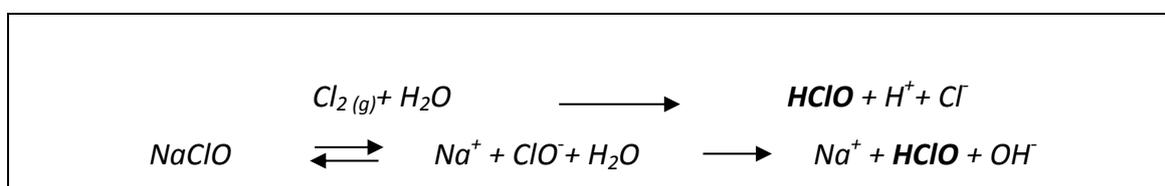


Figura 1.5. Esquema simplificado de la generación de HClO por disolución de cloro gaseoso o por disociación y posterior hidrólisis del hipoclorito de sodio.

Es sumamente importante el monitoreo del pH del agua de lavado, ya que la actividad antimicrobiana del hipoclorito depende del pH, siendo el rango óptimo de

6,0 a 7,5; pHs inferiores generan cloro gaseoso mientras valores superiores aumentan la concentración del anión OCl^- que no es eficaz como antimicrobiano (**Ayhan et al., 1998**). En caso de ser necesario el pH del agua puede bajarse con ácido cítrico o fosfórico o incrementarse con hidróxido de sodio (**Silveira et al., 2008**).

En algunos casos se ha cuestionado la efectividad del cloro para reducir patógenos residentes en bio-películas o internalizados en los tejidos vegetales (**Ölmez y Kretzschmar, 2009**). Otro cuestionamiento al uso de estos productos es que pueden formar derivados con la materia orgánica (cloraminas) que se asocian con un mayor riesgo de contraer ciertos tipos de cáncer. Si bien algunos países europeos han prohibido su uso en productos mínimamente procesados (**Silveira et al., 2008; James y Ngarmsak, 2011**), en nuestro país y muchos otros los compuestos clorados, y dentro de estos el hipoclorito es claramente el desinfectante más difundido.

También se emplea en menor medida el dióxido de cloro, que posee la ventaja de reaccionar lentamente con la materia orgánica y no generar cloraminas. Además su actividad es menos influenciada por el pH. Sin embargo, cuenta con una gran desventaja, al igual que el ozono, no puede comprimirse por riesgo a explosión, por lo que debe generarse *in situ* (**Gómez-López et al. 2009**). La determinación de su concentración suele ser algo más difícil. Otros sanitizantes se han empleado en forma menos frecuente en la industria (**Parish et al., 2003; Goodburn y Wallace, 2013**). (**Figura 1.6**).



Figura 1.6. Sanitizantes utilizados en la producción de vegetales frescos cortados.

El ozono, que típicamente se utilizó como sanitizante de agua, está aprobado para su uso en mínimamente procesados y puede utilizarse en forma gaseosa o en solución. Es efectivo contra un amplio rango de microorganismos. Al igual que el dióxido de cloro debe ser generado *in situ*, ya que no puede almacenarse presurizado porque es explosivo y también tiene el inconveniente de ser tóxico en forma gaseosa a concentraciones superiores a los 5 mg L⁻¹, por lo que las instalaciones deben estar diseñadas para que los operadores no entren en contacto con dicho gas (*Kim et al., 1999*).

El uso del peróxido de hidrógeno en la industria se ha limitado a sanitizante de superficies y equipamientos, y tiene efecto esporicida. En mínimamente procesados se ha ensayado en concentraciones de entre 1 y 5%, pero la efectividad de los tratamientos ha sido variable (*Beuchat, 1998*).

El ácido peroxiacético hasta 200 mg L⁻¹ ha sido efectivo para mantener la calidad de productos enteros y procesados. Asimismo puede reducir las poblaciones de bacterias patógenas en concentraciones menores a las requeridas usando cloro, igualmente su uso no está difundido. Por último, el agua electrolizada se genera por electrólisis de una solución de cloruro de sodio diluida (0,05-0,1%), el ion cloruro se oxida en el ánodo dando cloro gaseoso e hipoclorito. Básicamente se generan soluciones de ácido hipocloroso con un pH menor a 2,7. La ventaja del agua electrolizada es que no se utilizan sustancias químicas además del cloruro de sodio, sin embargo no se elimina el peligro de la generación de compuestos derivados de la reacción del cloro con la materia orgánica (*Parish et al., 2003; James y Ngarmsak, 2011*).

Otros aditivos se han empleado en forma frecuente en el manejo poscosecha de VFC. La **Tabla 1.2** resume algunos de estos compuestos. Las sales de calcio poseen un efecto positivo en la retención de la firmeza (*Camire et al., 1994*). Además estabilizan las pectinas mediante puentes de calcio (*Aguayo et al., 2007*). El propionato de calcio también posee propiedades antimicrobianas (*Davidson y Juneja, 1990*). El ácido acético posee también como principal efecto la inhibición de microorganismos. El ácido cítrico y el EDTA poseen propiedades quelantes, inhibiendo enzimas que requieran metales como cofactor, como la polifenol-oxidasa (PPO) (*Sapers et al., 1989*). Asimismo, la reducción del pH por adición de cítrico u otros

ácidos (láctico, fosfórico) disminuye la actividad de enzimas involucradas en el pardeamiento. Los ácidos reducen en general el desarrollo de bacterias (**Parish et al., 2003**). El ácido ascórbico y su isómero el ácido eritórbico se emplean como antioxidantes (**Ayala-Zavala, 2008a y 2008b; Corbo et al., 2010**). El orégano y otros aceites esenciales han sido efectivos en inhibir no solo la flora deteriorante, sino también diferentes patógenos (**Elgayyar et al., 2001**), siendo útiles como aditivos en VFC (**Alvarez et al., 2013**). Los sulfitos son económicos y poseen propiedades antioxidantes pero su uso se está restringiendo debido a que pueden ser perjudiciales para la salud (**Stohs y Miller, 2014**). La cisteína (**Cacace et al., 2002**) y el 4-hexilresorcinol (**Arias et al., 2007**) también pueden utilizarse como antioxidantes aunque su costo suele ser más elevado.

Tabla 1.2. Aditivos empleados en productos frescos cortados.

Sales	Propionato de calcio, cloruro de calcio, EDTA, sulfitos.
Ácidos	Ascórbico, eritórbico, cítrico, láctico, acético, fosfórico.
Aminoácidos	Cisteína
Aceites esenciales	Orégano, eucalipto, canela, romero, clavo.
Compuestos fenólicos	4-hexilresorcinol

Algunos grupos de investigación han ensayado el empleo de recubrimientos comestibles sobre la superficie de los VFC (**Perez-Gago et al., 2005; Tapia et al., 2008**). Estos recubrimientos al generar una barrera semipermeable a los gases, vapor de agua y compuestos volátiles protegen al producto. Asimismo pueden prevenir la pérdida de jugos celulares que favorece el desarrollo microbiano. Los recubrimientos comestibles pueden generarse a partir de polisacáridos, proteínas y lípidos. Algunos compuestos que se han ensayado incluyen al quitosano, almidón, celulosa, alginato, carragenina, zeína, glutelinas, cera de abejas y ácidos grasos (**Corbo et al., 2010**). Normalmente se adiciona en las formulaciones algún plastificante como el glicerol, la sacarosa o el sorbitol. Los recubrimientos han sido efectivos en reducir la tasa respiratoria y

mantener la calidad de diferentes productos cortados. En los últimos años se han empleado además como matriz de otros aditivos (**Raybaudi-Massilia et al., 2008**). En este caso la matriz polimérica podría regular su liberación. A pesar de los resultados auspiciosos a nivel experimental la aplicación de estas técnicas es dificultosa a escala industrial por lo que su utilización es aún limitada.

1.6.2. Tratamientos físicos

En los últimos años y ante la preocupación de los consumidores por que los alimentos reduzcan sus niveles de aditivos, los tratamientos físicos de poscosecha han retomado mucho interés (**Barry-Ryan et al., 2007**). Algunas de estas metodologías incluyen la refrigeración, las atmósferas modificadas, los tratamientos de irradiación y los tratamientos térmicos de alta temperatura.

a) Refrigeración: El manejo de la temperatura luego de la cosecha es primordial para mantener la calidad de hortalizas en general y más especialmente si han sido sometidas al procesamiento mínimo (**Arienzo et al., 2013**). El almacenamiento refrigerado disminuye la tasa respiratoria de los vegetales así como otras reacciones metabólicas incrementando su capacidad de almacenamiento (**Thompson et al., 2007**). Entre otros múltiples efectos favorables que produce el almacenamiento refrigerado podemos mencionar: el retraso de la maduración y senescencia, la disminución en la producción y sensibilidad al etileno, la disminución del desarrollo de microorganismos y el posible control de la deshidratación. La temperatura óptima de almacenamiento depende del producto considerado (**Faber et al., 2003**). Asimismo las condiciones favorables de los productos enteros no necesariamente coinciden con las de los correspondientes productos procesados (**Marrero y Kader, 2006**). La distribución de VFC se realiza normalmente a temperaturas normales de refrigeración a nivel minorista y doméstico (4-6 °C) y a una humedad relativa de 90-95%.

b) Atmósferas modificadas: Las atmósferas modificadas (AM) resultan de utilidad en muchos VFC como complemento al almacenamiento refrigerado ya

que reducen la respiración, la producción de etileno, el cambio de color, el ablandamiento, y la incidencia de podredumbres (**Rodríguez-Félix et al., 2005**). Cuando la AM es generada por el propio vegetal, que continúa respirando consumiendo O₂ y generando CO₂, se denomina pasiva. Si la mezcla de gases es inyectada en el momento del envasado la atmósfera modificada se denomina activa. En general se emplean bajas presiones parciales de O₂ (1-10 kPa) y presiones parciales de CO₂ que varían de 1 a 20 kPa (**Farber et al., 2003**). Las condiciones óptimas son marcadamente dependientes del producto considerado y en algunos casos del estado de madurez. Al igual que se mencionó para la temperatura óptima de refrigeración, los niveles más apropiados de CO₂ y O₂ no necesariamente coinciden entre productos enteros y procesados. Normalmente se recomienda reducir el oxígeno por debajo de 5 kPa e incrementar el CO₂ por encima de 1 kPa. De otro modo los efectos logrados son moderados. Sin embargo, pueden aparecer ciertos desórdenes inherentes a la acumulación excesiva de CO₂ o a la reducción muy drástica de O₂, tales como dificultades para madurar, pardeamiento de la pulpa, formación de cavidades y escaldaduras y la acumulación de acetaldehído, etanol y acetato de etilo con el consecuente desarrollo de sabores y aromas desagradables (**Kader, 2007a**).

c) Tratamientos UV-C: La irradiación UV-C se ha empleado en la desinfección de agua, envases y superficies en la industria alimentaria (**Gil et al., 2009**). La radiación UV-C no es ionizante y no se encuentra sujeta a las restricciones de los métodos de irradiación con fuentes radioactivas. La radiación UV-C es letal para un amplio rango de microorganismos y desde el punto de vista de su implementación no presenta grandes complicaciones. En vegetales no sólo produce una reducción de la carga microbiana sino que también actúa a nivel fisiológico induciendo respuestas beneficiosas sobre la maduración (**Cisneros-Zevallos, 2003**).

d) Tratamientos térmicos de alta temperatura (TT): Los tratamientos térmicos de alta temperatura por corto tiempo se han empleado como estrategia para

retrasar la maduración de vegetales, minimizar el desarrollo de los principales patógenos de poscosecha, controlar plagas cuarentenarias y disminuir el daño por frío (*Lurie, 1998*). Normalmente se utilizan temperaturas de 45-70 °C por períodos que van desde unos pocos segundos hasta minutos (*Barry-Ryan et al., 2007*). Al igual que lo mencionado para los tratamientos UV-C, la aplicación de TT no sólo tiene una acción directa sobre los insectos o microorganismos sino que además se ha demostrado que puede inducir algunas respuestas positivas sobre los vegetales. Dado que los TT pueden disminuir la biosíntesis de proteínas, el metabolismo general puede verse retrasado con una consiguiente reducción en la tasa de maduración y senescencia. Asimismo se ha demostrado que los TT en condiciones apropiadas pueden inhibir la biosíntesis de etileno, lo que retrasa marcadamente la velocidad de maduración en vegetales climatéricos. Por último, en algunos productos se ha descrito que los TT pueden reducir el daño por frío (*Lurie, 1998*).

1.7. SITUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS FÍSICOS EN EL MANEJO POSCOSECHA DE HORTALIZAS FRESCAS CORTADAS

En general la producción de VFC en Argentina se realiza en plantas con una infraestructura de procesos simples y de tipo artesanal en comparación con las condiciones empleadas en otros países europeos o Estados Unidos. La calidad de los lotes suele ser variable y el pre-enfriado no es una actividad frecuente luego de la recepción de la materia prima. Si bien la refrigeración se utiliza para la distribución, el manejo de cadena de frío suele ser deficiente. Las atmósferas modificadas en VFC se utilizan en diferentes países a nivel industrial (*Barry-Ryan et al., 2007*), pero en general, en Argentina no están siendo implementadas en forma muy ajustada en buena parte de los VFC. Esto determina que los productos comercializados tengan una vida útil menor que los que se mantienen bajo una atmósfera óptima (*Soleno Wilches, 2012*). Además de que este comportamiento puede relacionarse con el hecho de que la producción VFC es una actividad relativamente reciente, la menor inversión en equipamientos específicos reduce las barreras de las empresas para la salida de dicha actividad; sobre todo en un mercado con cierta incertidumbre en el que el consumidor, en cualquier momento, puede optar por comprar productos frescos a

granel a menor costo. De todos modos, las mayores demandas de información por parte de la industria se orientan a la necesidad de resolver los problemas relacionados con el deterioro del producto (**Soleno Wilches, 2012**).

Con respecto a los TT si bien existen algunos resultados favorables en la literatura (**Inkha y Boonyakiat, 2010; Maxin et al., 2012a**), su implementación a nivel industrial es limitada (**Barry-Ryan et al., 2007**). Los tratamientos UV-C en la industria se han enfocado principalmente a la sanitización de maquinarias o superficies en contacto con alimentos, en los VFC no han sido muy asimilados por la industria a nivel mundial, aunque existen gran número de trabajos que estudiaron estos tratamientos con buenos resultados (**Lamikanra et al., 2005a; Allende et al., 2006; Lemoine et al., 2007**). Esto puede deberse a que, en parte, la incorporación de nuevas metodologías agrega complejidad y variables al proceso de producción. Por otra parte, no se han llevado adelante suficientes estudios de escalado que permitan identificar complejidades para el pasaje a situaciones a escala semicomercial o comercial.

1.8. PIMIENTO

1.8.1. Generalidades y producción

El pimiento es originario de la zona de Bolivia y Perú, pertenece a la familia de las Solanáceas y al género *Capsicum*. Dicha familia incluye alrededor de 75 géneros y unas 2.300 especies de plantas, entre ellas se encuentran además del pimiento, el tomate, la papa y la berenjena. Fue llevado al Viejo Mundo por Colón en su primer viaje en 1492. En el siglo XVI ya se había difundido su cultivo en España, desde donde se distribuyó al resto de Europa y del mundo con la colaboración de los portugueses (**Paran et al., 2007**). Se trata de una especie perenne, con ciclo de cultivo anual que se establece por semilla. La planta es de porte variable entre los 0,5 m (en determinadas variedades de cultivo al aire libre) y más de 2 m (gran parte de los híbridos cultivados en invernadero). Tiene un tallo frágil, erecto con ramas que se subdividen, hojas lanceoladas de color verde intenso y brillante. Sus flores son de color blanco o blanco amarillentas y hermafroditas (**Goites, 2008**). Si bien la polinización es autógama puede presentarse un porcentaje de alogamia (normalmente no supera el 10%). Se trata de un cultivo de día corto que no tolera las heladas y con una temperatura óptima para el

desarrollo de 21-26 °C. El fruto del pimiento es una baya hueca (**Figura 1.7**) que varía en forma, tamaño, color y sabor.

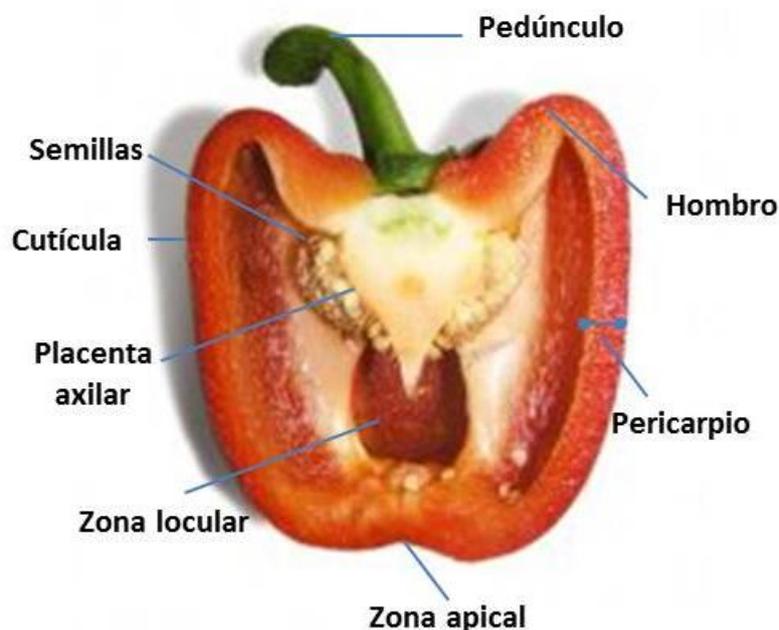


Figura 1.7. Morfología del fruto de pimiento.

El pericarpio puede ser de espesor grueso a delgado, y en el interior de este fruto se encuentran 2 o 4 tabiques incompletos a lo largo de la pared del fruto, uniéndose sólo en la base sobre la placenta. En esta región se insertan las semillas, reniformes, de 4 a 5 mm de diámetro y de color blanco amarillento. El pimiento es una excelente fuente de vitamina C (1 g kg^{-1}). De hecho el contenido de este compuesto duplica al encontrado en la naranja (**USDA, 2014**). El color del fruto es variable pudiendo ser verde, marrón, rojo, amarillo o naranja (**Figura 1.8**). La cosecha se inicia entre los 90 y 115 días después de la siembra y se prolonga por dos o tres meses. El momento de la cosecha se suele determinar de acuerdo al tamaño y color del fruto (**Fernández Lozano et al., 1997**). La cosecha puede realizarse tanto en estado verde como maduro (rojo, amarillo o naranja). Los frutos maduros suelen presentar un precio aproximadamente 20% mayor que el verde, aunque esto por supuesto depende de la época del año (**MCBA, 2013**). La cosecha se realiza a mano, en forma escalonada. Se recomienda al igual que para otras hortalizas realizarla en los períodos del día en los que la temperatura no es muy elevada. El fruto debe separarse de la planta cuidando que el pedúnculo se separe en la zona de abscisión y el cáliz mantenga su integridad.

De todos modos es común la cosecha con tijeras para reducir el espacio ocupado por los vegetales en el embalaje. En tal caso, la cosecha se debe realizar preferentemente cortándolos con tijeras bien afiladas, para hacer un corte nítido. De todos modos el corte del pedúnculo hace que los frutos sean más susceptibles a podredumbres. Los frutos se colocan en recipientes que no los dañen, evitando exponerlos al sol en forma directa.



Figura 1.8. Frutos de pimiento de diferentes colores disponibles en el mercado.

La producción de pimiento en Argentina se encuentra concentrada prácticamente en Salta, Buenos Aires y Corrientes. En 2011 la producción nacional de pimiento fue de 132.500 Ton, con 6.645 Ha cosechadas. La provincia de Buenos Aires posee 267 Has plantadas con pimiento a campo y unas 147 bajo cubierta (**CHFBA, 2005**). El Cinturón Hortícola de La Plata constituye un importante polo de producción de pimiento que provee a buena parte a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y al Conurbano Bonaerense durante el período estival, principal conglomerado urbano nacional que se estima en más de 13,5 millones de habitantes. En el período invernal Corrientes es la principal proveedora.

1.8.2. Tipos

Las variedades de pimiento pueden dividirse en dos grandes grupos:

a) Pimientos picantes: Presentan elevada acumulación de capsaicina. Morfológicamente suelen ser de fruto largo y delgado.

b) Pimientos dulces: Presentan baja concentración de capsaicina. Estos claramente constituyen la mayor parte del pimiento producido en nuestro país. Dentro de este grupo se encuentran buena parte de los materiales para el consumo en fresco

así como aquellos empleados en la obtención de pimentón en polvo. Dentro de las variedades dulces se pueden diferenciar a su vez tres tipos de pimiento (**Balcaza, 2006**). Los pimientos tipo “blocky”, también llamados “California”, son frutos cortos (7-10 cm), anchos (6-9 cm), con tres o cuatro cascos bien marcados, con el cáliz y la base del pedúnculo por debajo o a nivel de los hombros y de pericarpio más o menos grueso (**Figura 1.9.A**). Los frutos tipo “lamuyo” son frutos largos y cuadrados de carne gruesa. Los cultivares pertenecientes a este tipo suelen ser más vigorosos (de mayor porte y entrenudos más largos) y menos sensibles al frío que los de tipo California (**Figura 1.9.B**). Finalmente los frutos tipo italiano son alargados, estrechos, acabados en punta, de pericarpio fino (**Figura 1.9.C**).

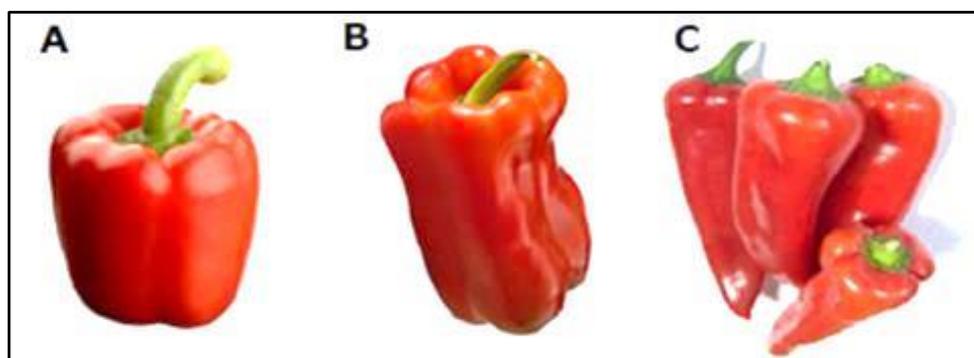


Figura 1.9. Diferentes tipos de pimiento dulce: A) blocky, B) lamuyo, C) italiano.

1.8.3. Atributos de calidad y comportamiento poscosecha de frutos de pimiento

Los frutos de pimiento son no climatéricos, presentan una tasa de respiración moderada y baja producción y sensibilidad al etileno (**Cantwell, 2013**). En términos generales una adecuada conservación requiere el almacenamiento a 7-10 °C. En estas condiciones los frutos enteros pueden ser conservados por 2-3 semanas (**Paul, 1990**), dependiendo de la variedad considerada. El almacenamiento prolongado a temperaturas inferiores a 7 °C puede provocar la aparición de daño por frío (**Vicente et al., 2005**). Los frutos verdes son más sensibles al daño por frío que los rojos (**Lin et al., 1993; Serrano et al., 1997**) aunque esto depende de la variedad. El daño por frío se caracteriza por maduración anormal (**Lin et al., 1993**) y no uniforme, pérdida de agua, depresiones superficiales laminares y circulares, pardeamiento de las semillas, e incremento en la susceptibilidad al desarrollo de patógenos tales como *Alternaria*

alternata (Risse y Chun, 1987) y *Botrytis cinerea* (Meier et al., 1995). Los frutos de pimiento se pueden almacenar en atmósferas modificadas, siendo las condiciones más adecuadas 3 a 5 kPa de O₂ y 1 kPa de CO₂, con alta humedad relativa (90-95%). Sin embargo la mejora por la utilización de esta tecnología es limitada (Cantwell, 2013).

1.8.4. Pimientos frescos cortados

Aunque en Argentina el mercado de pimiento procesado es pequeño, tiene oportunidad de desarrollarse, como ha sucedido en otros países (James y Ngarmsak, 2011). En nuestro país este producto es utilizado en restaurantes, aunque se prepare a partir de la hortaliza entera, o en establecimientos de comidas rápidas como ingrediente en diferentes platos, por ejemplo en pizzas o empanadas. La comercialización de pimientos pre-cortados puede ahorrar tiempo de preparación en estos establecimientos. También tiene posibilidades de ser requerido a nivel hogareño.

El mayor inconveniente de los pimientos cortados, al igual que la mayor parte de los VFC, es su corta vida útil, aun cuando es conservado en refrigeración. Si bien existen trabajos que tratan diferentes métodos para la conservación de pimientos cortados, los mismos son escasos. Revisando la bibliografía podemos observar que incluso parámetros como la temperatura de refrigeración no están del todo claros. Mientras que en algunos trabajos se ha recomendado el almacenamiento a 0 °C (El-Bassuoni y Cantwell, 1994), otros han detectado daño por frío incluso a 5 °C (Kang y Lee, 1997). En el caso de AM/AC, en bibliografía se encuentra que las mezclas gaseosas recomendadas solo tienen efectos moderados, sin distinguir entre frutos maduros e inmaduros (Gorny, 2001). Esto tal vez sea debido a que dichos valores provienen de trabajos que solo han ensayado la variación de un solo gas por vez (CO₂ u O₂) (El-Bassuoni y Cantwell, 1994; López-Gélvez, 1997). Otros estudios en AM solo se han centrado en un único estado de madurez (Howard y Hernández Beñez, 1997; González-Aguilar et al., 2004a), desconociéndose si la respuesta de los frutos maduros o inmaduros es la misma en las diferentes atmósferas. Además existen discrepancias entre los resultados obtenidos en diferentes estudios, por lo cual los efectos no están del todo claros. Los tratamientos térmicos se han evaluado principalmente en frutos enteros, y enfocándose sólo en un estado de madurez (Fallik, 1999; González-Aguilar et al., 2000; Ilic´ et al., 2012), siendo muy escasos los trabajos que estudian el uso de

tratamientos térmicos en pimientos procesados. A la fecha la radiación UV-C no ha sido evaluada en pimiento cortado.

A partir de lo expuesto anteriormente, se desprende que existen una serie de aspectos aún no resueltos en cuanto al manejo poscosecha de pimiento fresco cortado (FC):

a-¿Difiere la temperatura óptima de almacenamiento entre pimiento entero y FC?

b-¿Es posible mantener los pimientos FC a 5 °C en estado rojo y verde sin que se observen síntomas de daño por frío a pesar de que los frutos inmaduros son muchos más sensibles al mencionado desorden?

c-¿Cuál es la presión parcial óptima de CO₂ para el almacenamiento de pimiento FC?

d-¿Cuál es la presión parcial óptima de O₂ para el almacenamiento de pimiento FC?

e-¿Las condiciones óptimas de AM y AC difieren según el estado de madurez?

f-¿Existe alguna diferencia en tolerancia y/o beneficios del bajo O₂ o alto CO₂ entre frutos verdes y rojos?

g-¿Los beneficios observados por AM y AC en pimientos FC son moderados como en frutos enteros o se observa una buena respuesta?

h-¿Cuál es la dosis óptima de tratamientos UV en pimiento FC?

i-¿Difiere ésta de la informada para frutos sin procesar?

j-¿Deben los tratamientos realizarse en la cara externa de los frutos en la interna o en ambas?

k-¿Cuáles son las condiciones óptimas de TT de pimientos en bastones?

l-¿Cómo difieren de las descritas para fruto entero?

m-¿Existe alguna diferencia en la tolerancia al calor entre frutos verdes y rojos?

n-¿Existe alguna diferencia en el TT óptimo entre frutos verdes y rojos?

ñ-¿Muestran estos tratamientos beneficios cuando se emplean como suplemento a la refrigeración?

o-¿En cuánto difieren los beneficios comparando AC con AM en las que se alcancen niveles similares de O₂ y CO₂ en el equilibrio?

p-¿Es alguno de los tratamientos (AM, TT, UV) más eficaz?

q-¿Cuáles son los efectos que poseen estos métodos de conservación sobre las propiedades organolépticas, microbiológicas y nutricionales de los frutos?

En el marco de la presente tesis se intentó dar respuesta a estos interrogantes.

2. MATERIALES Y MÉTODOS



2.1. MATERIAL VEGETAL Y PROCESAMIENTO

Para los ensayos de tratamiento térmico, irradiación UV-C y atmósfera modificada se emplearon pimientos (*Capsicum annuum* L.) tipo Lamuyo en estado de madurez rojo y verde, obtenidos del Mercado Regional de la Ciudad de La Plata, Buenos Aires. La evaluación de atmósferas controladas se realizó con frutos del mismo tipo obtenidos en el Mercado Abastecedor de Porto, Portugal. Los frutos se trasladaron inmediatamente al laboratorio donde se eliminaron aquellos presentando daño mecánico o defectos. Los pimientos seleccionados se lavaron con agua corriente y luego con una solución de hipoclorito de sodio (100 mg L^{-1}) durante 3 minutos. Posteriormente se eliminaron el pedúnculo y las semillas y se trozaron en bastones de $5 \times 1 \text{ cm}$ que fueron rápidamente enfriados a $5 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.2. OPTIMIZACIÓN DEL EMPLEO DE ATMÓSFERAS EN PIMIENTO FRESCO CORTADO

2.2.1. Selección de las presiones parciales óptimas de CO_2 y O_2

Bastones de pimiento rojo y verde procesados como se indicó en la sección 2.1 se colocaron en frascos de vidrio. Un mezclador de gases PBI-Dansensor (MAP Mix 9000) fue empleado para ajustar las presiones parciales de O_2 , CO_2 y N_2 deseadas a partir de distintos tubos de cada gas puro. Las siguientes mezclas fueron empleadas equilibrando con N_2 :

- i) Aire (Control).
- ii) 2,5 kPa CO_2 ; 2,5 kPa O_2 .
- iii) 5,0 kPa CO_2 ; 2,5 kPa O_2 .
- iv) 10,0 kPa CO_2 ; 2,5 kPa O_2 .
- v) 15,0 kPa CO_2 ; 2,5 kPa O_2 .
- vi) 2,5 kPa CO_2 ; 5,0 kPa O_2 .
- vii) 5,0 kPa CO_2 ; 5,0 kPa O_2 .
- viii) 10,0 kPa CO_2 ; 5,0 kPa O_2 .
- ix) 15,0 kPa CO_2 ; 5,0 kPa O_2 .

Antes de la circulación cada mezcla gaseosa fue burbujeada a través de un recipiente conteniendo agua con el fin de incrementar la humedad relativa. Aproximadamente 115 g de pimientos verdes o rojos fueron colocados dentro de

recipientes herméticos individuales de vidrio con 2 L de capacidad y conteniendo una tapa con dos válvulas. Tres replicados fueron preparados para cada estado de madurez y mezcla de gases. El experimento completo fue realizado dos veces. Los recipientes fueron cuidadosamente cerrados y conectados a un sistema de circulación de gases (5 mL min⁻¹). Los recipientes fueron almacenados en aire o bajo las 8 combinaciones de gases indicadas anteriormente por 7 y 10 d a 5 °C y en oscuridad. La composición gaseosa fue periódicamente monitoreada tomando muestras de 1,35 mL del espacio cabeza empleando una jeringa a través de un septum de silicona en cada recipiente e inyectándola en un analizador de gases Check Mate 9.900 O₂/CO₂ (PBI Dansensor, Dinamarca).

Durante el almacenamiento se determinó, para los bastones individuales, un índice de deterioro utilizando una escala de 5 niveles (0=sin deterioro visible; 1=deterioro incipiente; 2=deterioro leve; 3= deterioro moderado 4=altamente deteriorado). Los atributos considerados fueron la deshidratación, el ataque de hongos y bacterias, la presencia de exudado y la pérdida de turgencia. Se calculó un índice de deterioro (ID) según:

$$ID = \frac{\sum (\text{Nivel de daño} \times \text{Número de bastones en ese nivel})}{\text{Número total de bastones}}$$

A partir de esto se seleccionó la atmósfera óptima para el almacenamiento de los frutos.

2.2.2. Efecto de los tratamientos seleccionados sobre la calidad poscosecha de pimiento verde y rojo refrigerado

Para evaluar el efecto de la mezcla gaseosa seleccionada sobre la calidad, los bastones de pimiento en ambos estados de madurez fueron almacenados como se describió anteriormente a 5 °C y 90-95% HR por 0, 7 y 12 d en i) aire (control) o ii) en atmósferas con 5,0 kPa O₂ + 5,0 kPa CO₂ (condición seleccionada). Se prepararon cinco recipientes conteniendo 30 bastones de pimiento para cada tratamiento, estado de madurez y tiempo de almacenamiento. El experimento completo fue realizado dos veces. Los recipientes fueron almacenados a 5 °C por 0, 7 o 12 d. Se tomaron muestras y se analizó inmediatamente la incidencia de podredumbre blanda, la pérdida de peso, el color superficial, la tasa respiratoria, el exudado, la fuga de electrolitos, la textura y los recuentos de bacterias aerobias mesófilas, mohos y levaduras. Otros bastones se congelaron en N₂ líquido y se almacenaron a -80 °C hasta el análisis de acidez, pH

azúcares y antioxidantes. Las determinaciones se realizaron según se describe en la sección 2.6.

2.3. EFECTO DE TRATAMIENTOS UV-C SOBRE LA CALIDAD DE PIMIENTO FRESCO

CORTADO

2.3.1. Selección de la dosis y modo de realización de los tratamientos

Para cada estado de madurez los bastones se dividieron en diez grupos, nueve de los cuales se trataron en un banco de irradiación ultravioleta dotado con 4 lámparas UV-C (254 nm, TUV G30T8, 30W, Philips Argentina). Los frutos se sometieron a diferentes dosis de radiación en el lado interno del pericarpio (I), en la zona externa (E) o en ambas caras (I/E). Para el tratamiento en ambos lados los frutos fueron colocados con el lado interno hacia arriba y luego rotados. Las dosis evaluadas fueron las que se detallan a continuación:

- i) 3,0 kJ m⁻² (I).*
- ii) 3,0 kJ m⁻² (E).*
- iii) 3,0 kJ m⁻² (I/E) (1,5 kJ m⁻² en cada lado).*
- iv) 10,0 kJ m⁻² (I).*
- v) 10,0 kJ m⁻² (E).*
- vi) 10,0 kJ m⁻² (I/E) (5,0 kJ m⁻² en cada lado).*
- vii) 20,0 kJ m⁻² (I).*
- viii) 20,0 kJ m⁻² (E).*
- ix) 20,0 kJ m⁻² (I/E) (10,0 kJ m⁻² en cada lado).*

La dosis de UV-C se midió con un radiómetro (Cole-Palmer Instrument Company, Vernon Hills, IL, Estados Unidos). Después del tratamiento los bastones se colocaron en bandejas de PVC perforadas en grupos de 20 bastones y se almacenaron a 10 °C por 5 u 8 días. Correspondientes bastones sin tratamientos UV-C se envasaron y almacenaron como se describió anteriormente y se utilizaron como control. Se prepararon 10 bandejas para cada condición analizada. Durante el almacenamiento se determinó para los bastones individuales un índice de deterioro utilizando una escala de 5 niveles (0=sin deterioro visible; 1=deterioro incipiente; 2=deterioro leve; 3=deterioro moderado 4=altamente deteriorado). Los atributos considerados fueron la deshidratación, el ataque de hongos y bacterias, la presencia de exudado y la pérdida

de turgencia. Se calculó un índice de deterioro (ID) según se describió en la sección 2.2.1. A partir de esto se seleccionó la condición óptima de tratamientos UV.

2.3.2. Efecto del tratamiento UV-C seleccionado sobre la calidad poscosecha de pimiento verde y rojo refrigerado a 5 °C

Para evaluar el efecto de la dosis seleccionada sobre la calidad, los bastones de pimiento rojo o verde fueron tratados como sigue:

- i) 0 kJ m^{-2} (control).
- ii) $20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ (I/E) (condición seleccionada).

Los bastones de pimiento fueron colocados en bandejas plásticas recubiertas con PVC perforado. Veinte bandejas fueron preparadas para cada estado de madurez, tratamiento y tiempo de almacenamiento. El experimento completo fue realizado dos veces. Las bandejas fueron almacenadas a 5 °C por 0, 7 ó 12 d. Se tomaron muestras y se analizó inmediatamente la incidencia de podredumbre blanda y hongos, el porcentaje de bastones deshidratados, la pérdida de peso, el color superficial, la tasa respiratoria, el exudado, la fuga de electrolitos, la textura, el contenido de pectinas solubles en agua y los recuentos de bacterias aerobias mesófilas, mohos y levaduras. Otros bastones se congelaron en N₂ líquido y se almacenaron a -80 °C hasta el análisis de acidez, pH, azúcares y antioxidantes. Las determinaciones se realizaron según se describe en la sección 2.6.

2.4. USO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS PARA MANTENER LA CALIDAD DE PIMIENTO FRESCO CORTADO

2.4.1. Selección de las condiciones óptimas (tiempo y temperatura) de tratamiento

Bastones de pimiento rojo y verde fueron procesados como se indicó en 2.1. Un grupo de frutos fue dejado como control mientras que el resto fueron sumergidos en un baño con agua termostatzada con agitación. Los bastones se sometieron a las siguientes combinaciones de temperatura-tiempo de tratamiento:

- i) 40 °C; 1 min.
- ii) 40 °C; 3 min.
- iii) 40 °C; 5 min.
- iv) 45 °C; 1 min.

v) 45 °C; 3 min.

vi) 45 °C; 5 min.

vii) 50 °C; 1 min.

viii) 50 °C; 3 min.

ix) 50 °C; 5 min.

x) 55 °C; 1 min.

xi) 55 °C; 3 min.

xii) 55 °C; 5 min.

Luego de cada tratamiento los bastones fueron sumergidos en agua a 2 °C para asegurar un rápido enfriamiento. Los bastones control sólo fueron sumergidos en agua a 2 °C. Después del tratamiento los frutos fueron secados con aire forzado durante 10 minutos y colocados en bandejas de PVC perforadas y se almacenaron a 5 °C por 0, 7 o 12 días. A los tiempos mencionados se determinó el índice daño de los bastones. El deterioro de los bastones verdes o rojos fue evaluado individualmente empleando una escala de 5 niveles (0=sin daño; 1=daño incipiente; 2=daño leve; 3=daño moderado y 4= altamente deteriorado). Se calculó un índice de deterioro (ID) según se describió en la sección 2.2.1. A partir de esto se seleccionó la condición óptima de tratamientos térmicos de alta temperatura.

2.4.2. Efecto del tratamiento térmico seleccionado sobre la calidad poscosecha de pimiento verde y rojo refrigerado

Para evaluar el efecto de la temperatura y tiempo seleccionados sobre la calidad, los bastones de pimiento en ambos estados de madurez fueron tratados como sigue:

i) Control.

ii) 45 °C, 3 min. (condición seleccionada).

Luego los bastones fueron enfriados y secados como se describió anteriormente (2.4.2) y colocados en bandejas plásticas recubiertas con PVC perforado para ser almacenados a 5 °C por 12 días. Veinte bandejas fueron preparadas para cada estado de madurez, tratamiento y tiempo de almacenamiento. El experimento completo fue realizado dos veces. Las bandejas fueron almacenadas a 5 °C por 0, 7 ó

12 días. Se tomaron muestras y se analizó inmediatamente la incidencia de podredumbre blanda, el porcentaje de bastones deshidratados, la pérdida de peso, el color superficial, la tasa respiratoria, el exudado, la fuga de electrolitos, la textura, las pectinas solubles en agua y los recuentos de bacterias aerobias mesófilas, mohos y levaduras. Otros bastones se congelaron en N₂ líquido y se almacenaron a -80 °C hasta el análisis de acidez, pH azúcares y antioxidantes. Las determinaciones se realizaron según se describe en la sección 2.6.

2.5. COMPARACIÓN DE LA EFICACIA DE LOS TRATAMIENTOS DE ATMÓSFERA MODIFICADA, UV-C Y TÉRMICOS

2.5.1. Selección de una película apropiada para el envasado en AM

Se buscó una película con un coeficiente β (Permeabilidad CO₂/Permeabilidad O₂) cercano a 2, que permitiera, ajustando las variables posteriores, obtener atmósferas con niveles de entre 5-7 kPa CO₂ y 5-10 kPa O₂. De esta forma se utilizó una película RD-106 (Cryovac), con permeabilidad al O₂ de entre 8.500 – 15.000 mL O₂ m⁻² d⁻¹ atm⁻¹ y permeabilidad al CO₂ entre 22.000–26.000 mL CO₂ m⁻² d⁻¹ atm⁻¹ y 15 μ m de espesor (determinado como se indicará en 2.6.16).

2.5.2. Determinación del peso óptimo de producto para los envases de AM

Para determinar la cantidad de producto óptimo se prepararon envases del material seleccionado en 2.5.1 a los que se le colocaron diferentes cantidades de bastones de pimiento rojo y verde (75; 100; 150; 200; 250 y 300) preparados como se indica en 2.1. Los envases fueron termo-sellados (Lipari Serie CC400, Argentina), obteniéndose un área de intercambio total de 270 cm². Se prepararon cuatro envases para cada condición y estado de madurez. Las presiones parciales gaseosas en el interior de los envases fueron monitoreadas durante el almacenamiento a 5 °C utilizando un analizador de gases (Servomex Serie 5200, Reino Unido) provisto de un sistema de muestreo que se inyectó en las bolsas a través de un *septum* autoadhesivo. De este modo se determinó que el sistema desarrollado tuviese una aproximación aceptable a la condición atmosférica indicada en 2.5.1. Además se tuvo en cuenta que el equilibrio no demandara muchos días en establecerse y que a su vez no se llegara a anaerobiosis.

2.5.3. Efecto de los diferentes tratamientos sobre la calidad poscosecha de pimiento cortado

Frutos de pimiento en ambos estados de madurez fueron tratados y acondicionados como se explicó en las secciones 2.3 y 2.4, para los tratamientos de UV-C y térmicos respectivamente, y se envasaron en bandejas recubiertas con PVC perforado conteniendo 200 gramos. En el caso de las AM se prepararon envases de 200 gramos como se describe en 2.5.2:

- i) Control.*
- ii) AM.*
- iii) UV-C (20,0 kJ m⁻², 10,0 kJ m⁻² de cada lado).*
- iv) TT (45 °C, 3 min.).*

Se prepararon 20 envases para cada tiempo de almacenamiento y se almacenaron a 5 °C. A los 7 y 12 días se confeccionó un índice de deterioro según se describió en la sección 2.2.1. También se determinó el porcentaje de frutos con podredumbre blanda y la tasa respiratoria como se menciona en la sección 2.6. Las presiones parciales de O₂ y CO₂ se monitorearon como se indicó en 2.5.2.

2.6. DETERMINACIONES ANALÍTICAS

2.6.1. Podredumbre blanda, síntomas de deshidratación en la zona de corte y ataque de hongos

Se registró el porcentaje de bastones con signos de podredumbre blanda y síntomas de deshidratación durante el almacenamiento a 5 °C por 12 días. Los bastones fueron individualmente evaluados (n=240) por cada tratamiento, estado de madurez o tiempo de almacenamiento. En el caso de los tratamientos térmicos y las atmósferas controladas se utilizó un índice de podredumbre blanda, en el mismo se evaluó individualmente cada bastón utilizando la siguiente escala: 0=Sin presencia; 1=podredumbre blanda incipiente; 2=moderada; 3=grave. Y se calculó un índice de podredumbre blanda (IP) con la siguiente ecuación:

$$IP = \frac{\sum (\text{Nivel de daño} \times \text{Número de bastones en ese nivel})}{\text{Número total de bastones}}$$

Adicionalmente en los tratamientos con radiación UV-C también se registró el porcentaje de frutos con presencia de hongos.

2.6.2. Pérdida de peso

La pérdida de peso fue determinada por pesadas de grupos de 5 bastones de pimientos de las diferentes bandejas o recipientes durante el almacenamiento. Veinte replicados fueron evaluados para cada tratamiento y tiempo de almacenamiento. Los resultados fueron calculados como porcentaje de pérdida de peso.

2.6.3. Tasa respiratoria

La producción de CO₂ se midió con un sensor IR de dicho gas (ALNOR Compu-flow, Modelo 8650). Bastones de pimiento pesando aproximadamente 150 g se colocaron en un recipiente hermético y se registró la cantidad de CO₂ acumulado a 5 °C. Se efectuaron 3 determinaciones y los resultados se expresaron como mg de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. En el caso de las atmósferas controladas, en las mediciones que se efectuaron durante el almacenamiento, se cortó el flujo de gas, se cerraron las válvulas de entrada y salida de los recipientes, de forma de permitir la acumulación de CO₂ y se tomaron muestras de 1,35 mL desde el espacio cabeza a través de un septum de silicona, la muestra fue analizada por medio de un analizador de gases (Check Mate 9900 O₂/CO₂; PBI Dansensor; Dinamarca). La tasa respiratoria fue medida antes del almacenamiento o luego de 1, 7 y 12 días. Se realizaron cuatro replicados para cada tiempo de almacenamiento, estado de madurez y tratamiento. Los resultados se expresaron como mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

2.6.4. Exudado

Cinco bastones de pimiento, seleccionados aleatoriamente desde las bandejas o los recipientes, fueron comprimidos con un peso de 2 kg contra un papel de filtro ya pesado (Wi) por un tiempo de 30 s. después de esto los bastones fueron removidos y el papel de filtro fue nuevamente pesado (Wf). El jugo extraído fue calculado como la ganancia de peso del papel de filtro (Wf – Wi), y expresado como g por kg de fruto fresco. Se realizaron tres replicados por cada estado de madurez, tiempo de almacenamiento y tratamiento.

2.6.5. Fuga de electrolitos

Dos bastones de pimienta fueron pesados e incubados con 20 mL de agua destilada a 20 °C durante 5 minutos. Transcurrido este tiempo el tejido fue removido y la conductividad de la solución se midió con un conductímetro (Oakton Model 510, IL Estados Unidos). Para evaluar la cantidad residual de electrolitos en el tejido, los bastones fueron disgregados con un Omnimixer (Sorvall Inc., Norwalk, CT, Estados Unidos) con 20 mL de agua. La suspensión fue centrifugada a $10.000 \times g$ a 4 °C por 10 min y su conductividad se determinó como se describió anteriormente. Los resultados se expresaron como el porcentaje de fuga de electrolitos en 5 minutos de incubación. Se realizaron triplicados para cada tratamiento y tiempo de almacenamiento.

2.6.6. Recuento de bacterias aerobias mesófilas, mohos y levaduras

Se colocaron aproximadamente 25 g de tejido en un erlenmeyer con 225 mL de agua peptona estéril. Se agitó 15 min y se realizaron diluciones seriadas colocando 1 mL de la suspensión anterior en 9 mL de agua peptona estéril. Un mililitro de las diluciones adecuadas se sembró en cuatro placas Petrifilm® (3M, Argentina) para recuentos de aerobios totales o para el recuento de mohos y levaduras. Este procedimiento se realizó por duplicado para cada tiempo de almacenamiento y estado de madurez. Se registró el número de colonias por placa y a partir de las diluciones y del peso de tejido se calculó el logaritmo del número de unidades formadoras de colonia por gramo de fruto.

2.6.7. Color superficial

Para medir el color superficial se utilizó un colorímetro (Minolta, modelo CR-400, Japón) obteniendo los valores de a^* , b^* y L^* . Se calculó el ángulo hue como arco tangente de b^*/a^* . Se realizaron 60 medidas del lado externo de los bastones para cada tratamiento, estado de madurez y tiempo de almacenamiento.

2.6.8. Azúcares solubles en etanol

Aproximadamente a 1 g de tejido congelado en N_2 líquido y molido se le adicionaron 5 mL de etanol. La suspensión se agitó durante 30 segundos y se dejó en reposo por 30 minutos a 4 °C. Luego se centrifugó a $15.000 \times g$ por 10 min a 4 °C. Seguidamente se tomaron del sobrenadante 0,5 mL (bastones de pimienta rojo) o 1,0 mL (bastones de pimienta verde) y se llevaron a 10 mL. La determinación de azúcares se efectuó por el método de antrona (*Yemm y Willis, 1954*) o por el método de *Dubois*

et al. (1979) con modificaciones. En el método de antrona a 50 μL de muestra se le agregó 0,5 mL de agua destilada y 1 mL del reactivo de antrona en hielo. Se agitó en vortex para luego llevarlo a ebullición en baño de agua 10 minutos. Posteriormente los tubos se enfriaron y se leyó la absorbancia a 620 nm. En el método de Dubois, alícuotas de 100 μL de una adecuada dilución del extracto etanólico fueron mezclados con 500 μL de fenol al 5%, y 2,5 mL de ácido sulfúrico fueron agregados inmediatamente. Los tubos fueron agitados y calentados a 90 °C 15 min en baño de agua. Paralelamente se realizaron curvas de calibración utilizando D-glucosa como estándar. Los tubos luego fueron enfriados y se midió la absorbancia a 490 nm. Las determinaciones se realizaron por triplicado, y los resultados fueron expresados como gramos de glucosa por kg de fruto fresco.

2.6.9. Acidez y pH

A 10 g del tejido congelado y molido se le agregaron 100 mL de agua destilada. Se agitó la suspensión y se midió el pH. La misma suspensión se tituló con NaOH 0,1N hasta pH 8,2 (*AOAC, 1980*). Las medidas se realizaron por duplicado y la acidez se expresó en milimoles de protones por kilogramo de peso fresco.

2.6.10. Capacidad Antioxidante contra el radical ABTS^{•+}

La determinación fue realizada de acuerdo a *Arnao et al., (2001)*. Aproximadamente a 1 g de tejido congelado en N_2 líquido y molido se le adicionaron 5 mL de etanol, se agitó durante 30 segundos y se dejó en reposo por 30 minutos. Luego se centrifugó a 15.000 $\times g$ por 10 min a 4 °C. El sobrenadante se utilizó para las determinaciones. A 1 mL de solución del radical ABTS^{•+} (7 mM de ABTS con 2,45 mM $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$, absorbancia 0,700 +/- 0,05 a 734 nm) se le adicionaron 10 μL del extracto. La mezcla se dejó reaccionar 6 minutos y se leyó la absorbancia a 734 nm. Los resultados se expresaron como mg de Trolox por kg de fruto fresco. Se realizaron tres replicados por cada tratamiento y tiempo de almacenamiento.

2.6.11. Capacidad antioxidante contra el radical DPPH[•]

La determinación fue realizada de acuerdo a *Brand-Williams et al., (1995)* con mínimas modificaciones. Las muestras se prepararon de igual manera que en 2.6.10. A cada tubo de reacción se le adicionaron 0, 5, 10, 20, 30, 40 y 50 μL de extracto y la cantidad necesaria de agua destilada hasta llegar a 80 μL . Luego se agregaron 500 μL del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH[•]) 60 mg L^{-1} en etanol. Se midió la

absorbancia después de 60 minutos a 515 nm, se graficó el porcentaje de reducción de la absorbancia en función de la cantidad de extracto agregado y se determinó la cantidad de extracto necesaria (expresada en g) para reducir la absorbancia del DPPH[•] en un 50%, definido como EC₅₀. La capacidad antioxidante se expresó como EC₅₀⁻¹ (g⁻¹).

2.6.12. Capacidad antioxidante por el método del fosfomolibdeno

La determinación fue realizada de acuerdo a **Prieto et al., (1999)**. Dos gramos de tejido se molieron y se colocaron en 5 mL de etanol frío. Las muestras fueron centrifugadas a $9.000 \times g$ por 15 minutos a 4 °C. El sobrenadante fue colectado y el residuo fue extraído nuevamente con 5 mL de etanol y centrifugado como se mencionó anteriormente. El sobrenadante fue combinado en un volumen final de 10 mL. Un mililitro de extracto fue combinado con 1 mL del reactivo (0,6 mol L⁻¹ ácido sulfúrico, 28 mmol L⁻¹ fosfato de sodio, y 4 mmol L⁻¹ molibdato de amonio). Los tubos se incubaron a 95 °C por 90 minutos. La absorbancia de la solución fue medida a 695 nm. Se preparó una curva patrón con ácido ascórbico y la capacidad antioxidante fue expresada como mmol ácido ascórbico equivalentes por kg (mmol_{eq} AA kg⁻¹).

2.6.13. Compuestos fenólicos

La determinación de compuestos fenólicos fue realizada de acuerdo con **Obied et al., (2005)**. Para ello se colocó 1 mL del extracto etanólico preparado según se detalló en la sección 2.6.10, 1 mL de solución 0,1% (v/v) de HCl en etanol (95% v/v) y 8 mL de solución 2% (v/v) de HCl en etanol (95% v/v). La absorbancia fue medida a 280 y 320 nm para determinar los fenoles totales y los derivados del ácido hidroxicinámico respectivamente. Correspondientes curvas de calibración fueron preparadas usando soluciones etanólicas de los ácidos gálico y cafeico respectivamente. Los resultados se expresaron como mg del correspondiente patrón por kg.

2.6.14. Firmeza

-Tratamiento UV-C y térmico: Se determinó mediante dos diferentes ensayos (resistencia a la penetración y resistencia a la flexión) en un equipo Texture Analyzer (TA.XT2, Stable Micro Systems Texture Technologies, Scarsdale, NY, Estados Unidos). Para el ensayo de la resistencia a la penetración se utilizó una sonda plana de 3 mm de diámetro con la cual cada bastón de pimiento fue penetrado desde el lado opuesto a la cutícula, a una velocidad de 0,5 mm s⁻¹ y se registró la fuerza máxima alcanzada luego de 2 mm de desplazamiento de la sonda. Se realizaron 60 determinaciones para cada

condición de tiempo, tratamiento y estado de madurez. Los resultados se expresaron en Newton (N). En el ensayo de flexión los bastones de pimiento fueron colocados en una plataforma con dos puntos de apoyo separados entre sí a una distancia de 3 cm. Una sonda dentada de sección rectangular fue utilizada para desplazar el centro de los bastones una distancia de 6 mm a una velocidad de 0,5 mm s⁻¹ (UV-C) o 1,0 mm s⁻¹ (trat. térmico), registrándose la fuerza requerida para flexionar el bastón. Los resultados se expresaron como la pendiente inicial de la curva de fuerza-tiempo y se expresaron como Newton por segundo (N s⁻¹). Se realizaron 60 determinaciones para cada condición de tiempo, tratamiento y estado de madurez.

-Atmósferas controladas: Para los tratamientos de AC se procedió de la misma manera que para los demás tratamientos pero utilizando un equipo INSTRON (Modelo 2519-101, INSTRON, Estados Unidos). Además, los ensayos de punción se realizaron con una sonda de 2 mm a una velocidad de 2 mm s⁻¹. Para los ensayos de flexión se empleó un soporte con apoyos separados 1 cm entre sí y el desplazamiento se realizó con una sonda circular de 6 mm de diámetro a una velocidad de 7,5 mm s⁻¹. Se realizaron 75 determinaciones para cada tratamiento, tiempo de almacenamiento y estado de madurez.

2.6.15. Pectinas solubles en agua

Bastones de pimiento pesando 7 gramos aproximadamente fueron molidos en 20 mL de agua con un Omnimixer. La suspensión se agitó y se centrifugó a 10.000 × g por 10 min a 4 °C. Se separó el sobrenadante y se precipitó agregando 3 volúmenes de etanol frío. Las muestras fueron centrifugadas a 10.000 × g por 10 min a 4 °C, el pellet fue separado y disuelto en buffer acético/acetato de pH: 5,0 para obtener pectinas solubles en agua. Tres extracciones independientes fueron hechas por cada tratamiento y tiempo de almacenamiento. La concentración de ácidos urónicos fue determinada de acuerdo a **Blumenkrantz y Asboe-Hansen (1973)** con modificaciones menores. Se tomaron 50 µL de los extractos y se adicionó 1 mL de solución de borato de sodio 75 mM en ácido sulfúrico 98% p/p. Se llevó a ebullición por 10 min y luego se agregó a cada tubo 20 µL de *m*-fenilfenol (0,15% p/v en NaOH 0,5% p/v). Se midió la absorbancia a 520 nm. La curva de calibración se realizó utilizando una solución de ácido galacturónico (200 µg mL⁻¹) como estándar. Los resultados se expresaron como gramos de pectina por kilogramo de fruto fresco.

2.6.16. Determinación del espesor de la película utilizada en AM

El fabricante de la película utilizada para los envases de atmósfera modificada no especificaba el espesor de la misma, por tal motivo se procedió a su determinación utilizando un equipo para tal fin (Digital coating thickness Schwyz; SC 117). Se realizaron 20 mediciones en diferentes secciones de la película, los datos se promediaron y expresaron en micrómetros (μm).

2.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se analizaron por ANOVA con el paquete InfoStat versión 2010 (Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina). Las medias fueron entonces comparadas con un test de Fisher a $P < 0,05$.

**3. EFECTO DE LOS NIVELES
DE CO₂ Y O₂ SOBRE LA
CALIDAD DE PIMIENTO
FRESCO CORTADO**



3.1. INTRODUCCIÓN

3.1.1. Definición y antecedentes

El almacenamiento en atmósferas modificadas (AM) y controladas (AC) consiste en mantener los productos en una atmósfera diferente a la del aire (en promedio 78,08 kPa N₂; 20,96 kPa O₂; 0,03 kPa CO₂ y trazas de gases inertes). Generalmente involucra la reducción del nivel de oxígeno y el aumento del dióxido de carbono, aunque existen otras alternativas como el incremento del nivel de oxígeno a presiones parciales superiores a 21 kPa y la adición de otros gases (*Rojas-Graü et al., 2009*).

En las AC los niveles de gases deseados son monitoreados y en caso de ser necesario ajustados (*Sandhya, 2010*). Por su parte en las AM los niveles de gases deseados se establecen como consecuencia del equilibrio entre la producción de CO₂ y consumo de O₂ durante la respiración del producto y el intercambio que ocurre a través de una película semipermeable (*Figura 3.1*). Las AM pueden sub-dividirse en dos grupos: AM activa y AM pasiva. En las AM activas se inyecta una mezcla gaseosa en el envase compuesto por una película semipermeable en la que se encuentra contenido el producto. Contrariamente, en las AM pasivas no se realiza una inyección inicial de gases y los niveles atmosféricos deseados se logran a través del balance entre la respiración del producto y la difusión de O₂ y CO₂ a través de la película que lo recubre, es decir la atmósfera se forma por la actividad metabólica del propio vegetal. Los aspectos de diseño de sistemas de AM se describirán en la **parte 6** de esta tesis.



Figura 3.1. A) Cámaras para el almacenamiento en atmósfera controlada. B) Sistema de atmósfera modificada activa en pallets de frutilla. C) Vegetales envasados en AM.

Las AC y AM comenzaron a utilizarse en manzanas y peras en 1930 en los Estados Unidos, y su uso se expandió rápidamente (**Rodríguez-Félix et al., 2005**). En ese mismo país en la década del 80' comenzó a utilizarse en VFC para el envasado de lechuga destinada a establecimientos de comidas rápidas. Posteriormente su uso fue expandiéndose a otras hortalizas como zanahoria, papa y otros productos. En los últimos años los frutos tropicales mínimamente procesados se encuentran entre los productos con mayor demanda (**Rodríguez-Félix et al., 2005**). En Argentina, el mercado de VFC es todavía incipiente, en comparación con otros países, utilizándose procesos de preparación relativamente artesanales. En muchos casos resulta difícil establecer las mezclas gaseosas óptimas dentro de los envases (**Soleno Wilches, 2012**).

3.1.2. Efectos de las atmósferas modificadas (AM) y controladas (AC) en vegetales

Las AM y AC resultan beneficiosas para reducir el deterioro en numerosos productos, aunque la mejora es inferior a la obtenida con la refrigeración, por lo que esta tecnología debe considerarse un complemento del buen manejo de la temperatura (Rodríguez-Félix *et al.*, 2005; Kader, 2007a). Si se utilizan adecuadamente las AC y AM pueden otorgar los siguientes beneficios (**Figura 3.2**):



Figura 3.2. Posibles beneficios del empleo de AM y AC en frutas y hortalizas.

De todos modos, si no se emplean de modo apropiado o si el período de almacenamiento se prolonga las AM y AC pueden dar origen a algunos efectos no deseados como la inducción de reacciones fermentativas con la consecuente formación de metabolitos indeseados como el acetaldehído y el etanol. Por otra parte, en ciertos casos se inducen algunos desórdenes fisiológicos (pardeamiento, ablandamiento de tejidos y maduración irregular).

3.1.3. Otras atmósferas

Los estudios relacionados con el empleo de AM y AC en hortalizas no se han limitado solamente a analizar condiciones en las que se incrementa el CO₂ y se reduce el O₂. A continuación se detallan algunas alternativas que se han explorado:

a) Atmósferas superoxigenadas: El uso de presiones de oxígeno superiores a 21 kPa se han ensayado en forma experimental. Los microorganismos aerobios y anaerobios desarrollan normalmente en forma más favorable con 21 kPa y 0-2 kPa de O₂ respectivamente. En tal sentido uno de los fundamentos del empleo de presiones parciales de O₂ súperatmosféricas es que estas condiciones podrían resultar desfavorables para ambos grupos de microorganismos. **Amanatidou et al., (1999)** encontraron que el alto O₂ retrasaba el desarrollo de varios microorganismos pero a que su vez estimulaba levemente el crecimiento de otros y concluyeron que, en general, los tratamientos con atmósferas de alto oxígeno son más efectivos si se combinan con altas presiones parciales de CO₂. Atmósferas con 80 kPa de O₂ más 20 kPa de CO₂ han sido recomendadas para inhibir la actividad polifenoloxidasas y prevenir el pardeamiento en lechuga (**Escalona et al., 2006**). En uva de mesa el almacenamiento en atmósferas con 40 kPa de O₂ y 30 kPa de CO₂ mejoró la retención de la integridad de las membranas y redujo el ablandamiento. Más allá de que se haya demostrado la efectividad de las atmósferas superoxigenadas, la utilización en la industria tiene como limitantes su costo y el peligro que acarrea almacenar mezclas con alto contenido de oxígeno en las cercanías de materiales combustibles. Si bien se ha demostrado que en algunos productos la exposición a 30-80 kPa de O₂ puede resultar beneficiosa, en otros casos puede provocar toxicidad. Se han observado daños por estrés oxidativo en los productos ocasionado por la sobreproducción de especies reactivas de O₂ superando la capacidad antioxidante propia del vegetal (**Maghoumi et al., 2012**), mientras que en otros trabajos se ha sugerido inducción de mecanismos de defensa contra patógenos (**Yang et al., 2009**).

b) Almacenamiento hipobárico: En estos sistemas el producto es colocado en un recipiente en el que el aire es parcialmente eliminado. En los sistemas de vacío moderado la presión total dentro de los envases es alrededor de 40 kPa. De esta forma la presión parcial de O₂ es reducida (**Li et al., 2006**). Un efecto no deseado es la tendencia a la desecación del producto, ya que también se reduce la presión del vapor de agua dentro de los envases. Este tipo de sistemas no está ampliamente difundido y es costoso. En VFC su empleo es aún más limitado debido a la baja presión a la que es

sometido el producto, que favorece la pérdida de líquidos y su deterioro (**Rodríguez-Félix et al., 2005; Kader, 2007a**).

c) Utilización de otros gases (CO, O₃, SO₂, NO y gases nobles): El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, inodoro e insípido, muy reactivo e inflamable. Es efectivo en inhibir el pardeamiento en lechuga. También posee propiedades antimicrobianas pero comercialmente su uso es limitado debido a su alta toxicidad (**Sandhya, 2010**).

El ozono (O₃) se encuentra aprobado para su uso en alimentos en general. Tiene capacidad antimicrobiana y puede inhibir la mayor parte de bacterias, hongos, levaduras, parásitos y virus tanto en fase gaseosa como disuelto en medio líquido. En forma gaseosa se ha visto que provee beneficios como pre-tratamiento para el almacenamiento refrigerado (**Rodoni et al., 2010**). Como desventaja el gas es irritante y tóxico para el organismo, a partir de 10 µL L⁻¹, aunque es detectable por el olfato humano a concentraciones entre 0,02-0,05 µL L⁻¹. El gas residual del respectivo tratamiento debe ser destruido para prevenir el contacto con los trabajadores (**Pascual et al., 2007**).

El dióxido de azufre (SO₂) es un gas ampliamente usado en uva para prevenir las pudriciones causadas por *Botrytis cinerea*. Generalmente es efectivo a concentraciones cercanas a 100 µL L⁻¹. El mismo puede aplicarse como fumigante en cámara luego de la cosecha o puede liberarse dentro de los envases a partir de metabisulfito de sodio (Na₂S₂O₅) y agua. Sin embargo, la fitotoxicidad del SO₂ ha limitado su uso en poscosecha (**Franck et al., 2005; Ryan-Rivera et al., 2013**).

El óxido nítrico (NO) posee diversas funciones biológicas en animales y plantas. En vegetales está relacionado, entre otras cosas, con la producción de etileno y con el estrés y la senescencia. Su aplicación directa, o a través de la liberación de diferentes compuestos, ha resultado favorable en frutilla y otros cultivos (**Bowyer y Wills 2003; Zhu y Zhou, 2007**). El NO se ha utilizado en forma gaseosa en atmósferas anaeróbicas con tratamientos que duraban algunas horas. Igualmente su aplicación a gran escala es prácticamente nula.

Por último, los gases nobles son una familia de elementos caracterizados por ser no reactivos o inertes, incluyen al helio (He), argón (Ar), xenón (Xe) y neón (Ne). Si

bien han sido utilizados en los envases para café o *snacks*, desde el punto de vista tecnológico difícilmente tengan una ventaja con respecto a la utilización de N₂ dado que su costo es más elevado (*Sandhya, 2010*).

3.1.4. Aspectos tecnológicos del almacenamiento en AC

Existen varios sistemas comerciales de envasado en atmósferas controladas. Generalmente estos sistemas de control activo de la atmósfera a nivel industrial son costosos debido a la necesidad de mantener constantes los niveles de gases. Por tal motivo se emplean para el almacenamiento de grandes cantidades de producto normalmente a granel, en contenedores, o cámaras de almacenamiento.

a) Control de CO₂: El aumento de CO₂ puede obtenerse mediante tubos de gas presurizado o utilizando hielo seco, este último es más común durante el transporte. Para la reducción del CO₂ se pueden usar métodos de depuración empleando hidróxido de sodio, agua, carbón activado, cal hidratada (hidróxido de calcio) o tamices moleculares. Un método simple es el bombear salmuera sobre el serpentín del evaporador para que absorba el CO₂ (*Kader, 2007a*).

b) Control de oxígeno: Se puede reducir el nivel de oxígeno haciendo recircular el aire de la cámara de almacenamiento. Otros métodos para ajustar el nivel de oxígeno se basan en la purga con nitrógeno gaseoso obtenido a partir de la evaporación de la forma líquida, o en el uso de tamices moleculares o membranas que separen el oxígeno del aire. Los quemadores de llama o catalíticos se pueden usar para consumir el O₂ en el aire entrante a la cámara, aunque en tal caso es necesario controlar el CO₂ generado (*Farber et al., 2003*).

c) Control de etileno: El etileno (C₂H₄) es una hormona con un papel central en la regulación de la maduración y en el desencadenamiento de la senescencia en numerosos productos frutihortícolas. Es fisiológicamente activo en muy baja concentración (<0,1 μL L⁻¹), promoviendo el ablandamiento y otras reacciones involucradas en el deterioro. Su control es importante en el caso de frutos muy sensibles, como el kiwi y la palta. También es importante en el almacenamiento

prolongado de manzana y pera, puesto que se encuentra involucrado en la inducción de desórdenes fisiológicos como la escaldadura superficial (**Kader, 2007a**). Dado que las cámaras de AC no se ventilan para eliminar el etileno, el control de sus niveles se puede realizar por circulación del aire a través de sustancias oxidantes como el permanganato de potasio combinado con adsorbentes tales como el carbón activado y zeolitas. También pueden utilizarse sistemas de depuración catalíticos en los que el etileno es oxidado a CO₂ y agua, y luego removido del cuarto de almacenamiento (**Farber et al., 2003**).

3.1.5. Niveles óptimos de CO₂ y O₂

Las respuestas a las AM y AC difieren marcadamente dependiendo del producto considerado (**Tabla 3.1**). Así por ejemplo las peras, manzanas, frutillas y brócoli muestran marcados beneficios del uso de AM o AC mientras que en otras especies las mejoras son moderadas (ej. uva, cítricos, tomate, pimiento) (**Farber et al., 2003**). Por otra parte, es importante destacar que pueden existir diferencias en las atmósferas óptimas para un órgano dado dependiendo de si este se encuentra entero o procesado (**Rodríguez-Félix et al., 2005; Kader 2007a**). Esto puede deberse a la mayor actividad metabólica de los VFC, o bien a su menor tiempo de almacenamiento, que determina que los factores limitantes de su vida poscosecha sean diferentes. Por ejemplo, en muchos VFC las pudriciones se manifiestan antes de que los daños por alto CO₂ o bajo O₂ u otras alteraciones fisiológicas lleguen a evidenciarse. Tal es el caso de la lechuga que entera debe almacenarse con muy bajo CO₂ (niveles superiores a 1 kPa favorecen el desarrollo de mancha parda), mientras que una vez procesada es recomendable aumentar el CO₂ hasta 10 kPa para evitar el pardeamiento enzimático (**Farber et al., 2003**). Otros casos en los que se observan diferencias entre atmósferas recomendadas para productos enteros o frescos cortados son zanahoria y pera (**Tabla 3.1**).

Tabla 3.1. Niveles de CO₂ y O₂ óptimos para el almacenamiento de frutas y hortalizas enteras o frescas cortadas (Farber et al., 2003; Rodríguez-Félix et al., 2005; Sandhya, 2010).

Producto	Temp. (°C)	CO ₂ (kPa)	O ₂ (kPa)
Manzana (entera)	0-3	1-3	2
Manzana (cubos)	4	12	2
Pera (entera)	0-5	0-3	3
Pera (rodajas)	0-5	<10	0,5
Kiwi (entero)	0	0	1-2
Kiwi (rodajas)	0	5-10	2-4
Naranja (entera)	5	0-5	5-10
Naranja (gajos)	4	1,5-6,0	15-19
Lechuga (hoja entera)	0	0	1-3
Lechuga (trozada)	0	5-20	1-5
Zanahoria (entera)	0-5	3	5
Zanahoria (rallada)	3	10	10
Tomate (entero)	10-15	3-5	3-5
Tomate (rodajas)	5	12	1
Cebolla (entera)	0	0-10	1-2
Cebolla trozada	10	4,1-6,6	1,5-3
Pimiento entero	7,5	5	1-3
Pimiento trozado	0-7	3-10	2-10

En pimiento entero algunos estudios de almacenado en AM mostraron que no existe notable mejora en el mantenimiento de la calidad (Koide y Shi, 2007; Akbudak, 2008). Sin embargo, los resultados hallados en la literatura respecto al efecto de la disminución de la tensión de oxígeno son llamativamente variables. El almacenamiento con bajo O₂ mostró resultados diversos desde la falta de beneficios (Mercado et al., 1995), hasta un marcado control de enfermedades (Luo y Mikitzel, 1996). Los estudios previos que evaluaron la eficacia de las AM y los efectos del CO₂ sobre el

almacenamiento de pimiento cortado mostraron también diferencias entre sí. Así **López-Gálvez et al. (1997)** concluyeron que el almacenamiento en AC evitó el deterioro por 12 días, pero en otro trabajo atmósferas con 10 kPa CO₂ y 2 kPa O₂ fueron eficaces en mantener la calidad por 21 días (**González-Aguilar et al., 2004a**). **El-Bassuoni y Cantwell (1994)** encontraron daños (mayor ablandamiento y fuga de electrolitos que en aire) en pimiento verde cortado almacenado con presiones de CO₂ de 10 kPa, mientras que en otro estudio atmósferas con este nivel de CO₂ no provocaron ningún daño evidente (**González-Aguilar et al., 2004a**). Parte de estas diferencias pueden deberse a la variedad utilizada, pero esto no ha sido determinado. Otros trabajos publicados en los que se analiza el almacenamiento en AM de pimientos frescos cortados se centraron en un único estado de maduración (**Howard y Hernández Beñez, 1997; González-Aguilar et al., 2004a**). Por consiguiente, resulta importante complementar la información disponible con relación al empleo de atmósferas modificadas en pimientos frescos cortados. En ese sentido, se determinó el efecto de una serie de combinaciones de CO₂ (0; 2,5; 5,0; 10,0 y 15,0 kPa) y O₂ (2,5; 5,0 y 20,0 kPa) sobre la apariencia y propiedades físicas, químicas y microbiológicas de pimiento fresco cortado en estado de madurez verde y rojo.

3.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.2.1. Objetivos específicos

-Determinar si los pimientos frescos cortados pueden almacenarse a 5 °C sin que aparezcan apreciables síntomas de daño por frío al final de su vida útil.

-Identificar los niveles óptimos de CO₂ y O₂ para el almacenamiento de pimientos verdes y rojos frescos cortados; evaluar si estos muestran diferencias en la tolerancia a los bajos niveles de O₂ y al enriquecimiento de la atmósfera con CO₂.

-Determinar el efecto de la atmósfera seleccionada sobre la calidad sensorial, nutricional y microbiológica de pimientos cortados en estado de madurez verde y rojo refrigerados.

3.2.2. Hipótesis

-A pesar de tratarse de una especie susceptible al daño por frío, el pimiento fresco cortado tanto en estado verde como rojo puede almacenarse hasta el final de su vida útil sin que se manifiesten síntomas marcados del mencionado desorden.

-Los pimientos frescos cortados muestran mejor respuesta a las AC/AM que los frutos enteros y los frutos verdes y rojos no muestran la misma tolerancia a los bajos niveles de O₂ y al enriquecimiento de la atmósfera con CO₂.

-Las atmósferas óptimas para el almacenamiento permiten retrasar en forma marcada la pérdida de calidad sensorial, nutricional y microbiológica de pimientos cortados en estado de madurez verde y rojo refrigerados.

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Selección de las presiones parciales óptimas de O₂ y CO₂

La temperatura recomendada para el almacenamiento de pimiento entero es de 7 a 10 °C, debido a que son frutos sensibles al frío (**Cantwell, 2013**). En el caso de pimiento fresco cortado, la temperatura óptima de almacenamiento muestra discrepancias entre los trabajos realizados hasta la fecha. **Kang y Lee (1997)** observaron que, al igual que para frutos enteros, la vida poscosecha de pimiento fresco cortado fue determinada principalmente por el daño por frío. Algunos trabajos sugieren que los productos mínimamente procesados son menos sensibles a las bajas temperaturas (**Watada et al., 1996**). **González-Aguilar et al. (2004a)** indicaron que el almacenamiento de pimiento cortado fue limitado por el deterioro microbiano, y concluyeron que el almacenamiento a 5 °C es beneficioso, ya que no llegan a manifestarse desórdenes por frío en el período de conservación. En nuestro trabajo tampoco se observaron síntomas de daño por frío en los bastones de pimiento a 5 °C. A pesar de que los frutos con menor madurez suelen tener mayor susceptibilidad, los frutos verdes tampoco evidenciaron escaldaduras u otros síntomas asociados al daño por frío aún luego de 12 días. En tal sentido, 5 °C es una temperatura apropiada para el almacenamiento de pimientos frescos cortados. Las principales causales de deterioro para ambos estados de madurez fueron el ablandamiento excesivo, la podredumbre blanda y el exudado. Luego de 7 días a 5 °C todos los pimientos en AC presentaron menor índice de deterioro que el control, excepto los bastones verdes en los que se empleó el mayor nivel de CO₂ (15,0 kPa) (**Figuras 3.3 y 3.4**), que evidenciaron mayor maceración de tejidos y desarrollo de sabores y olores desagradables (*off flavor*). Los niveles excesivos de CO₂ inducen el daño de tejidos en los vegetales (**Rojas-Graü et al., 2009**). De todos modos, los niveles umbrales para ocasionar fitotoxicidad son extremadamente variables según la especie considerada y su nivel de procesamiento (**Tabla 3.1**). En pimiento entero almacenado a 5 °C, **Mercado et al. (1995)**, encontraron una alta tasa de ablandamiento y una reducción de la calidad visual cuando se incrementó el CO₂ de 5,0 a 10,0 kPa CO₂. Trabajos previos en pimiento fresco cortado también mostraron que atmósferas con 10,0 kPa de CO₂ pueden favorecer respuestas de estrés, tales como el aumento marcado de la respiración y daño, así como el incremento en la fuga de electrolitos (**El-Bassuoni y Cantwell, 1994**).

Contrariamente **Manolopoulou et al. (2012)** describieron que AM activas con 5,0 kPa O₂ y 10,0-15,0 kPa de CO₂ redujeron la pérdida de calidad de pimiento sin causar daños aparentes por exceso de CO₂. En otro estudio en bastones de pimiento verde almacenado en AM pasiva, que alcanzó 10 kPa de CO₂, los efectos en el mantenimiento de la calidad fueron favorables (**González-Aguilar et al., 2004a**). En función de estas contradicciones normalmente se recomienda un amplio rango de CO₂ para pimiento procesado que va de 5,0 a 10,0 kPa independientemente del estado de madurez (**Gorny, 2001**). A partir de los resultados del presente trabajo se observa que:

- 15 kPa de CO₂ parece un nivel excesivo tanto para pimientos verdes como rojos (**Figuras 3.3 y 3.4**),
- El rango de CO₂ normalmente recomendado (5-10 kPa) parece apropiado en términos generales.
- De todos modos niveles cercanos al extremo superior (10 kPa) parecieran aumentar los beneficios en el control del deterioro en pimiento verde y reducirlo en frutos rojos. En tal sentido los resultados indican que los frutos maduros no poseen mayor resistencia al CO₂, como ha sido sugerido en un estudio en pimiento entero (**Mercado et al., 1995**).

La reducción del O₂ en pimiento cortado ha sido muy poco estudiada. La mayoría de los trabajos de AC/AM han evaluado sólo una presión parcial próxima a los 3 kPa (**El-Bassuoni y Cantwell, 1994; López-Gélvez, 1997; Conesa et al., 2007**). Por su parte, en pimiento entero el efecto es confuso, en algunos casos la reducción de oxígeno no deriva en ningún beneficio (**Mercado et al., 1995**), mientras que en otros se reportó un marcado control de las pudriciones (**Luo y Mikitze, 1996**).

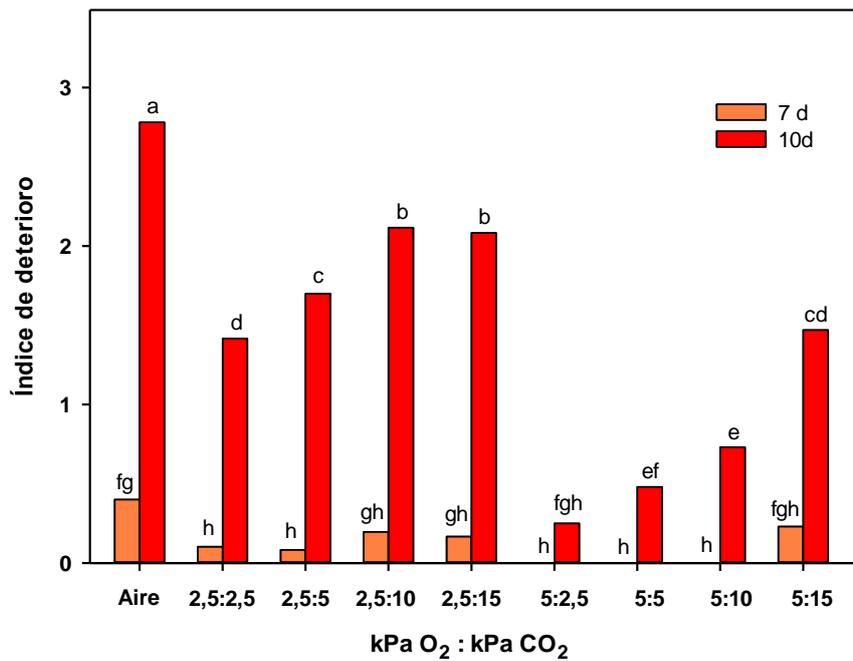


Figura 3.3. Índice de deterioro de bastones de pimiento rojo, almacenados con diferentes presiones parciales de CO₂ y O₂ (AC) a 5 °C por 7 y 10 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Las bajas presiones parciales de O₂ pueden dar lugar a reacciones fermentativas, esto normalmente ocurre cuando se baja de niveles de 2,0 kPa (**Farber et al., 2003**). **Conesa et al. (2007)** evidenciaron síntomas de fermentación en pimientos verdes cortados a 3,0 kPa de O₂. Sin embargo, en el presente trabajo no se detectaron síntomas de respiración anaeróbica en ninguna de las presiones parciales de O₂ o estados de madurez. Contrariamente a lo normalmente recomendado (3 kPa), en pimiento rojo se obtuvieron mejores resultados con 5,0 que con 2,5 kPa de O₂ (**Figuras 3.3 y 3.4**). Para pimiento verde no hubo diferencias entre 2,5 y 5,0 kPa de O₂. Analizando todos los tratamientos los mejores comportamientos se lograron con 2,5-5,0 kPa de O₂ y 5,0-10,0 kPa de CO₂ en pimiento verde (**Figura 3.4**). Los frutos rojos de mejor respuesta fueron los almacenados con 5,0 kPa O₂ y 5,0 kPa CO₂ (**Figura 3.3**).

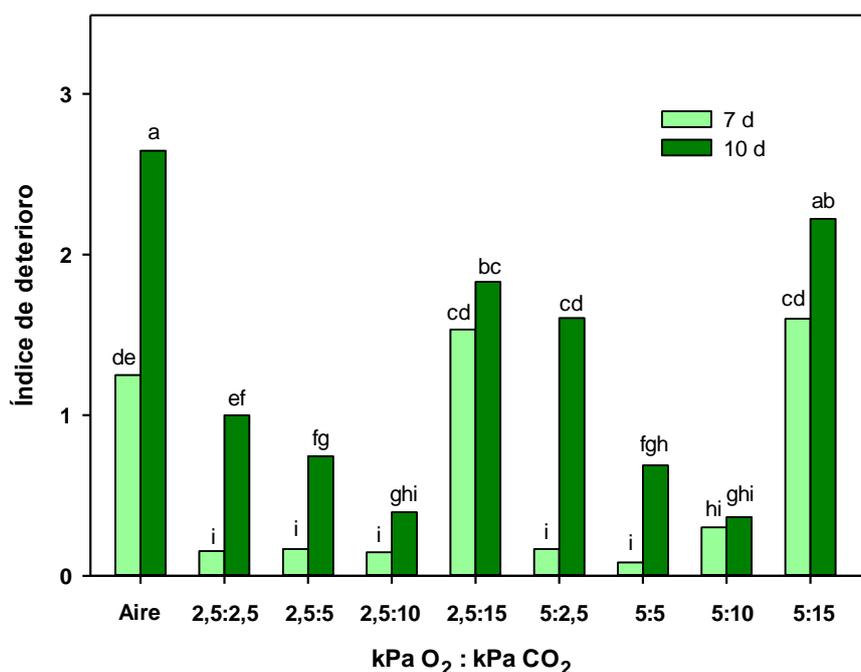


Figura 3.4. Índice de deterioro de bastones de pimiento verde almacenados con diferentes presiones parciales de CO₂ y O₂, (AC) a 5 °C por 7 y 10 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

A partir de los resultados obtenidos se seleccionó la atmósfera conteniendo 5,0 kPa O₂ y 5,0 kPa CO₂, para ambos estadios de madurez, con el objetivo de evaluar en más detalle el efecto sobre la calidad organoléptica, microbiológica y nutricional de los frutos.

3.3.2 Efecto de los tratamientos con las atmósferas seleccionadas sobre la calidad poscosecha de pimiento verde y rojo refrigerado

a) Pérdida de peso y podredumbre blanda: La pérdida de peso se incrementó durante el almacenamiento tanto en frutos verdes como en rojos, aunque no se observaron síntomas de deshidratación superficial. Durante la primera semana la pérdida de peso se ubicó en torno al 1-1,5% (**Figuras 3.5**). En pimientos enteros la susceptibilidad a la pérdida de peso disminuye en la medida que avanza la maduración (**Díaz-Pérez et. al., 2007**). De todos modos, una vez trozados, la superficie interna de los frutos muestra menor resistencia al flujo de vapor de agua que la zona cuticular por lo que pueden diferir las respuestas entre frutos enteros y frescos cortados. De hecho

los pimientos rojos trozados fueron levemente más susceptibles a la deshidratación que los verdes. Más allá de las diferencias debidas al estado de madurez, es importante destacar que los bastones almacenados en AC presentaron menor deshidratación que el control.

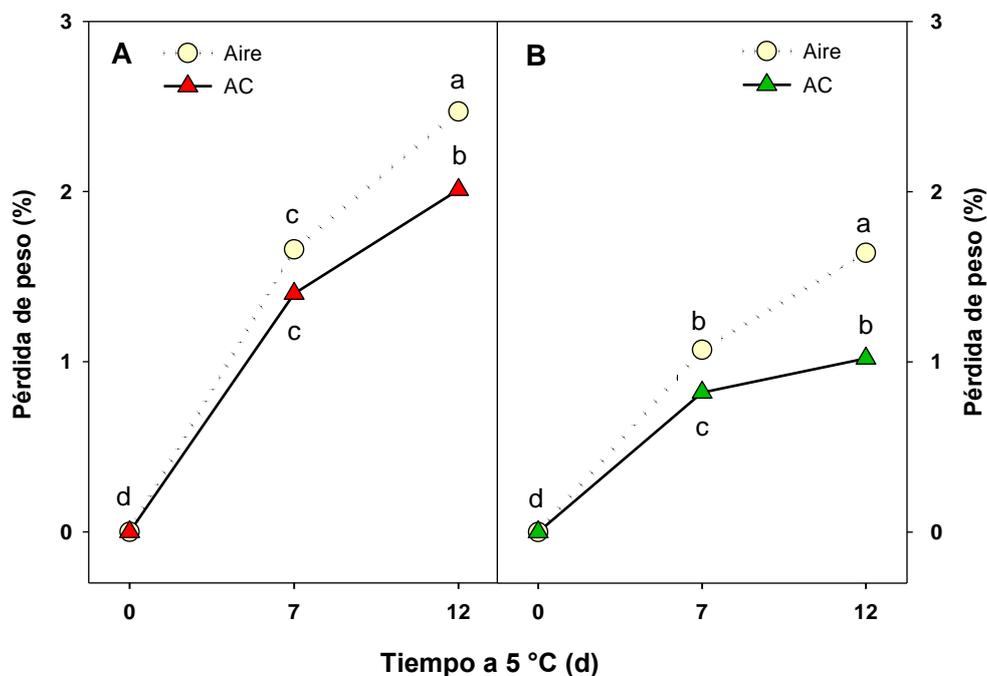


Figura 3.5. Pérdida de peso en pimiento A) rojo y B) verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

En frutos verdes en AC la pérdida de peso fue 20% menor que en los conservados en aire a los 7 días. La diferencia fue aún más marcada al final del período de almacenamiento. Luego de 12 d a 5 °C los frutos rojos mantenidos en aire presentaron una pérdida de peso de 2,5%, comparada con 2,0% de los bastones en AC.

Escalona et al. (2004) encontraron que en frutos enteros el almacenamiento en AM (8-12 kPa O₂ con 6-9 kPa CO₂) disminuía las pudriciones. Contrariamente con 11 o 14 kPa O₂ + 5,6 o 2,3 kPa CO₂ no se detectaron mejoras (**Koide y Shi, 2007**). En el presente trabajo los bastones verdes presentaron una menor incidencia de podredumbre blanda que los rojos. A los 7 días los síntomas de podredumbre blanda fueron leves aunque se incrementaron marcadamente al final del almacenamiento. La

incidencia de podredumbre blanda fue 6 y 8 veces menor en los frutos verdes y rojos respectivamente mantenidos en AC (**Figura 3.6**). Similares resultados fueron hallados por **Luo y Mikitzel, 1996**. En este caso no se observó desarrollo de micelio derivado del ataque de hongos. En síntesis, el almacenamiento con 5,0 kPa de CO₂ y 5,0 kPa de O₂ permitió reducir marcadamente el ataque microbiano, la deshidratación y mantener la apariencia (**Figura 3.7**) de frutos de pimiento fresco cortado permitiendo incrementar los beneficios de la refrigeración.

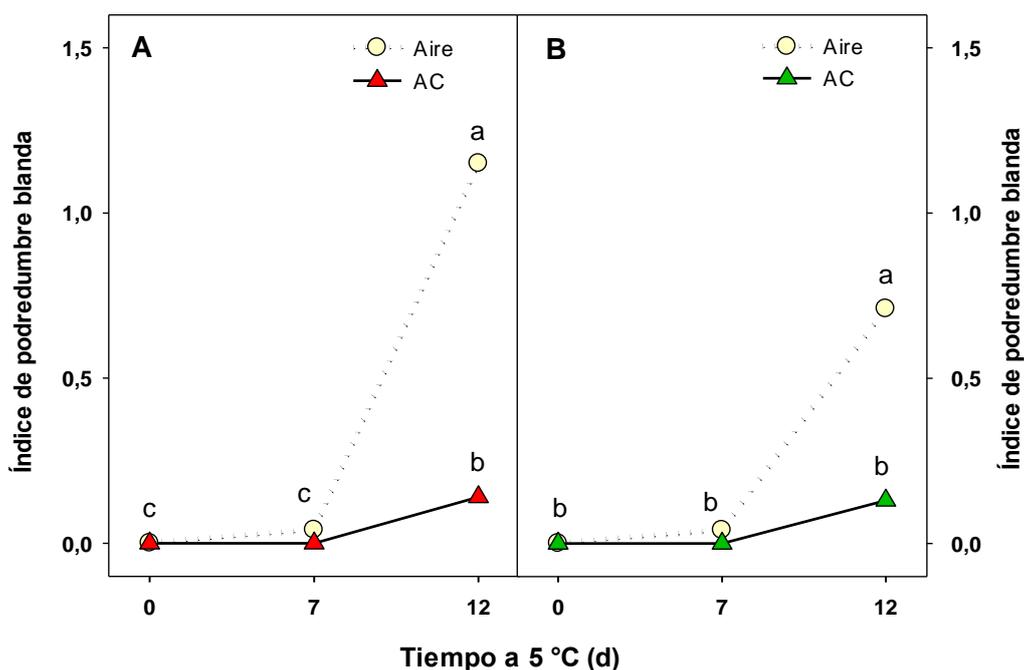


Figura 3.6. Podredumbre blanda en pimiento A) rojo y B) verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

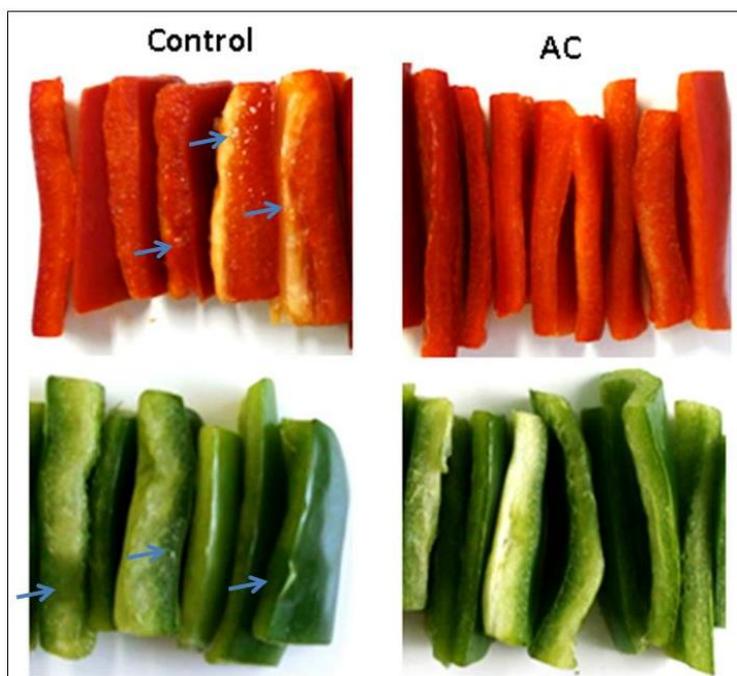


Figura 3.7. Apariencia en pimiento verde y rojo fresco cortado almacenado por 12 d a 5 °C en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC). Las flechas celestes indican zonas de maceración y podredumbre blanda.

b) Tasa respiratoria, exudado y fuga de electrolitos: La respiración es un indicador de la actividad metabólica de las frutas y hortalizas, por lo que su control resulta efectivo para reducir el deterioro y extender la capacidad de almacenamiento (Watada et al., 1996). La tasa respiratoria (TR) es dependiente del fruto considerado así como su estado de madurez. Los frutos verdes mostraron menor TR que los rojos. Inmediatamente luego del procesamiento ésta se ubicó en valores de 11 y 8 mg kg⁻¹ h⁻¹ para los bastones rojos y verdes respectivamente (Figura 3.8). La actividad metabólica se encuentra también determinada por otros factores como el grado de procesamiento, la temperatura del aire y la composición atmosférica (Silva Oliveira et al., 2005). El almacenamiento en AM y AC a bajos tenores de O₂ y elevado CO₂ reduce la tasa respiratoria de productos enteros así como también de frescos cortados (Lammertyn et al. 2001; Escalona et al., 2006).

A pesar de que los pimientos son frutos no-climatéricos, la tasa respiratoria de los bastones se incrementó durante el almacenamiento. Esto probablemente resultó del deterioro de los tejidos y de la activación de la glicólisis y ciclo de Krebs en

respuesta al estrés como se ha reportado (**Baldwin y Bai, 2011**). Los pimientos verdes y rojos frescos cortados almacenados bajo 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ mantuvieron menores TR. Después de 1 día de almacenamiento la TR de los frutos en aire prácticamente duplicó la de los bastones conservados en AC.

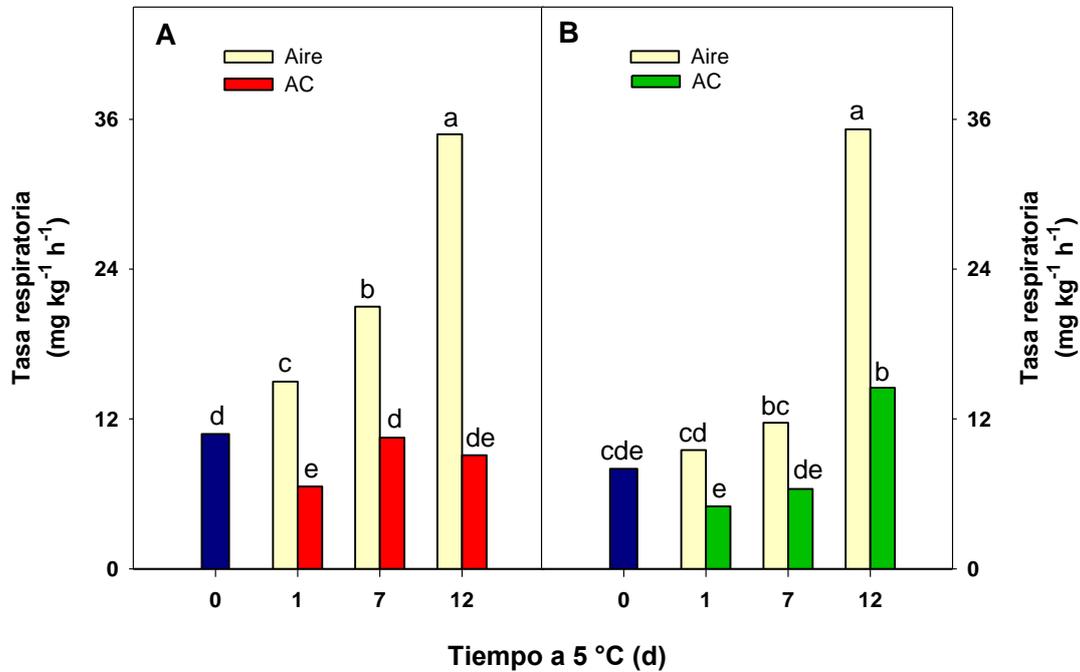


Figura 3.8. Tasa respiratoria en pimiento A) rojo y B) verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 1, 7 y 12 d. Las barras azules muestran la tasa respiratoria antes del almacenamiento. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05.

El menor incremento en la respiración de los bastones puede asociarse a una menor disrupción de tejidos (**Escalona et al., 2006**), o también a la reducción del pH intercelular por disolución parcial de CO₂, hecho que puede modular la actividad de algunas enzimas respiratorias (**Bown, 1985**). Al final del período de almacenamiento los bastones verdes y rojos presentaron una TR cercana a 35 mg kg⁻¹ h⁻¹. El almacenamiento en AC conservó la respiración a un nivel 3 veces menor que los frutos en aire. Similares resultados fueron obtenidos por **Conesa et al. (2007)** con bajos niveles de O₂.

El grado de deterioro de los tejidos se evaluó por determinación de la fuga de electrolitos (FE) y del exudado de jugo (EX). Luego de 7 días a 5 °C los bastones conservados en aire mostraron valores más elevados de FE que los tratados. Las diferencias fueron muy marcadas después de 12 días de almacenaje (**Figura 3.9**). El EX se incrementó marcadamente hacia el final ensayo, mostrando los frutos bajo 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ menores niveles que los almacenados en aire (**Figura 3.10**). Estos resultados muestran que la condición de AC seleccionada permitió simultáneamente reducir en forma significativa el daño de bastones de pimiento verde y rojo y su tasa metabólica.

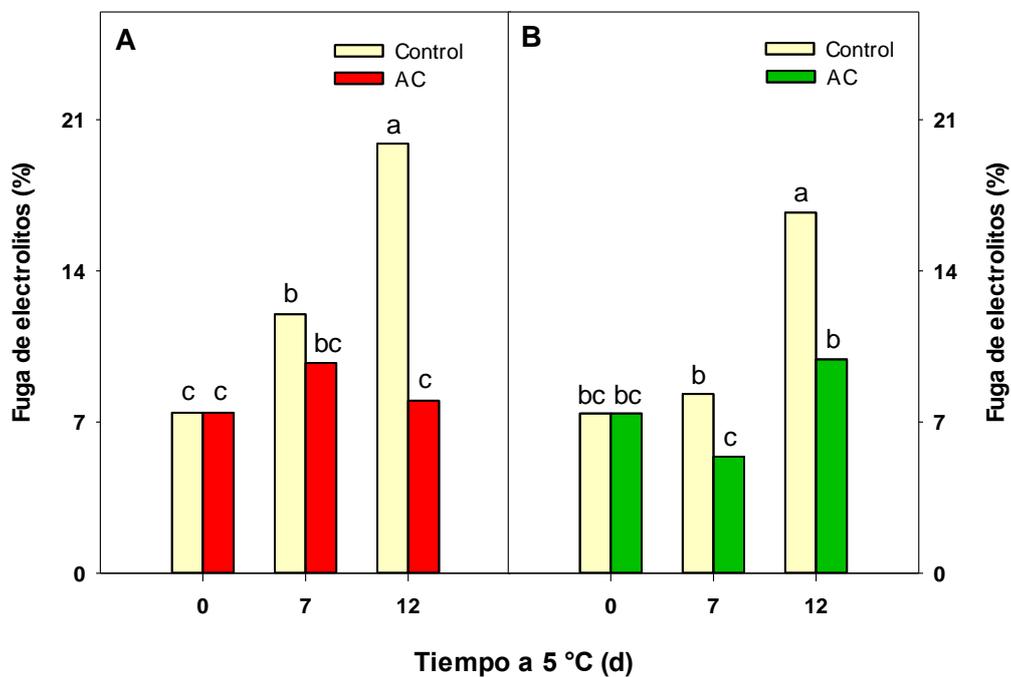


Figura 3.9. Fuga de electrolitos en pimiento A) rojo y B) verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

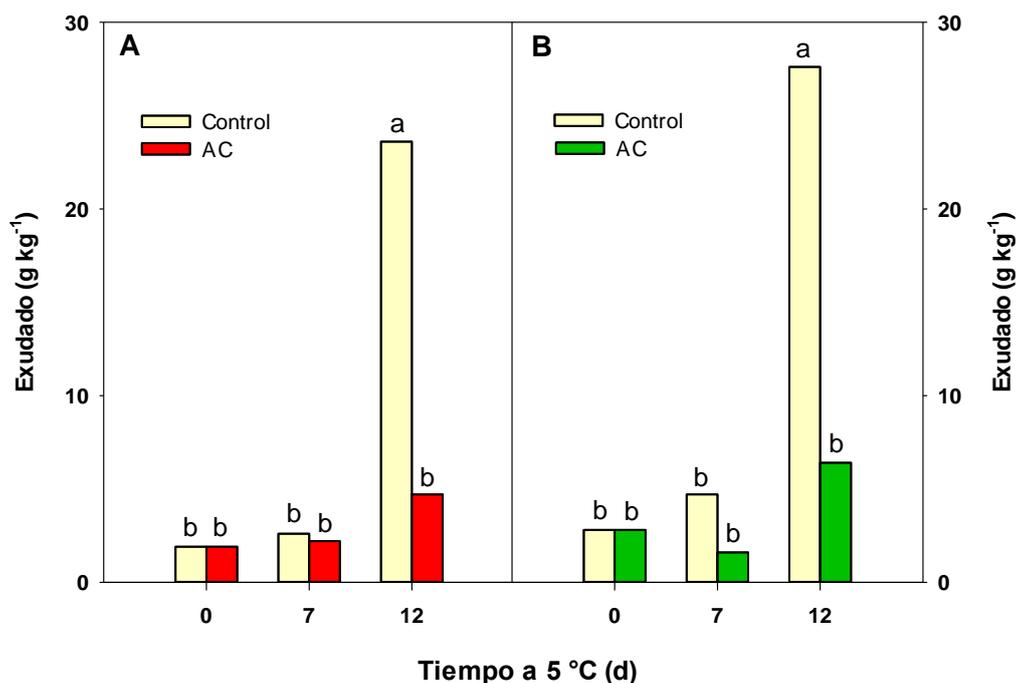


Figura 3.10. Exudado en pimiento A) rojo y B) verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

c) Color, azúcares, acidez, capacidad antioxidante, fenoles totales y ácc. hidroxicinámicos:

A pesar de que la AC seleccionada redujo marcadamente el deterioro de los frutos, resultaba necesario que no se ocasionara modificaciones indeseables en aspectos relacionados con la apariencia, sabor y valor nutricional del producto. El color es una característica importante para la comercialización de los vegetales frescos. La luminosidad se incrementó durante el almacenamiento en ambos estados de madurez, los valores de hue disminuyeron en pimiento maduro indicando el desarrollo de un color más rojo, mientras que en verde no se evidenciaron cambios. No se observaron diferencias en color debidas al almacenamiento en AC (**Tablas 3.2 y 3.3**).

La acidez titulable fue mayor en pimiento rojo en consonancia con valores inferiores de pH. Estos parámetros, al igual que la capacidad antioxidante, no fueron marcadamente afectados por el almacenamiento en AC. El principal antioxidante hidrofílico en pimiento es el ácido ascórbico, y su contenido generalmente aumenta durante la maduración (**Kumar y Subba-Tatta 2009**). Igualmente estos cambios han

sido muy dependientes de la variedad considerada (**Howard et al., 2000; Ornelas-Paz et al., 2013**). En este trabajo, la capacidad antioxidante de los frutos maduros fue mayor que la de los frutos inmaduros. Durante el almacenamiento la capacidad antioxidante se mantuvo sin marcadas variaciones alrededor de 7 mmol_{eq} AA kg⁻¹ para pimiento rojo y 4 mmol_{eq} AA kg⁻¹ para pimientos verdes, sin mayores diferencias debidas a la AC.

Tabla 3.2. Luminosidad (L*), color (hue), azúcares, acidez, pH, antioxidantes, fenoles totales y ácidos hidroxicinámicos en pimiento rojo fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Valores seguidos de distintas letras indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P < 0,05.

		Tiempo a 5 °C (d)		
		0	7	12
Luminosidad (L*)	Control	28,2c	29,4b	30,0b
	AC	28,2c	29,2b	31,7a
Color (hue)	Control	32,0a	30,3b	30,6b
	AC	32,0a	30,8b	29,9b
Azúcares (g kg ⁻¹)	Control	39a	37a	40a
	AC	39a	41a	40a
Acidez (mmol H ⁺ kg ⁻¹)	Control	28bc	29b	25cd
	AC	28bc	33a	24d
pH	Control	5,25ab	5,20b	5,27ab
	AC	5,25ab	5,00c	5,43a
Antioxidantes (mmol _{eq} AA kg ⁻¹)	Control	7,3a	6,9a	6,7a
	AC	7,3a	6,7a	7,5a
Fenoles totales (mg kg ⁻¹)	Control	193,3a	176,1b	176,7b
	AC	193,3a	158,4c	159,9c
Ácc. hidroxicinámicos (mg kg ⁻¹)	Control	106,3a	95,2b	98,8ab
	AC	106,3a	85,1c	82,3c

Algunos estudios han mostrado que el almacenamiento en AC puede reducir los niveles de ácido ascórbico, de hecho en pimiento verde el mismo fue 28% menor en AC (20 kPa O₂ + 15 kPa CO₂) que en aire luego de 10 días a 5 °C (**Conesa et al., 2007**). Igualmente los resultados hallados en la literatura son variables. **González-Aguilar et al. (2004a)** no encontraron cambios en este antioxidante durante el almacenamiento en AM ni a 5 ni a 10 °C. En nuestro trabajo la AC no afectó el nivel de antioxidantes.

También fueron examinados los fenoles totales (FT) y los ácidos hidroxicinámicos (HCAs) (**Tablas 3.2 y 3.3**).

Tabla 3.3. Luminosidad (L*), color (hue), azúcares, acidez, pH, capacidad antioxidante, fenoles totales y ácidos hidroxicinámicos en pimiento verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Valores seguidos de distintas letras indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P < 0,05.

		Tiempo a 5 °C (d)		
		0	7	12
Luminosidad (L*)	Control	30,6b	33,7a	34,3a
	AC	30,6b	33,8a	33,0a
Color (hue)	Control	125,8a	124,4a	124,9a
	AC	125,8a	124,4a	125,9a
Azúcares (g kg ⁻¹)	Control	21a	21a	20a
	AC	21a	21a	19a
Acidez (mmol H ⁺ kg ⁻¹)	Control	11b	11b	13a
	AC	11b	11b	12b
pH	Control	5,81b	5,62c	5,86ab
	AC	5,81b	5,72bc	6,01a
Antioxidantes (mmol _{eq} AA kg ⁻¹)	Control	4,3a	4,1a	4,6a
	AC	4,3a	3,7a	4,6a
Fenoles totales (mg kg ⁻¹)	Control	121,6c	144,9b	177,8a
	AC	121,6c	148,9b	157,6ab
Ácc. hidroxicinámicos (mg kg ⁻¹)	Control	84,0b	89,5ab	110,7a
	AC	84,0b	93,1ab	99,9ab

Los valores iniciales de estos compuestos concuerdan con los encontrados por **Howard et al. (2000)**. En este caso se observó una respuesta al almacenamiento variable según el estado de madurez de los frutos. En los pimientos rojos los compuestos fenólicos presentaron una tendencia a la reducción durante la poscosecha. Contrariamente en pimiento verde los antioxidantes de naturaleza fenólica se incrementaron durante el almacenamiento. Los frutos rojos tratados presentaron menores cantidades de FT y HCAs en comparación con los almacenados en aire, a los 7 y 12 días. Al final del almacenamiento en frutos verdes presentaron una tendencia a contener menor concentración de fenoles, ambos FT y HCAs. Algunos estudios han sugerido que el advenimiento de la senescencia o el daño de los tejidos

puede resultar en un mayor contenido de componentes de naturaleza fenólica (*Mateos et al., 1993; Beltrán et al., 2005*).

d) Bacterias, mohos y levaduras: Inicialmente los recuentos de bacterias y mohos y levaduras fueron alrededor de 3,9 log UFC g⁻¹ y 3,3 log UFC g⁻¹ respectivamente para pimientos rojos y verdes (*Figuras 3.11 y 3.12*). Los recuentos de bacterias se incrementaron durante el almacenamiento pero este incremento fue retrasado por las AC. Atmósferas con bajo O₂ combinado con alto o moderado CO₂ han retrasado el desarrollo microbiano en diferentes productos mínimamente procesados (*Cartaxo et al., 1997; Bai et al., 2003; Oms-Oliu et al., 2008*). Los altos niveles de CO₂ tienen efectos fungi- y bacteriostáticos. Se ha observado que a elevadas presiones parciales de CO₂ se prolonga la duración de la fase de retardo del crecimiento y el tiempo de generación de varios microorganismos. Esto es particularmente marcado en el caso de las bacterias Gram-negativas y hongos y en mucho menor medida en levaduras (*Enfors y Molin, 1978; Bai et al., 2003; Rojas-Graü et al., 2009*). Los bajos niveles de O₂ también pueden retrasar el crecimiento de microorganismos aeróbicos como *Pseudomonas spp.* y microaerófilos como algunas especies del género *Lactobacillus* (*Sivertsvik et al., 2002; Farber et al., 2003; Rojas-Graü et al., 2009*). De todos modos es importante mencionar que a partir de los resultados hallados cuando se evaluaron las diferentes condiciones de AC (*Figuras 3.3 y 3.4*), se desprende que en pimiento rojo la reducción de O₂ por debajo de 5,0 kPa disminuye los beneficios obtenidos, seguramente por daño al propio vegetal.

Otro aspecto llamativo es que al final del almacenamiento los pimientos verdes no mostraron menores recuentos de bacterias que el control (*Figura 3.11*) aunque sí menor incidencia de podredumbre blanca (*Figura 3.6*). Esto sugiere que parte de los efectos de las AC se deben a una mejora en el mantenimiento del estado de los frutos.

El efecto de la AC sobre los recuentos de mohos y levaduras fue también más marcado en pimiento rojo que en verde. En pimiento rojo los recuentos de mohos y levaduras muestran un progresivo incremento en aire alcanzando los 7,2 log UFC g⁻¹ a los 12 días, mientras que los mantenidos en AC se mantienen en 4,6 log UFC g⁻¹ (*Figura 3.12*).

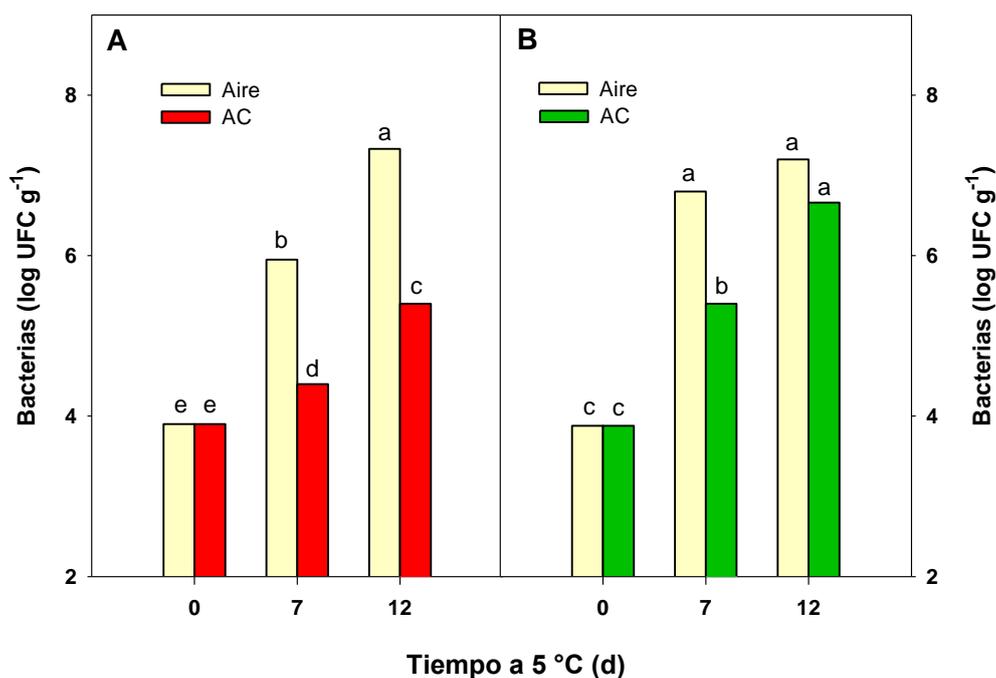


Figura 3.11. Recuento de bacterias aerobias mesófilas en pimiento A) rojo y B) verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

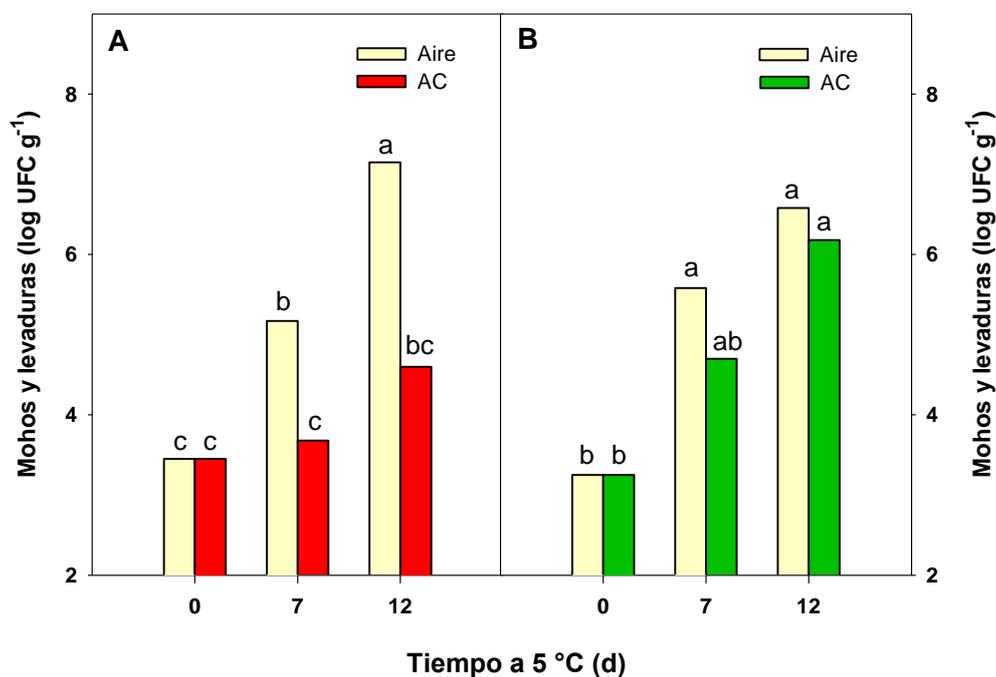


Figura 3.12. Recuento de mohos y levaduras en pimiento A) rojo y B) verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

e) Textura: El ablandamiento fue otra de las causas de deterioro más evidentes, durante el almacenamiento de pimiento en bastones. Antes del almacenamiento los bastones verdes fueron 100% más resistentes a la flexión que los rojos (**Figura 3.13**). La firmeza disminuyó en ambos estados de madurez, pero más marcadamente en frutos maduros. Los pimientos almacenados en AC se mantuvieron más firmes que los almacenados en aire durante los 12 días que duró el ensayo (**Figura 3.14**). La resistencia a la flexión de los bastones rojos también fue mayor en AC a los 7 días, pero subsecuentemente no se detectaron diferencias. En pimiento verde los bastones almacenados 12 días bajo 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ tuvieron una mayor resistencia a la flexión (33%) que los almacenados en aire (**Figura 3.13**).

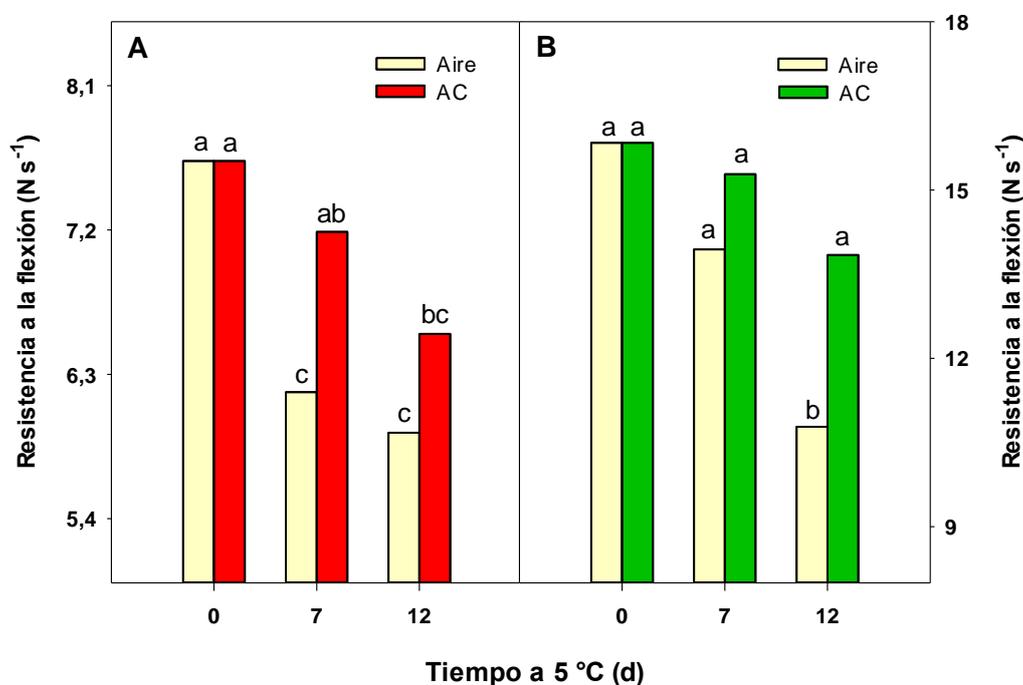


Figura 3.13. Resistencia a la flexión en pimiento A) rojo y B) verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

El ablandamiento en frutos de pimiento ha sido relacionado principalmente a la deshidratación mientras que el metabolismo de las paredes celulares es mucho más restringido que en otros productos (*Jen y Robinson, 1984; Díaz-Pérez et al., 2007; Cantwell, 2013*). Los frutos rojos almacenados en aire muestran mayor ablandamiento que los verdes, y de hecho estos últimos fueron los que mayor tendencia a la pérdida

de peso registraron. Esto indica que el ablandamiento podría relacionarse con la pérdida de turgencia de los tejidos.

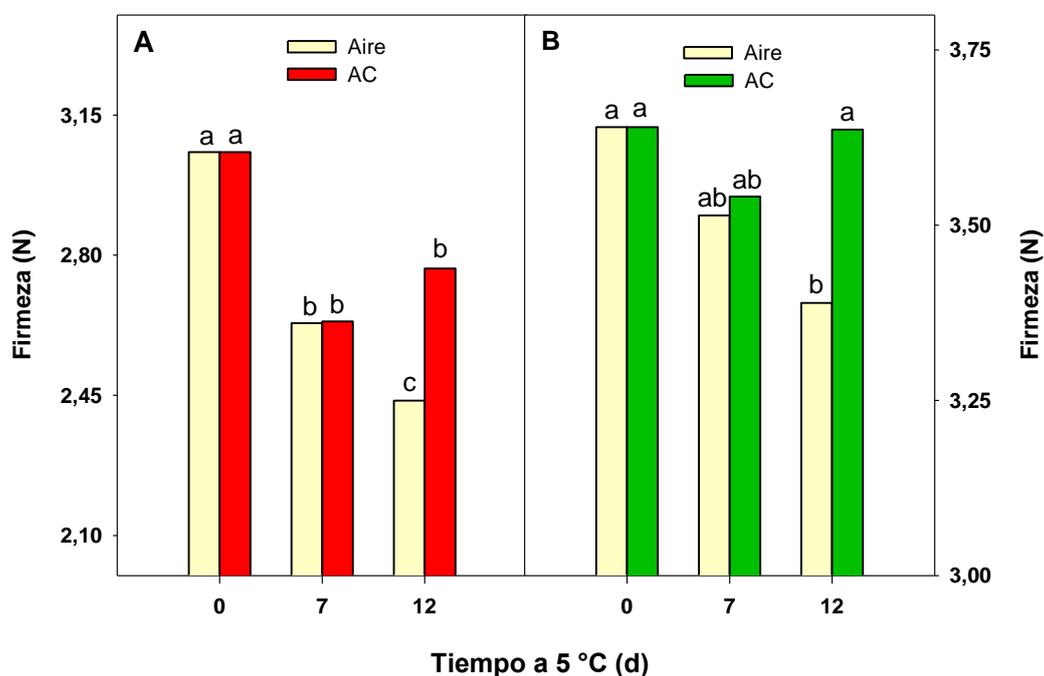


Figura 3.14. Firmeza en pimiento A) rojo y B) verde fresco cortado almacenado en aire (control) o con 5,0 kPa CO₂ + 5,0 kPa O₂ (AC) a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

3.4. CONCLUSIONES

El hecho de realizar los ensayos a 5°C permitió concluir que, a pesar de tratarse de una especie susceptible al daño por frío, es posible almacenar los pimientos frescos cortados tanto en estado verde como rojo sin que se manifiesten síntomas marcados del mencionado desorden. Esto difiere de la temperatura óptima de almacenamiento recomendada para frutos enteros (7-10 °C).

Por otra parte, pudieron determinarse los efectos del CO₂ y O₂ sobre la calidad y el comportamiento poscosecha de pimiento en estado verde y rojo. En primer término, atmósferas con 15,0 kPa de CO₂ dañaron los frutos verdes y rojos, por lo tanto no debieran emplearse. Un incremento de dióxido de carbono de 5,0 a 10,0 kPa beneficia a los frutos verdes, mientras que el efecto es desfavorable en fruto maduro. Por su parte la reducción del O₂ hasta 2,5 kPa puede realizarse sin promover reacciones

fermentativas apreciables en ambos estados de madurez. De todos modos, mientras que en fruto verde pueden utilizarse 2,5 o 5,0 kPa O₂ indistintamente, presiones menores a 5,0 kPa O₂ no debieran recomendarse en fruto rojo, puesto que redundan en menores beneficios en el control del deterioro. La condición seleccionada de 5,0 kPa O₂ + 5,0 kPa CO₂ fue marcadamente efectiva para controlar la podredumbre blanda, retrasar el ablandamiento y prevenir el incremento de la tasa respiratoria, la fuga de electrolitos y exudado de jugos celulares. Los frutos en AC también mantuvieron menores recuentos de bacterias aerobias mesófilas, mohos y levaduras que el control almacenado en aire, mientras que no se evidenciaron alteraciones en las propiedades físicas o químicas evaluadas. En tal sentido, pareciera que el enriquecimiento de CO₂ y la reducción de O₂ son más efectivos en pimiento fresco cortado de lo que se ha descrito para frutos intactos. De todos modos, ensayos simultáneos de frutos de la misma variedad trozados e intactos deberán realizarse para concluir esto. A pesar de que la AC y AM no son recomendadas para el almacenamiento de pimientos verdes o rojos enteros, los resultados muestran que marcados beneficios pueden obtenerse en frutos frescos cortados, tanto en estado rojo como verde, con atmósferas conteniendo 5,0 kPa O₂ y 5,0 kPa CO₂. Niveles reducidos de O₂ y elevados en CO₂, incluso dentro de los valores recomendados en literatura de 3,0 kPa O₂ y hasta 10,0 kPa CO₂, pueden ser contraproducentes para frutos rojos. Esta información podría resultar de utilidad para el desarrollo de AM para la industria de productos frescos cortados.

4. EFECTO DE TRATAMIENTOS
CON RADIACIÓN UV-C SOBRE
LA CALIDAD DE PIMIENTO
FRESCO CORTADO



4.1. INTRODUCCIÓN

4.1.1. Radiación UV

El espectro electromagnético incluye radiaciones con diferente nivel de energía (*Figura 4.1*), los rayos γ , x, radiación ultravioleta, visible, infrarroja, microondas, ondas de radio, etc. La radiación ultravioleta constituye la porción del espectro con longitudes de onda menores a la radiación visible y mayores a los rayos-X, específicamente entre 200 y 400 nm (*Bintsis et al., 2000*). Se trata de una porción más energética que la radiación visible y que puede, a su vez, subdividirse en tres sub-regiones UV-A (400-320nm); UV-B (320-280nm); UV-C (280-200nm) (*Maverakis et al., 2010*). Por debajo de los 200 nm existe otra fracción denominada UV de vacío que sólo se propaga en este medio. El sol emite tanto radiación visible como infrarroja (calor) y UV.

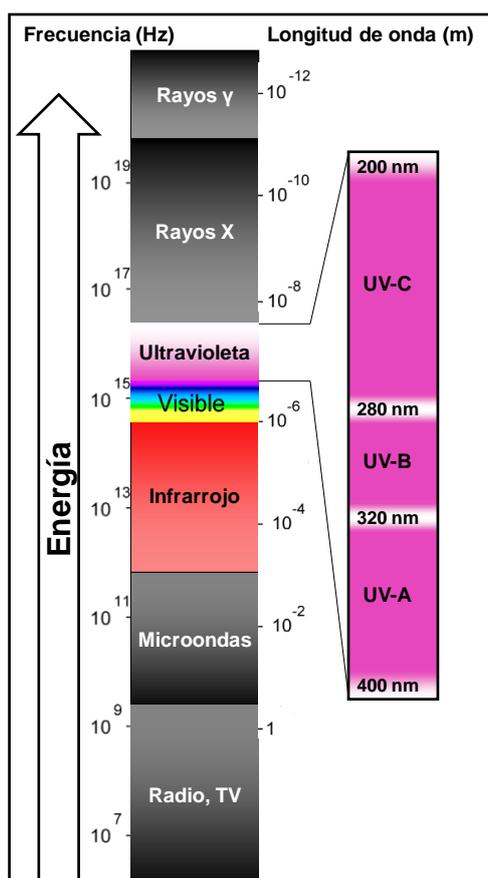


Figura 4.1. Espectro electromagnético en donde puede verse ampliada la región UV (*Maverakis et al., 2010*).

De todos modos el ozono, oxígeno y vapor de agua presentes en la atmósfera terrestre hacen de barrera absorbiendo la totalidad de los rayos UV-C, con respecto a los dos restantes, la radiación UV-A y UV-B, la absorción depende de la altura y la latitud. Así aproximadamente el 90% de la UV-B es retenida en la atmósfera mientras que, en promedio, el 95% de la radiación UV-A, la menos energética, alcanza la superficie terrestre (*Maverakis et al., 2010; WHO, 2013*). Las fuentes artificiales de radiación UV (exceptuando el láser) emiten un espectro continuo con picos característicos (*INCHEM, 2013*). Las fuentes más comunes utilizadas en la industria son las lámparas de mercurio a baja presión, en las que una corriente de electrones provoca la emisión en el rango ultravioleta, principalmente a 253,7 nm (*Figura 4.2A*).

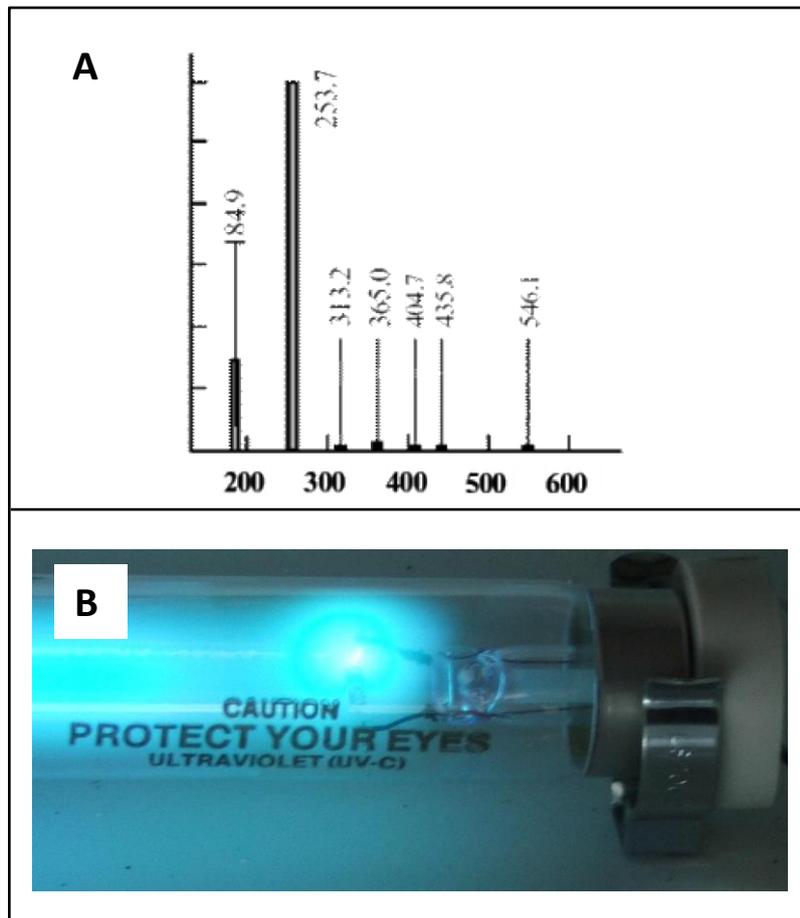


Figura 4.2. A) Emisión relativa de una lámpara de mercurio a baja presión, en donde puede observarse el máximo a 253,7 nm (*Crystec, 2013*); B) lámpara UV-C encendida.

Muchas lámparas UV son similares a los tubos fluorescentes de uso domiciliario (**Figura 4.2B**). La principal diferencia es que estos últimos contienen un recubrimiento fosfórico en su superficie, que absorbe la radiación UV transmitiendo sólo la radiación visible, mientras que los tubos UV carecen de este recubrimiento y además son de cuarzo ya que el vidrio común absorbe las longitudes de onda corta.

La dosis (D) aplicada durante los tratamientos UV (energía por unidad de área, comúnmente expresada en kJ m^{-2}) está determinada por la potencia de las lámparas por unidad de área (P , expresada en kW m^{-2}) y por el tiempo (t , expresado en segundos). De esta forma multiplicando $P \times t$ obtenemos D .

4.1.2. Efecto de la radiación UV en los seres vivos

Como se mencionó anteriormente, la radiación UV-A es la que posee mayor penetración en la atmósfera dentro del espectro UV. De todos modos su capacidad antimicrobiana es marcadamente inferior a la de la región UV-C (**Bintsis et al., 2000**). Esta última si bien no es ionizante, puede ser absorbida y provocar cambios químicos en diferentes componentes celulares. En particular la zona ubicada entre 250 a 260 nm es letal para bacterias, virus, hongos, protozoos, levaduras y algas (**Civello et al., 2006**).

El ADN es particularmente sensible a la radiación UV, cuya absorción ocasiona la formación de dímeros, principalmente entre bases pirimidínicas (timina, citosina) adyacentes. Si bien las bases púricas son un orden de magnitud más resistentes, también pueden sufrir esta alteración. Dado que las ADN y ARN polimerasas no pueden decodificar estos productos, cuando se supera la capacidad del sistema de reparación del ADN se ve comprometida la replicación y transcripción, dando lugar al colapso y muerte de las células afectadas (**Sinha y Häder, 2002**). Dosis de entre 0,5 y 20 kJ m^{-2} han mostrado poder alterar el ADN (**Bintsis et al., 2000**). El daño que pueden sufrir no sólo los ácidos nucleicos, sino también otras moléculas vitales tales como proteínas y lípidos, puede producirse también en forma indirecta a través de radicales libres generados por la radiación (**Maverakis et al., 2010**). Estas formas con electrones desapareados son altamente reactivas y promueven reacciones de oxidación.

Si bien la radiación UV-C en exceso puede resultar perjudicial para los tejidos, se ha descrito que en ciertos alimentos con actividad metabólica, como los son los vegetales frescos, pueden inducir varios efectos benéficos (**Cisneros-Zevallos, 2003**).

Así, por ejemplo, la reducción de la actividad de algunas enzimas responsables del deterioro como consecuencia de la exposición a la radiación UV-C puede resultar deseable. Por otra parte, dado que los tratamientos UV-C favorecen la formación de radicales libres, se ha observado que si son moderados puede inducirse la biosíntesis de compuestos antioxidantes como un mecanismo de tolerancia al estrés de los tejidos.

4.1.3. Uso de tratamientos UV-C en alimentos

Las propiedades germicidas de la radiación UV-C han sido aprovechadas en la industria alimentaria como una estrategia no térmica de sanitización de superficies y que no deja residuos en los productos o sitios tratados (**Civello et al., 2006**). Los tratamientos UV-C poseen diversas aplicaciones comerciales, que incluyen la producción de blanqueadores usados en detergentes, la desinfección del aire en zonas de procesamiento y almacenamiento de alimentos, el control microbiano en envases en agua potable, jarabes, emulsiones y salmueras (**Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004**). Los tratamientos UV-C sobre líquidos tales como los vinos, jugos y leche también han sido estudiados, pero en estos casos la penetración de la radiación UV-C se ve limitada a unos pocos milímetros, por lo cual los equipos empleados deben ser capaces de resolver este problema (**Fredericks et al., 2011; van Wyk y Gouws, 2011**).

4.1.4. Modo de aplicación de la radiación UV-C

Los tratamientos UV-C suelen ser aplicados por un tiempo relativamente corto (segundos a minutos). Desde el punto de vista de la inversión requerida para su aplicación no suelen ser demasiado costosos. En general los equipos para tratamientos superficiales poseen baja necesidad de mantenimiento en contraposición con los de tratamiento de líquidos que pueden ser más costosos y requerir mayores cuidados (**van Wyk y Gouws, 2011**). La eficacia de la radiación UV-C no parece depender de la temperatura en el rango de 5 a 37 °C, pero sí de la incidencia de la radiación sobre el producto y por lo tanto de su forma y propiedades superficiales (**Bintsis et al., 2000; Ben-Yehoshua y Mercier, 2005**). Los productos son comúnmente expuestos a la radiación UV-C a una distancia de 10-40 cm (**Civello et al., 2006**). Dependiendo del

diseño de la cámara de tratamiento, la radiación puede incidir de una o más caras del producto (**Figura 4.3**). En los equipos en los que la fuente es localizada en una sola cara los productos deben ser rotados para lograr un tratamiento homogéneo. Como la exposición a la radiación UV-C puede resultar dañina frente a los sistemas biológicos, se debe tener especial precaución con la exposición de los ojos o la piel de los operadores (**Civello et al., 2006**). Es por ello que la sección donde se realizan los tratamientos no debe permitir filtraciones al exterior, y sólo se debe abrir dicha sección cuando las lámparas han sido apagadas. Asimismo es importante considerar que la radiación con longitudes de onda inferiores a 260 nm produce ozono en presencia de oxígeno. En caso que las lámparas permanezcan encendidas por períodos prolongados, el nivel de este gas puede llegar a ser elevado y por tanto debe ser monitoreado y eliminado (**Bintsis et al., 2000**).

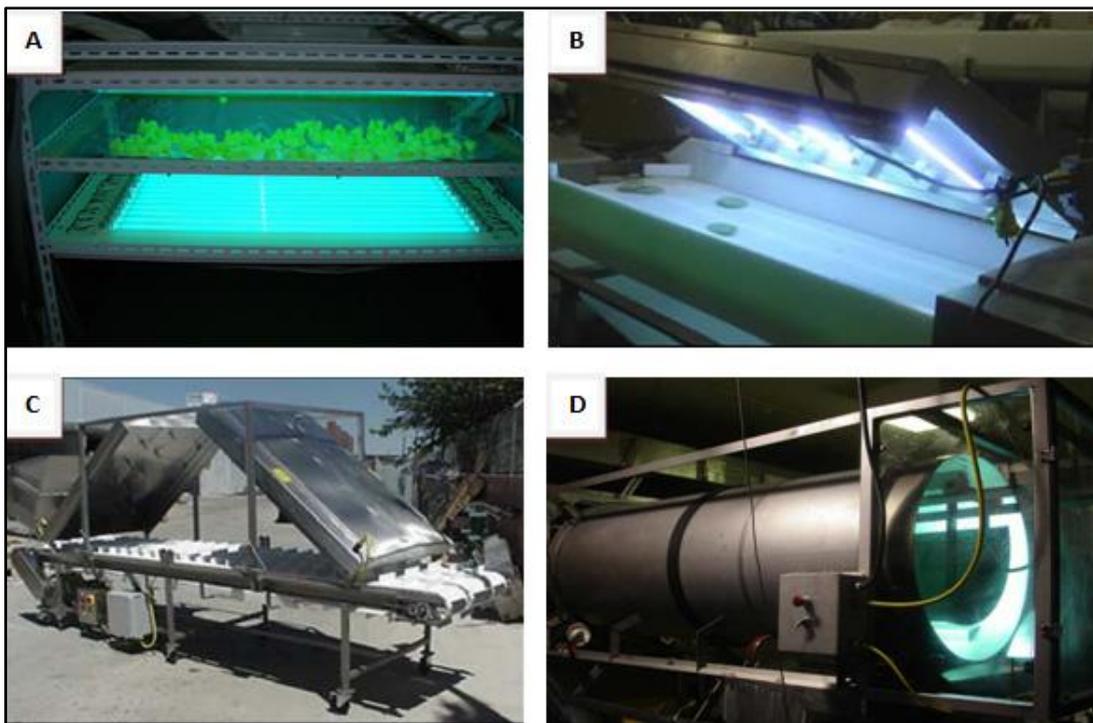


Figura 4.3. Equipos para la realización de tratamientos UV-C. A) Malla transparente, B) túnel de tratamiento, C) cinta transportadora, D) tambores rotatorios.

4.1.5. Efectos de la radiación UV-C en vegetales

En los últimos años se ha comenzado a evaluar con mayor frecuencia a los tratamientos UV-C como una estrategia para incrementar la vida de estante y retrasar el deterioro de productos frutihortícolas. En la mayoría de los casos se han utilizado dosis de entre 0,2 y 20,0 kJ m⁻² (*Civello et al., 2006*). La dosis óptima depende del producto y en ciertos casos del estado de madurez. Su determinación es importante ya que de la misma dependerá la eficacia del tratamiento. Exposiciones a dosis muy bajas no resultan en beneficios apreciables, mientras que el tratamiento excesivo puede dañar los lípidos de membrana y alterar otras biomoléculas involucradas en el mantenimiento de la homeostasis, incrementando así la susceptibilidad al ataque microbiano (*Allende et al., 2006; Artés et al., 2009*). De todos modos, los tratamientos con dosis apropiadas pueden lograr resultados muy favorables. Más allá del conocido efecto germicida de la radiación UV-C, varios estudios han demostrado que frutos expuestos a dosis bajas de UV-C aumentan la acumulación de compuestos con propiedades antimicrobianas (*El Ghaouth et al., 2003*). En cítricos, los tratamientos UV-C incrementaron la concentración de la fitoalexina escoparona, aumentando la resistencia contra *Penicillium digitatum* (*D'hallewin et al., 1999*). Por otra parte, en ciertos casos se ha descrito que los tratamientos UV-C pueden retrasar la maduración (*Stevens et al., 2004; Pan et al., 2004*). La irradiación UV-C redujo el ablandamiento en tomate (*Barka et al., 2000*), frambuesa (*Vicente et al., 2004*), mango (*González-Aguilar et al., 2001*) y frutilla (*Baka et al., 1999*), entre otros vegetales. *Costa et al. (2006)* mostraron que los tratamientos UV-C en el rango de 4-14 kJ m⁻² retrasaron la degradación de clorofilas y el amarillamiento de ramilletes de brócoli almacenado a 0 °C. Asimismo se ha informado que la exposición por períodos cortos a radiación UV puede reducir desórdenes fisiológicos como el daño por frío (*González-Aguilar et al., 2004b*). Finalmente en ciertos casos los tratamientos UV pueden aumentar el contenido en compuestos bio-activos (*Cisneros-Zevallos, 2003*).

En pimientos rojos enteros los tratamientos con dosis en el rango 3-7 kJ m⁻² redujeron el deterioro y la incidencia de daño por frío (*Vicente et al., 2005*). En ese estudio, la dosis más elevada fue la que arrojó mejores resultados en términos del mantenimiento de la calidad. De todos modos, no se ha establecido a la fecha si esta es la dosis máxima que pueden tolerar los frutos. Por otra parte, en el caso de

pimiento en estado verde, no se conoce la respuesta a la radiación UV-C y en pimientos frescos cortados no se ha evaluado hasta la fecha su eficacia. En otras frutas y hortalizas mínimamente procesadas la irradiación UV-C ha sido exitosa para mantener la calidad. **Erkan et al. (2001)** observaron que la radiación UV-C redujo la contaminación microbiana y el deterioro de zapallito en rodajas durante su almacenamiento a 5 o 10 °C. **Lamikanra et al. (2005a)** hallaron que el tratamiento UV-C resulta efectivo en melón mínimamente procesado.

Una variable a determinar en el caso de tratamientos UV en VFC es si es más conveniente la aplicación en forma previa o posterior al procesamiento. Otro interrogante es si debe exponerse toda la superficie del producto o solamente una región específica, por ejemplo si debe ser la más susceptible al deterioro o la totalidad de la misma. En lechuga “hoja de roble” mínimamente procesada la radiación UV-C aplicada en una sola cara redujo la microflora deteriorante y fue efectiva en mantener la calidad (**Allende et al., 2006**). De todos modos esto puede variar dependiendo del producto considerado. De hecho la mayor parte de las respuestas por tratamientos UV-C en poscosecha de frutas y hortalizas parecen más locales que sistémicas (**Civello et al., 2006**). *En función de lo mencionado, en este trabajo se seleccionó una dosis de radiación UV-C favorable para reducir el deterioro poscosecha de pimientos frescos, cortados en bastones y en estado de maduración verde y rojo. Asimismo se analizó si existían diferencias entre la realización de los tratamientos en la cara externa, interna o en ambas zonas de los frutos. Finalmente se evaluó la influencia de la combinación de los tratamientos UV-C y el almacenamiento refrigerado sobre la calidad organoléptica, microbiológica y nutricional.*

4.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

4.2.1. Objetivos específicos

- Determinar las condiciones óptimas de tratamiento de irradiación UV-C para pimientos frescos cortados y evaluar si son coincidentes con las informadas para frutos intactos.
- Conocer si existen diferencias en la tolerancia a la radiación UV-C entre pimientos en estado verde y rojo.
- Analizar la influencia de la cara expuesta (interna, externa o ambas) sobre la eficacia de los tratamientos de irradiación UV-C en pimiento fresco cortado.
- Evaluar el efecto de la combinación de los tratamientos UV-C seleccionados con la refrigeración sobre la calidad organoléptica, microbiológica y nutricional de pimientos frescos cortados en estado de madurez verde y rojo.

4.2.2. Hipótesis

- Las condiciones óptimas de tratamiento de irradiación UV-C para pimientos frescos cortados difieren de las informadas para frutos intactos.
- Los pimientos verdes poseen una mayor tolerancia a la radiación UV-C que los rojos.
- A pesar de que la superficie interna es la más susceptible al desarrollo microbiano, los tratamientos UV-C pueden ser más efectivos dividiendo la dosis entre la cara interna y externa de los frutos.
- Los tratamientos UV-C permiten mantener la calidad de pimientos mínimamente procesados verdes y rojos, incrementando los beneficios de la refrigeración.

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1. Selección de la dosis y modo de realización de los tratamientos

Los tratamientos UV-C han sido usados para mantener la calidad de diferentes frutas y hortalizas (*Shama y Alderson, 2005*). Las dosis efectivas pueden variar dependiendo del producto y estado de madurez (*Civello et al., 2006*). En pimiento rojo entero, tratamientos UV con una dosis de $7,0 \text{ kJ m}^{-2}$ redujeron las pudriciones y el daño por frío (*Vicente et al., 2005*), pero no hay estudios que hayan evaluado ese efecto en pimientos rojos o verdes mínimamente procesados. En el presente trabajo ninguno de los tratamientos ensayados causó, inmediatamente finalizada la irradiación, alteraciones en la apariencia de los frutos. A los 5 días los pimientos rojos irradiados en ambas caras con la dosis mayor presentaron menor deterioro que el control (*Figura 4.4*).

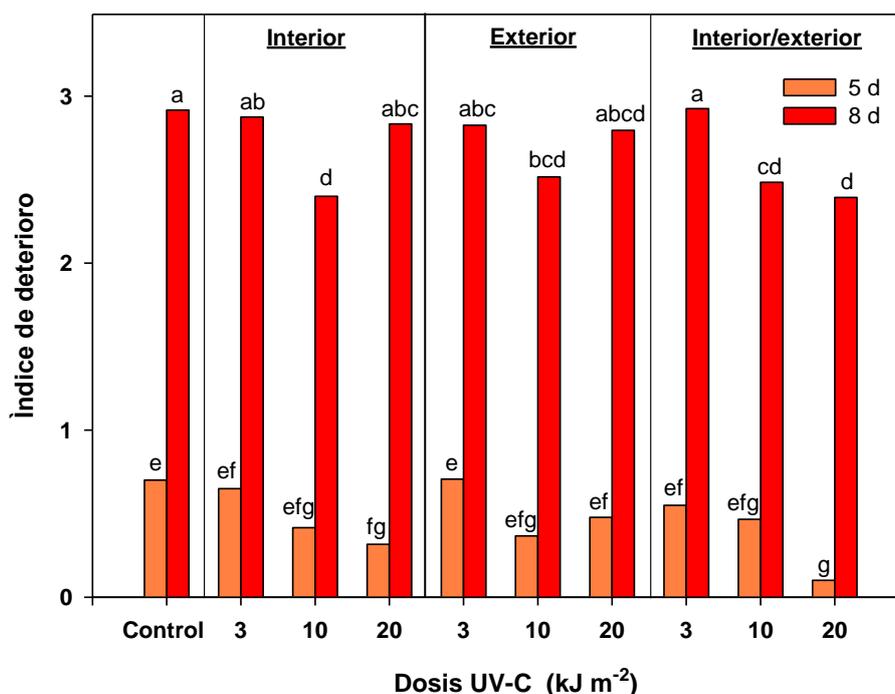


Figura 4.4. Índice de deterioro de bastones de pimiento rojo, tratados con diferentes dosis de radiación UV-C (0; 3,0; 10,0 y 20,0 kJ m^{-2}) y en distintas caras (interior, I; exterior, E; o ambas, I/E) y almacenados a $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por 5 y 8 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Por su parte, en los pimientos verdes, luego de 5 días, todos los tratamientos ensayados redujeron el índice de deterioro significativamente (**Figuras 4.5**).

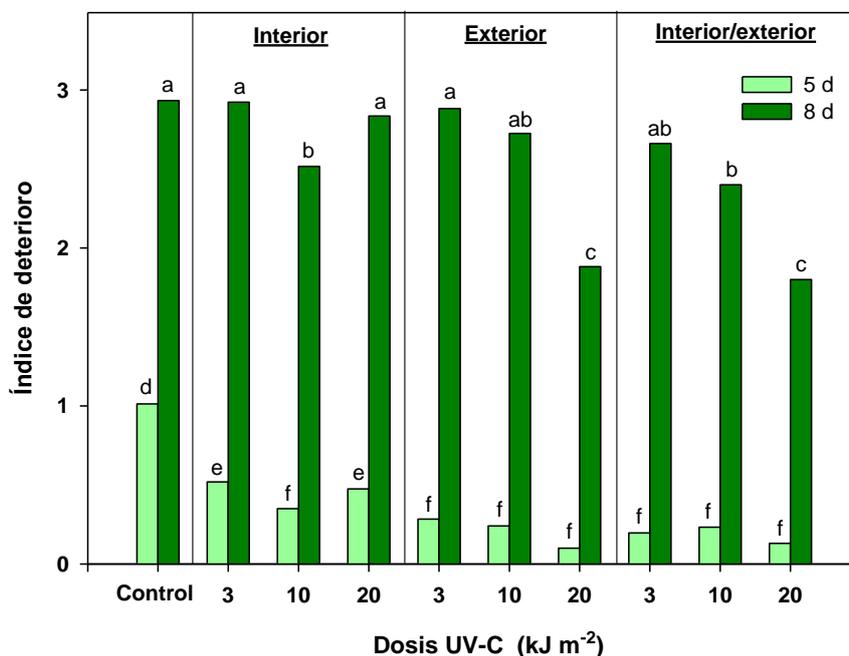


Figura 4.5. Índice de deterioro de bastones de pimiento verde, tratados con diferentes dosis de radiación UV-C (0; 3,0; 10,0 y 20,0 kJ m⁻²) y en distintas caras (interior, I; exterior, E; o ambas, I/E) y almacenados a 10 °C por 5 y 8 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

El índice de deterioro se incrementó en todos los frutos conforme progresó el almacenamiento a 10 °C. Luego de 8 días el daño fue mucho más marcado en el control, con evidente maceración de tejidos, deshidratación y exudado. Los frutos verdes o rojos que recibieron la dosis de 3,0 kJ m⁻² presentaron índices de deterioro similares al control, por lo que esta condición fue descartada. Los tratamientos con 10,0 kJ m⁻² totales en rojo redujeron el deterioro independiente de la zona de exposición mientras que en verde esta dosis fue efectiva cuando se aplicó en la cara interna o de ambos lados. Los tratamientos con 20,0 kJ m⁻² aplicados en ambas zonas (I/E) redujeron el índice de deterioro tanto en estado verde como rojo. Llamativamente los 20,0 kJ m⁻² aplicados sólo en una de las caras en frutos rojos o en la superficie interna en estado verde no causaron beneficios en la calidad. Esto pudo deberse a un daño producido por excesiva irradiación UV-C sobre una única zona (**Piga**

et al., 1997; Allende et al., 2006). Altas dosis de radiación pueden resultar en estrés oxidativo y daño celular (*Civello et al., 2006*). La mayor resistencia de la cara externa de los pimientos verdes a la radiación UV-C podría estar relacionada con la presencia de compuestos fenólicos en la cutícula de los bastones, ya que se ha mostrado que estos compuestos pueden filtrar parte de la radiación UV-C (*Solovchenko y Merzlyak 2003*). La ausencia de daño en los tratamientos de $20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ (I/E) sugiere que la dosis efectiva en cada cara ($10,0 \text{ kJ m}^{-2}$) estuvo por debajo del límite máximo que daña al producto. En resumen los resultados muestran que una corta exposición UV-C puede ser útil para prevenir el deterioro en bastones de pimiento verde y rojo. En frutos rojos, si bien la dosis de $20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ I/E logró una marcada mejora, similares resultados pueden lograrse realizando un tratamiento de $10,0 \text{ kJ m}^{-2}$ solo en la cara interna. En pimiento verde la dosis más elevada es necesaria para obtener los mejores resultados aunque estos tratamientos no son recomendables si se realizan sólo en la zona interna. En función de estos resultados el tratamiento de $20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ de ambos lados fue seleccionado en ambos estados de madurez para continuar con los ensayos de análisis de atributos de calidad organoléptica, microbiológica y nutricional.

4.3.2. Efecto del tratamiento UV-C seleccionado sobre la calidad poscosecha de pimiento verde y rojo refrigerado a 5 °C

a) Pérdida de peso, deshidratación y ataque microbiano: Después de 7 días de almacenamiento, 48% de los bastones rojos control mostraron signos visibles de deshidratación comparado con 5% en los tratados. Los frutos verdes fueron menos susceptibles a presentar síntomas de deshidratación. En este estado de madurez 20% de los bastones control presentaron síntomas visibles de pérdida de agua, valor que fue reducido al 3% en los tratados con UV-C (*Figura 4.6*). La pérdida de peso también se redujo en las muestras irradiadas (*Figura 4.7*).

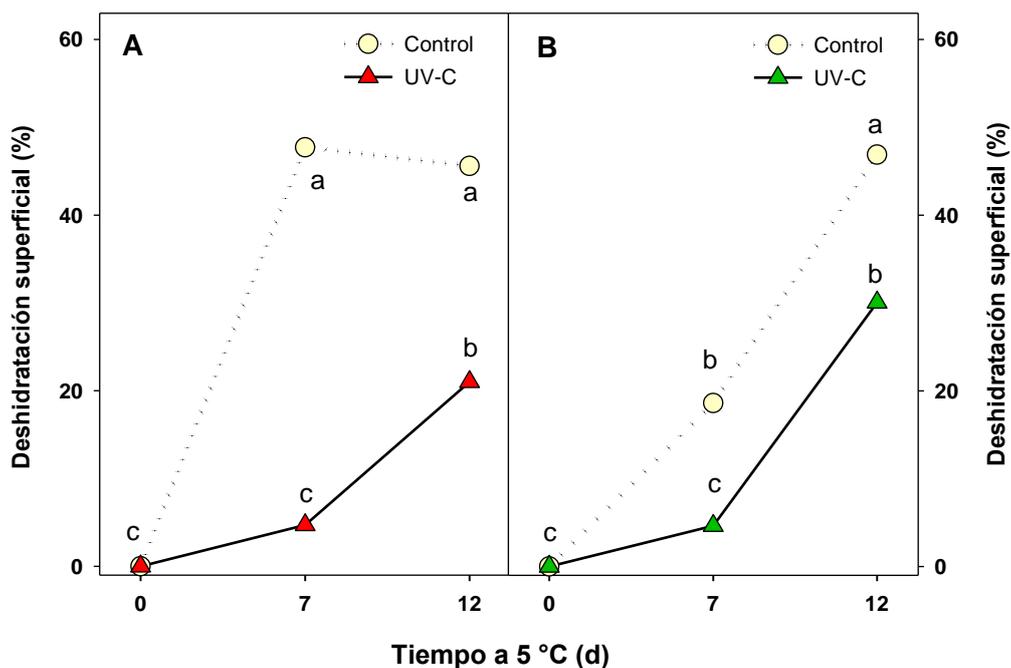


Figura 4.6. Síntomas de deshidratación superficial en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [$20,0 \text{ kJ m}^{-2} \text{ (I/E)}$] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

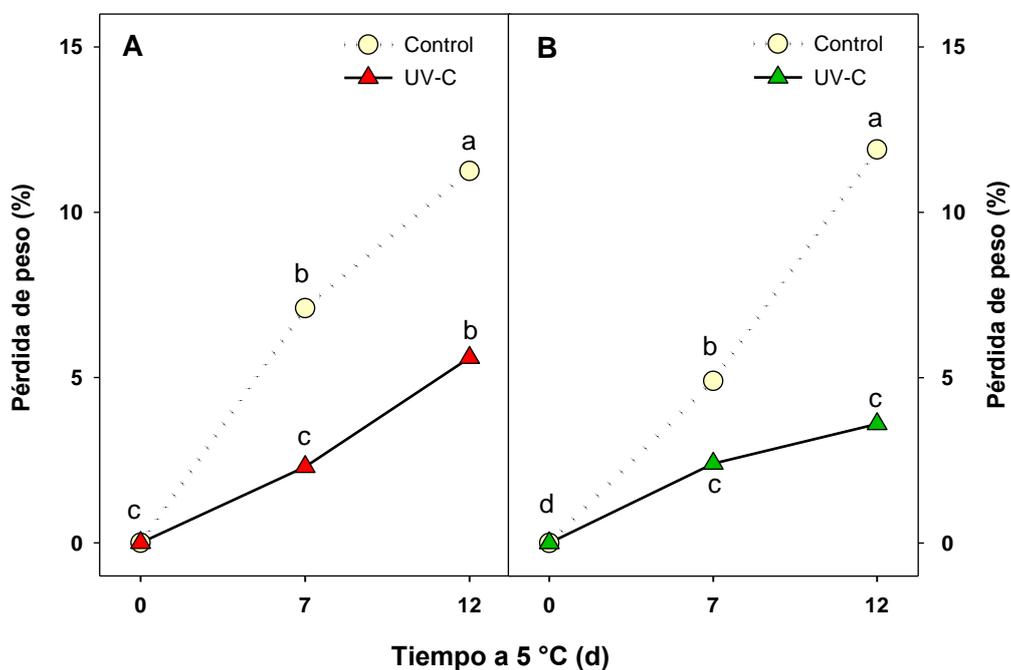


Figura 4.7. Pérdida de peso en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [$20,0 \text{ kJ m}^{-2} \text{ (I/E)}$] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

La vida de almacenamiento fue nuevamente limitada por la podredumbre blanda y el ablandamiento. Si bien durante la primera semana la incidencia de podredumbre blanda fue muy baja, posteriormente aumentó en forma rápida en el control. Por su parte los frutos tratados fueron marcadamente menos afectados (**Figura 4.8**).

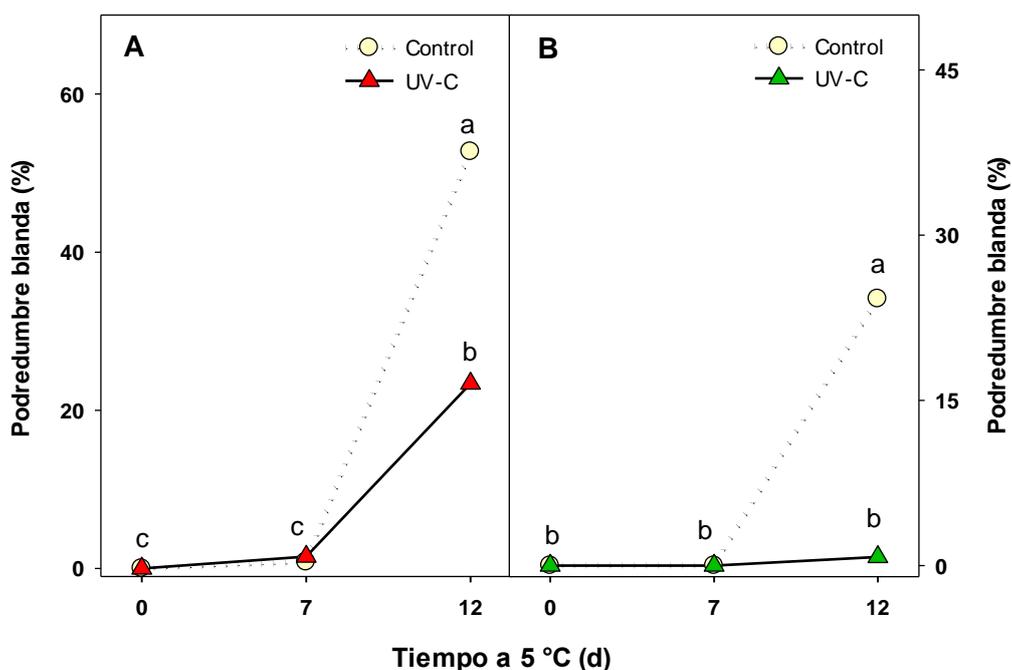


Figura 4.8. Incidencia de podredumbre blanda en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [20,0 kJ m⁻² (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05.

El desarrollo de hongos fue mucho menor que la podredumbre blanda, y el tratamiento UV-C también redujo su incidencia en ambos estados de madurez (**Figura 4.9**). Al final del período de almacenamiento refrigerado los bastones tratados mostraron mejor apariencia que los no irradiados (**Figura 4.10**).

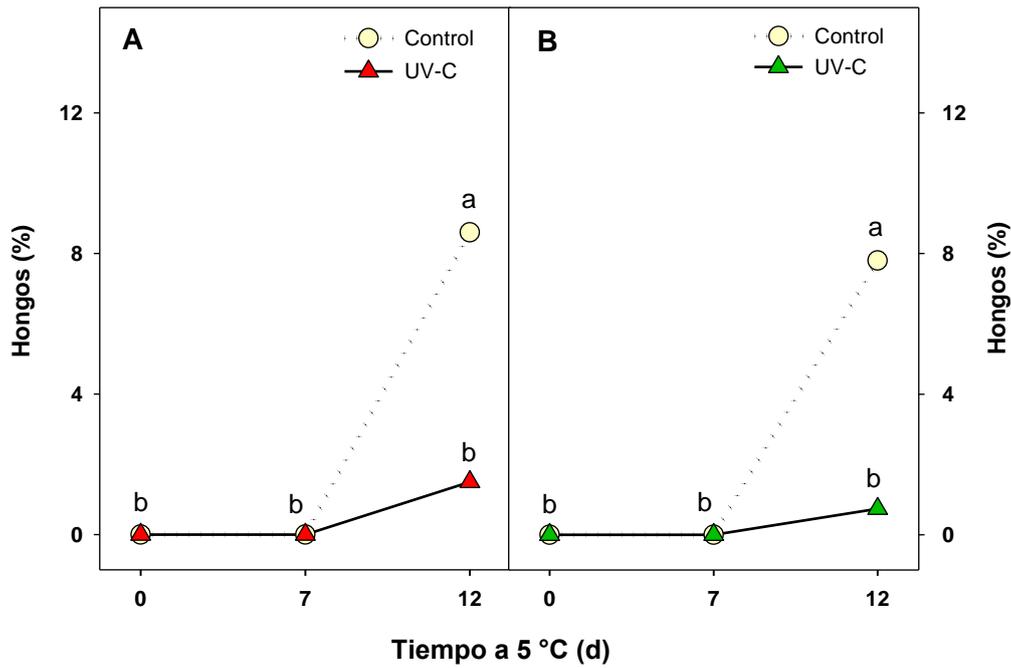


Figura 4.9. Incidencia de hongos en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [$20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 0, 7 o 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

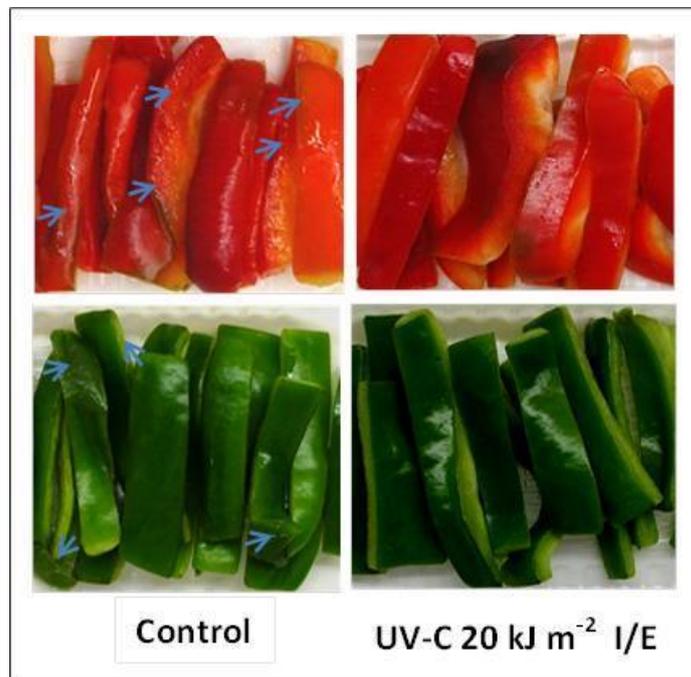


Figura 4.10. Apariencia de bastones de pimiento control y tratados con una dosis de $20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ de radiación UV-C en la zona externa e interna (I/E) y almacenados a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 12 d. Las flechas celestes indican zonas de maceración y deshidratación.

b) Tasa respiratoria, exudado y fuga de electrolitos: La irradiación no ocasionó cambios en la TR antes del almacenamiento (**Figura 4.11**). La TR al inicio del ensayo fue moderada en coincidencia con lo descrito en la literatura (**Barth et al., 2002**) y osciló entre 13 y 15 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. Posteriormente se observó un marcado incremento conforme avanzó el tiempo de almacenamiento, probablemente en concordancia con el deterioro o advenimiento de la senescencia. Al día 7, los pimientos verdes control mostraron mayor producción de CO₂ que los irradiados, mientras que en frutos rojos no se observaron diferencias. Hacia el final del almacenamiento la TR fue 20% menor en los frutos irradiados que en el control. Similares resultados fueron informados por **Lamikanra et al. (2005a)** en melón cortado. La menor tasa respiratoria en los frutos tratados con UV-C puede ser consecuencia de una menor disrupción de los tejidos.

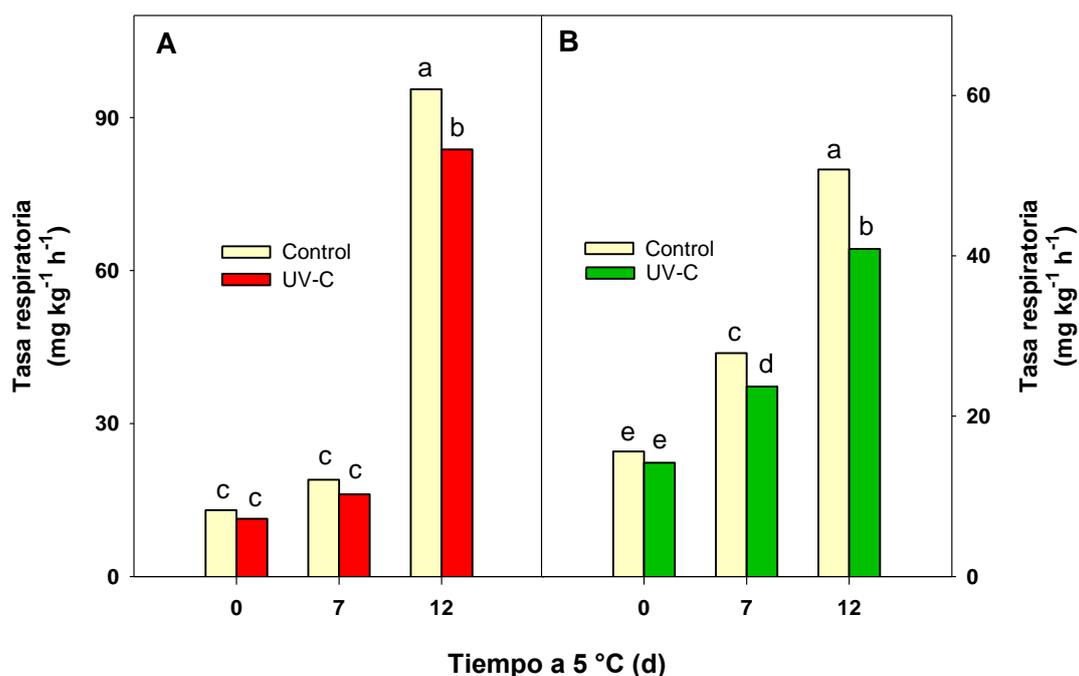


Figura 4.11. Tasa respiratoria en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [20,0 kJ m⁻² (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Al igual que en ensayo de AC (**Parte 3**) el EX y la FE se incrementaron conforme progresó el almacenamiento, pero este incremento fue mucho menor en los pimientos tratados con UV-C. Esto sugiere que la exposición a la radiación reduce el daño ulterior de los frutos (**Figuras 4.12 y 4.13**). Si bien estos efectos podrían ser el resultado de un control sobre los microorganismos, que disminuye la maceración de los tejidos causada por bacterias, hongos y levaduras deteriorantes, trabajos previos han descrito que la radiación UV puede actuar en forma directa sobre los vegetales retrasando la maduración y senescencia (**Civello et al., 2006**).

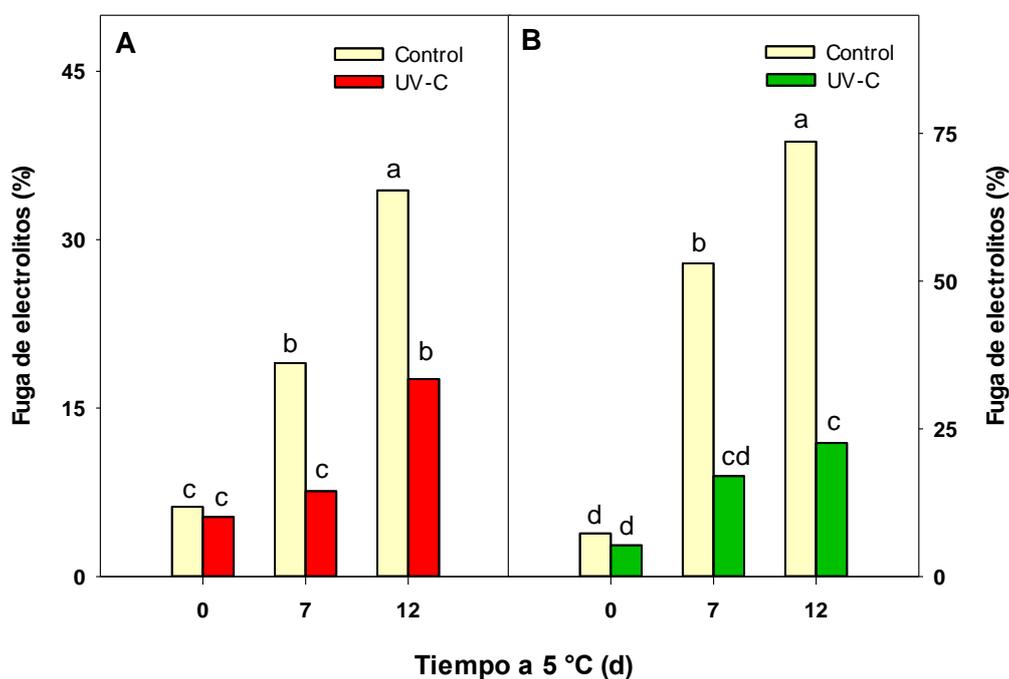


Figura 4.12. Fuga de electrolitos en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [$20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

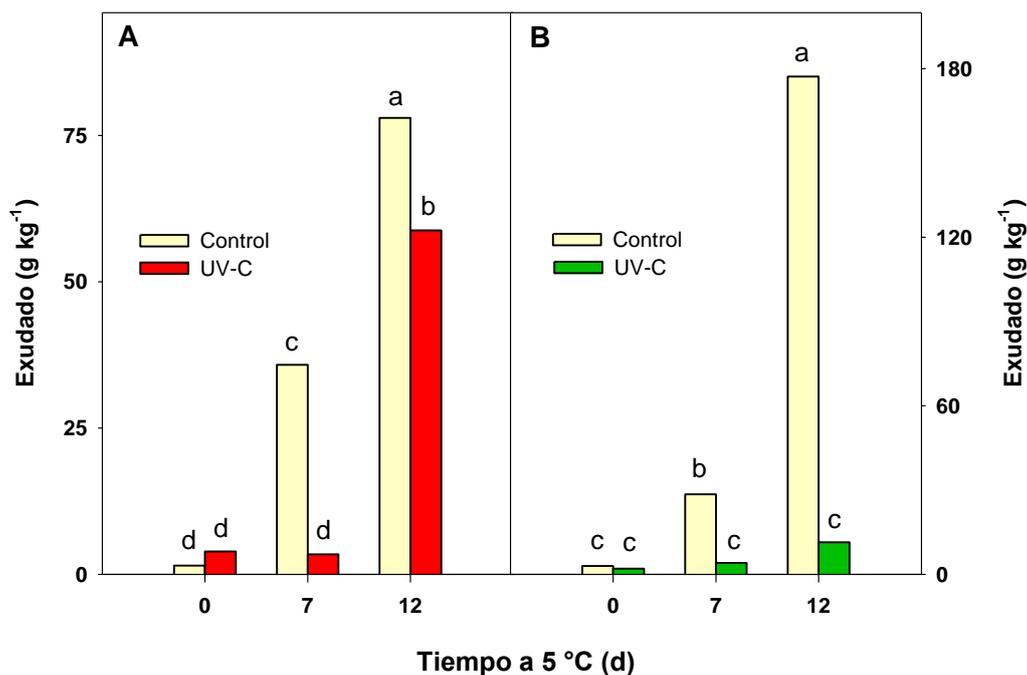


Figura 4.13. Exudado en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [20,0 kJ m⁻² (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

c) Color, azúcares, acidez, pH y capacidad antioxidante: En general no se registraron grandes cambios en el color superficial durante el almacenamiento (**Tablas 4.1 y 4.2**). El ángulo hue varió entre 39 y 45 en pimiento rojo y entre 124 y 125 en pimiento verde. En pimiento rojo se observó un leve aumento en la luminosidad en el tiempo pero sin diferencias entre tratamientos. El contenido de azúcares no mostró cambios como consecuencia de la irradiación (**Tablas 4.1 y 4.2**). Nuevamente se observó que la acidez fue superior en pimientos rojos, pero sin diferencias debidas al tratamiento en ambos estados de madurez. En trabajos previos tampoco los azúcares ni la acidez fueron mayormente afectados por el tratamiento UV-C (**Vicente et al., 2005**), aunque las dosis empleadas eran inferiores.

Si bien algunos estudios muestran que un estrés físico puede ser usado no sólo para reducir las pérdidas, sino también para inducir la acumulación de antioxidantes (**Cantos et al., 2001; Cisneros-Zevallos, 2003**), en el presente trabajo no se observó esta respuesta. De hecho hacia el final del almacenamiento los frutos tratados con UV-

C presentaron menor contenido de antioxidantes. Se ha reportado que los tratamientos UV-C pueden retrasar la maduración, afectando la expresión de genes y la actividad de enzimas requeridas para dicho proceso (Civello *et al.*, 2006). La menor acumulación de antioxidantes en frutos verdes podría entonces estar asociada con una menor biosíntesis de ácido ascórbico que normalmente se activa entre los estados verde y rojo. Igualmente, a los 12 días, los frutos no irradiados mostraron marcado deterioro en contraposición con los tratados que si bien con 20% menos de AOX aún se mantuvieron con mejor apariencia (Figura 4.10).

Tabla 4.1. Luminosidad (L^*), color (hue), azúcares, acidez, pH, capacidad antioxidante contra los radicales DPPH $^{\cdot}$ o ABTS $^{+\cdot}$ en bastones control y tratados con UV-C [20,0 kJ m^{-2} (I/E)] de pimiento rojo almacenados a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Valores seguidos de distintas letras indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

		Tiempo a 5 °C (d)		
		0	7	12
Luminosidad (L^*)	Control	32,2a	36,2b	34,6c
	UV-C	31,2a	36,2b	34,2c
Color (hue)	Control	45,2a	42,0b	43,2ab
	UV-C	43,0ab	39,0c	41,1bc
Azúcares (g kg^{-1})	Control	50a	57a	54a
	UV-C	48a	49a	44a
Acidez ($\text{mmol H}^+ \text{kg}^{-1}$)	Control	32b	40a	37a
	UV-C	30b	38a	40a
pH	Control	5,19a	5,02cd	5,07d
	UV-C	5,34b	4,92c	4,94c
Antioxidantes con DPPH $^{\cdot}$ (g^{-1})	Control	610c	760a	740a
	UV-C	560c	680b	780a
Antioxidantes con ABTS $^{+\cdot}$ (mg kg^{-1})	Control	1.369c	1.553a	1.587a
	UV-C	1.314c	1.418bc	1.514ab

Tabla 4.2. Luminosidad (L^*), color (hue), azúcares, acidez, pH, capacidad antioxidante contra los radicales DPPH $^{\bullet}$ o ABTS $^{+\bullet}$ en bastones control y tratados con UV-C [20,0 kJ m^{-2} (I/E)] de pimiento verde almacenados a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Valores seguidos de distintas letras indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

		Tiempo a 5 °C (d)		
		0	7	12
Luminosidad (L^*)	Control	31,5a	36,3a	31,5a
	UV-C	31,3a	36,5a	32,0a
Color (hue)	Control	124,4a	124,6a	124,0a
	UV-C	124,5a	124,8a	123,8a
Azúcares (g kg^{-1})	Control	30a	32a	29a
	UV-C	33a	31a	28a
Acidez ($\text{mmol H}^+ \text{kg}^{-1}$)	Control	14a	12ab	11b
	UV-C	11b	11b	12ab
pH	Control	6,61a	6,50a	6,72a
	UV-C	6,45a	6,37a	6,49a
Antioxidantes con DPPH $^{\bullet}$ (g^{-1})	Control	180ab	130c	210a
	UV-C	180ab	170b	150bc
Antioxidantes con ABTS $^{+\bullet}$ (mg kg^{-1})	Control	536ab	468b	628a
	UV-C	544ab	502b	475b

d) Recuentos de bacterias aerobias mesófilas, mohos y levaduras:

Inmediatamente después del tratamiento UV-C se produjo un descenso en el recuento de bacterias en ambos estados de madurez (**Figura 4.14**). Esta reducción fue de 0,4 y 0,7 UFC g^{-1} en rojo y verde respectivamente. Con el almacenamiento los recuentos bacterianos se incrementaron en los frutos control y tratados, pero los bastones irradiados mantuvieron niveles algo más bajos. A los 7 días la diferencia entre control y tratados con UV-C se incrementó en frutos rojos llegando a 2,2 UFC g^{-1} , mientras que la diferencia en frutos verdes se mantuvo en 0,5 UFC g^{-1} .

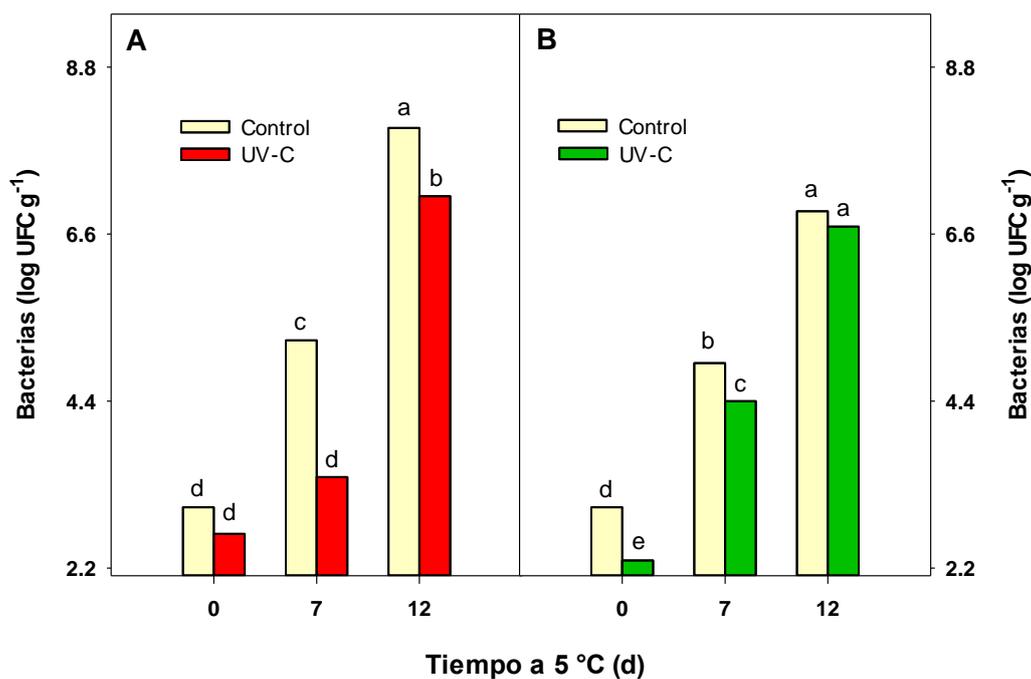


Figura 4.14. Recuento de bacterias aerobias mesófilas en pimienta fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [$20,0 \text{ kJ m}^{-2} \text{ (I/E)}$] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Hacia el final del almacenamiento la carga microbiana siguió siendo menor en los frutos irradiados en ambos estados de madurez. En el caso de los hongos el efecto de la radiación UV-C fue más discreto, de hecho no se observaron mayores diferencias en frutos rojos, sin embargo en estado verde la reducción fue de $0,5 \text{ UFC g}^{-1}$ inmediatamente después del tratamiento y de $0,7 \text{ UFC g}^{-1}$ a los 7 días (**Figura 4.15**).

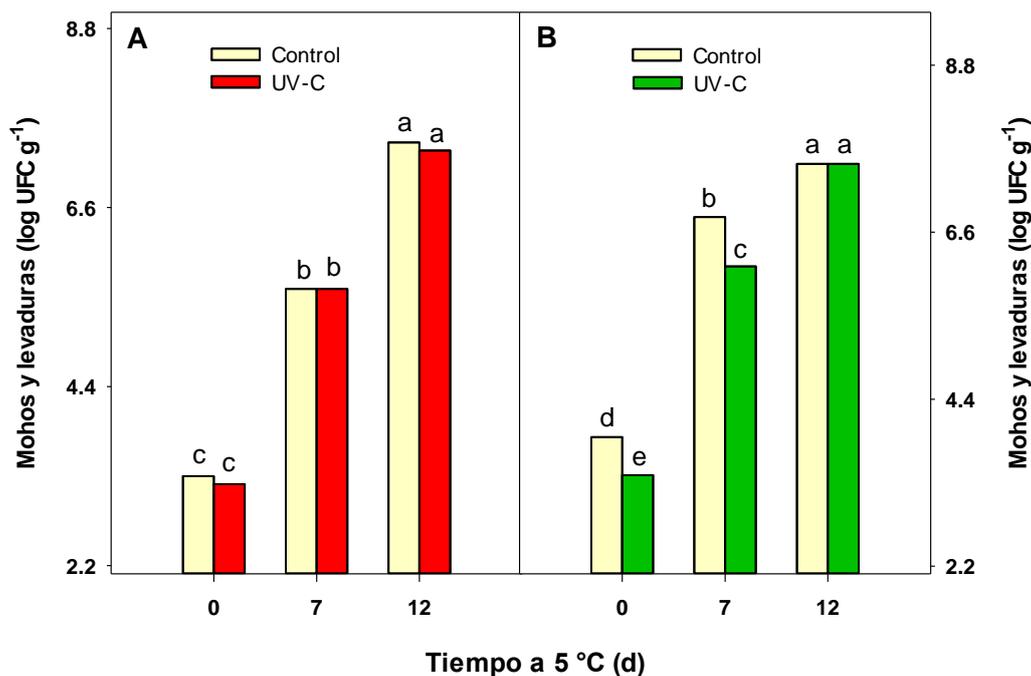


Figura 4.15. Recuento de mohos y levaduras en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [20,0 kJ m⁻² (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

En algunos casos se ha relacionado la reducción de las enfermedades poscosecha con el efecto germicida de la radiación UV-C (Civello *et al.*, 2006). De todos modos es importante destacar que hacia el final del almacenamiento los recuentos en bacterias y hongos fueron similares en control y tratados a pesar de la gran diferencia en las pudriciones (Figuras 4.8 y 4.9). Esto puede sugerir, al menos en parte, que la reducción del ataque microbiano encontrada en los frutos tratados no es debida a un efecto germicida de la radiación UV-C, siendo posible un mecanismo indirecto mediado por el fruto. La aplicación en dosis apropiadas de un agente potencialmente dañino como lo es la radiación UV-C, ha producido efectos fisiológicos benéficos en los vegetales (Shama y Alderson, 2005), tales como la inducción de compuestos antimicrobianos (D'hallewin *et al.*, 1999). En otros sistemas se ha sugerido que el aumento en la actividad de enzimas relacionadas con la biosíntesis de compuestos fenólicos, como fenilalanina amonio-liasa (PAL), o bien con su polimerización como la polifenol oxidasa o peroxidasa (POD), podría contribuir a reducir la susceptibilidad contra patógenos en los vegetales tratados (Civello *et al.*, 2006). También se ha

reportado que la radiación UV-C puede inducir genes que codifican para enzimas capaces de degradar las paredes celulares de ciertos hongos como las β -1,3-glucanasas y quitinasas (*El Ghaouth et al., 2003*).

e) Textura y pectinas solubles en agua: La resistencia a la flexión (RF) de los bastones disminuyó en ambos estados de madurez a lo largo del almacenamiento en frutos sin tratar (*Figura 4.16*). Así, se registró en los frutos rojos control una disminución en la RF de 20 y 33% a los 7 y 12 días respectivamente. Los frutos maduros tratados con UV-C mantuvieron su RF sin cambios durante todo el almacenamiento. En estado verde, los frutos control perdieron 40% de su RF luego de una semana mientras que los tratados solo el 7%. La firmeza o fuerza necesaria para la ruptura de los tejidos también sufrió menores cambios durante el almacenamiento en los bastones irradiados. Los frutos verdes y rojos presentaron firmeza cercana, de 8 y 6 N respectivamente, antes del almacenaje (*Figura 4.17*). A los 7 días los bastones rojos tratados mantuvieron igual firmeza que al inicio mientras que el control experimentó una reducción de 1,0 N. En frutos verdes control la pérdida de firmeza duplicó a la observada en los tratados con UV-C. Las diferencias se mantuvieron aún luego de 12 días a 5 °C.

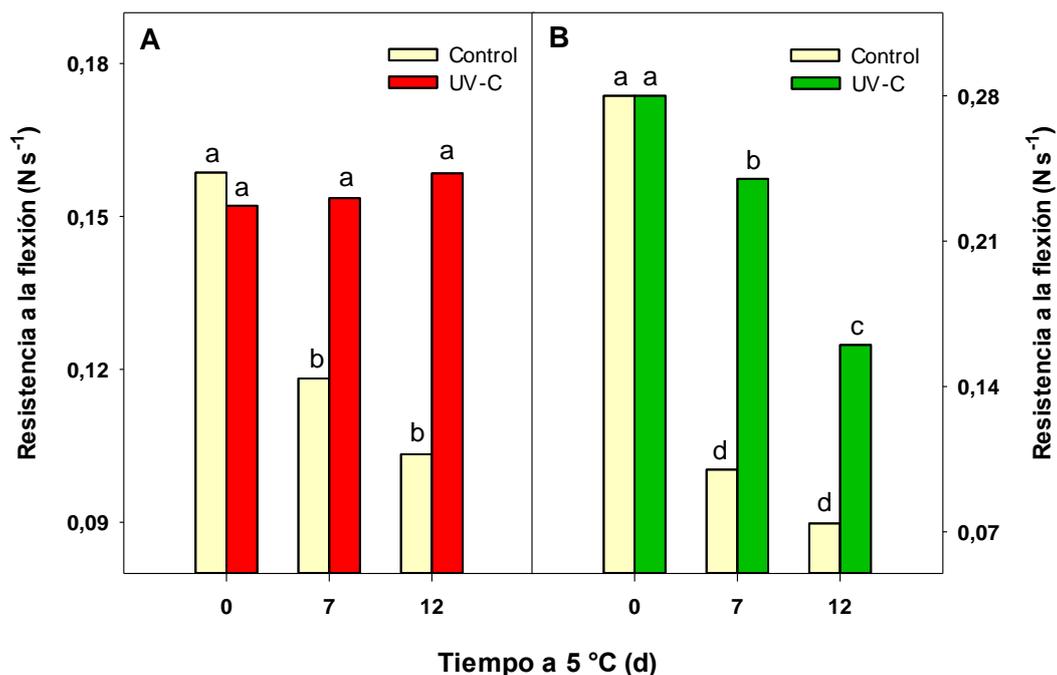


Figura 4.16. Resistencia a la flexión en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [$20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

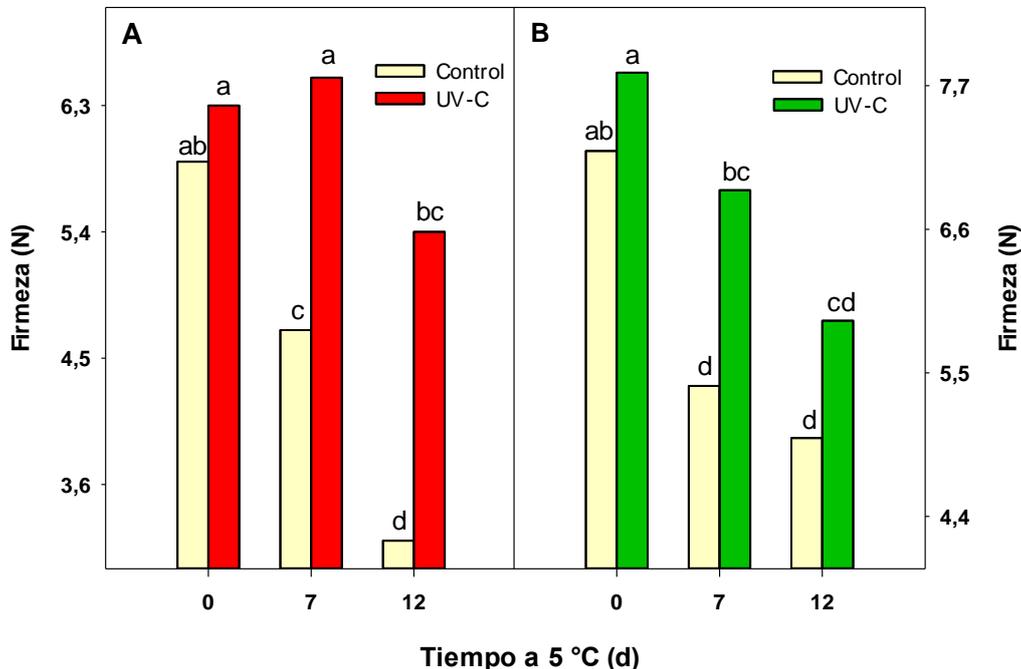


Figura 4.17. Firmeza en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [$20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 o 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

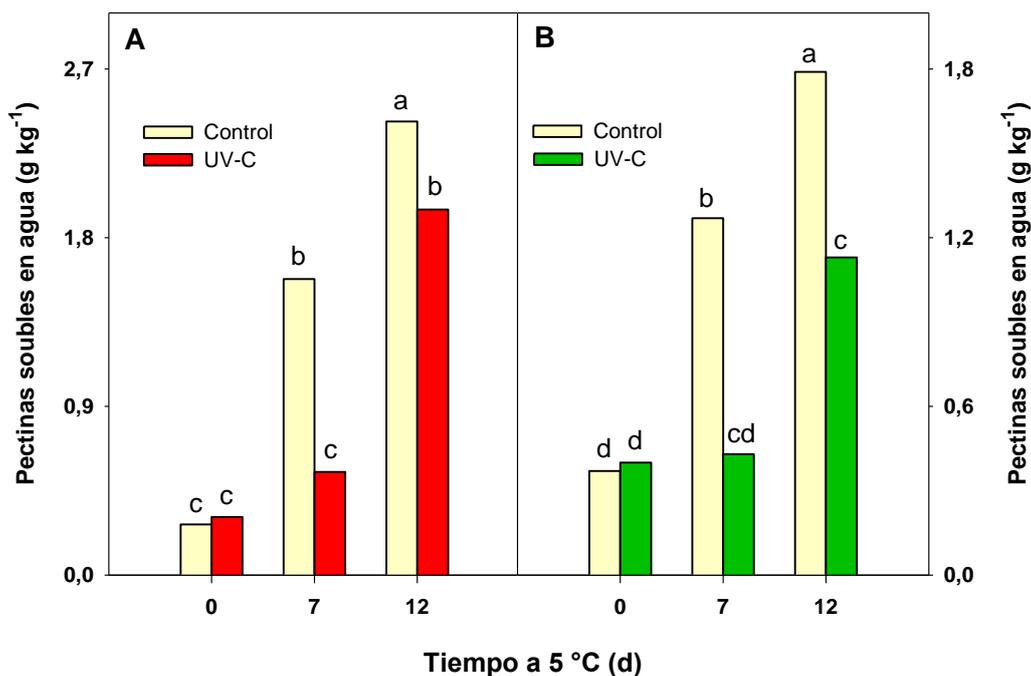


Figura 4.18. Pectinas solubles en agua en pimiento fresco cortado control y tratado con radiación UV-C [$20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ (I/E)] en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Las pectinas solubles aumentaron 4 veces a los 7 días de almacenamiento en frutos control. En los frutos tratados con UV-C la solubilización de pectinas fue retrasada en forma significativa (**Figura 4.18**). A pesar de que en pimiento la deshidratación es una causa importante del ablandamiento (**Jen y Robinson, 1984; Díaz-Pérez et al., 2007; Cantwell, 2013**), los cambios en firmeza mostraron una buena correlación con la solubilización de pectinas. De todos modos, la menor deshidratación de los bastones tratados (**Figura 4.7**) podría ser un factor importante en el mantenimiento de la firmeza.

4.4. CONCLUSIONES

Los resultados muestran que las condiciones óptimas de tratamiento de irradiación UV-C para pimientos frescos cortados difieren de las informadas para frutos intactos. El tratamiento con UV-C $20,0 \text{ kJ m}^{-2}$ en las caras interna y externa resultaron apropiados para reducir el deterioro de pimientos verdes y rojos frescos cortados. Los pimientos verdes poseen una mayor tolerancia a la radiación UV-C que los rojos. La

aplicación de los tratamientos seleccionados en forma previa al almacenamiento refrigerado resulta en un mejor mantenimiento de la textura, integridad de los frutos y en un menor ataque microbiano. Si bien los tratamientos en las condiciones ensayadas tienen un efecto germicida, estos son moderados y el marcado control de las podredumbres existente pareciera estar más asociado con respuestas inducidas en los frutos por la irradiación. Estos efectos parecen estar relacionados con un retraso en la maduración y senescencia y con un menor deterioro de tejidos que se traduce en una mejor firmeza y menor fuga de solutos celulares. Finalmente, los tratamientos no causan cambios indeseables en el color, contenido de azúcares y acidez y pueden ser considerados como una estrategia no química efectiva complementaria a la refrigeración.

5. EFECTO DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS DE ALTA
TEMPERATURA SOBRE LA
CALIDAD DE PIMIENTO
FRESCO CORTADO



5.1. INTRODUCCIÓN

5.1.1. Tratamientos térmicos en vegetales frescos

Los tratamientos térmicos de alta temperatura (TT), se han empleado en la industria alimentaria con diversos objetivos (*Hardy et al., 1999*). En alimentos que presentan actividad metabólica, como lo son las frutas y hortalizas frescas, se han utilizado TT suaves para mejorar la capacidad de conservación, pero sin afectar la viabilidad celular ni suprimir los procesos fisiológicos (*Lurie, 1998*). Este tipo de tratamientos consisten en colocar los productos por un período variable, desde unos pocos minutos hasta varios días, a temperaturas relativamente bajas (25-70 °C) en comparación con otros tratamientos tradicionales tales como el escaldado, la pasteurización y la esterilización. En los últimos años y ante la preocupación de los consumidores por la inocuidad de los alimentos los TT, al igual que otros tratamientos físicos, han retomado mucho interés (*Barry-Ryan et al., 2007*).

5.1.2. Tipos de tratamientos térmicos

Dependiendo de los objetivos buscados, las condiciones en las que se realizan los TT pueden ser muy variables.

a) Curado: Este tipo de tratamientos consiste en someter al vegetal a temperaturas de entre 25-40 °C y alta humedad relativa, pero por períodos de tiempo que comprenden desde algunas horas hasta días. El curado se aplica a frutos enteros y su principal objetivo es promover la cicatrización de heridas (*Schirra et al., 2000*). Este método es muy utilizado en bulbos, tubérculos y raíces (cebolla, papa, batata), aunque también puede utilizarse en cítricos. La papa puede curarse entre 30 a 35 °C y 85-90% HR por un período de 4-7 días (*James y Ngarmsak, 2011*). En cebolla un curado de entre 25 y 35 °C por 2 días es suficiente para reducir la incidencia de pudriciones causada por *Enterobacter cloacae* (*Schroeder y Toit, 2010*). En frutos de pepita se han evaluado también tratamientos a temperaturas moderadas por varios días. En manzana Gala un TT a 38 °C por 4 días disminuyó el ataque y la severidad del daño causado por *Botrytis cinerea* y *Penicillium spp.* (*Shao et al., 2010*).

b) Tratamientos a alta temperatura por corto tiempo: El uso de TT de alta temperatura por corto tiempo ha sido una estrategia para retrasar la maduración y senescencia de vegetales, minimizar el desarrollo de los principales patógenos de poscosecha, controlar plagas cuarentenarias y disminuir el daño por frío. Normalmente se emplean temperaturas de 45-70 °C por períodos que van desde unos pocos segundos hasta algunas horas (**Barry-Ryan et al., 2007**). Dado que la exposición de los vegetales a estas condiciones puede inhibir parcialmente la biosíntesis de proteínas, o redireccionarla, el metabolismo general puede verse retrasado con una consiguiente reducción en la tasa de maduración y senescencia (**Lurie, 1998**). Asimismo, se ha demostrado que los TT en condiciones apropiadas pueden inhibir la biosíntesis de etileno, retrasando marcadamente la velocidad de maduración en muchos frutos climatéricos.

Los primeros TT evaluados se remontan al año 1922 y su principal objetivo fue el control de infecciones causadas por *Phytophthora citrophthora* en cítricos. Desde entonces los TT han sido efectivos para reducir pudriciones en diferentes frutas y hortalizas (**Fallik, 2004**). En frutos de carozo (duraznos, nectarinas y ciruelas) inoculados previamente, 55-60 °C por 30-60 segundos redujeron el desarrollo microbiano (**Karabulut et al., 2010**). En manzana, tratamientos por inmersión (50-54 °C, 3 min.) o por aspersión (55 °C, 20-25 seg.) controlaron eficazmente una amplia variedad de hongos causantes de deterioro (**Maxin et al., 2012a**).

En la actualidad el uso comercial más difundido de este tipo de metodologías es el control de moscas de los vegetales (*Ceratitis capitata*, *Anastrepha spp.*). Si bien el uso de bromuro de metilo como fumigante resulta en un menor costo operativo, el cuestionamiento de sus efectos deletéreos sobre la capa de ozono aumentó el interés en los TT. En la actualidad se emplean principalmente para frutos tropicales como mango y papaya (**James y Ngarmsak, 2011**). Normalmente los mismos se realizan por inmersión en piletas con agua caliente. Los tratamientos constan de un período de calentamiento progresivo o acondicionamiento de diferente duración dependiendo del producto, seguido del período a la temperatura de tratamiento necesaria para causar la muerte de las plagas que se desea controlar. Finalizada dicha etapa se realiza el enfriado que puede ser rápido (hidroenfriado) o lento (enfriado con aire) (**Porat et al., 2000a**).

Por último se ha descrito que los TT pueden reducir marcadamente el daño por frío en algunos productos. En mandarinas, tratamientos a 53 °C por 1 y 6 h; redujeron los síntomas de este desorden aún luego de 6 meses de almacenamiento a 1 °C (*Erkan et al., 2005*). En la **Tabla 5.1** se indican las condiciones de tratamientos a alta temperatura por corto tiempo que han sido empleadas en algunos productos, así como los principales objetivos perseguidos en cada caso.

Tabla 5.1. *Tratamientos térmicos empleados en frutas y hortalizas frescas. (Fallik, 2004).*

Producto	Tratamiento	Objetivos
Manzana (Royal Gala)	44 °C, 35min.	Control de insectos
Manzana (Golden Delicious)	55 °C, 15seg.	Control de pudriciones, inhibición de la maduración
Limón	53 °C, 2min.	Control y tolerancia contra las pudriciones
Mango	43-49 °C, 65-90min.	Cuarentena
Melón (Galia)	59 °C, 15seg.	Control de pudriciones, inhibición de la maduración
Naranja	56 °C, 20seg.	Control de pudriciones, mejora en la calidad
Tomate	39-45 °C, 60min.	Control de pudriciones, tolerancia al frío
Pimiento	45 °C, 15min., 53 °C, 4min.	Control de pudriciones, tolerancia al frío

5.1.3. Medios de calefacción

Los TT pueden realizarse empleando agua caliente, vapor o aire caliente como medio calefactor (*Barkai-Golan y Phillips, 1991*). El aire húmedo se ha utilizado para el control de insectos, mientras que el aire seco para el control de insectos y hongos (*Lurie, 1998*). El agua es preferible para muchas aplicaciones debido a que posee mayor capacidad de transmisión de calor que el aire, lo que puede reducir los tiempos de exposición (*Figura 5.1*). Además, si se hace circular correctamente a través del producto se puede obtener una temperatura más uniforme en el mismo (*Lurie, 1998; Fallik, 2004*). Sin embargo, puede favorecer la pérdida de nutrientes por disolución y

algunos productos no la toleran (**Saldivar et al., 2010**). Los tratamientos con vapor se utilizaron antiguamente para eliminar plagas cuarentenarias (**Lurie, 1998**).

El aire forzado caliente se ha usado para cuarentena y también para la inhibición de hongos, retraso de la maduración e inducción de tolerancia al frío (**Lurie, 1998, Fallik, 2004**). El aire caliente puede aplicarse dentro de cámaras con circulación controlada. Finalmente, los TT por inmersión poseen una serie de ventajas relativas tales como una fácil aplicación, menores tiempos de exposición, el fácil monitoreo de la temperatura del producto y el agua y un efecto mecánico que puede favorecer la reducción de la carga microbiana superficial. Operativamente, dado que los tiempos se reducen marcadamente, resultan más fáciles de adaptar a líneas de procesado. De todos modos solo pueden emplearse en productos que toleren el contacto con el agua. A nivel comercial los TT con agua caliente pueden realizarse por inmersión o aspersión. Los primeros consisten en un tanque de tratamiento, un intercambiador de calor, un sistema de circulación de agua y un controlador de temperatura. En los sistemas por aspersión el producto es rociado con agua caliente mientras es transportado mediante una cinta, en algunos casos estos tratamientos se han complementado con rodillos limpiadores con cerdas suaves que favorecen el efecto mecánico de limpieza superficial (**Fallik, 2004**). Los sistemas deben contemplar una etapa de enfriamiento rápido luego del tratamiento térmico para evitar el sobre-tratamiento y disminuir rápidamente la actividad metabólica del vegetal.

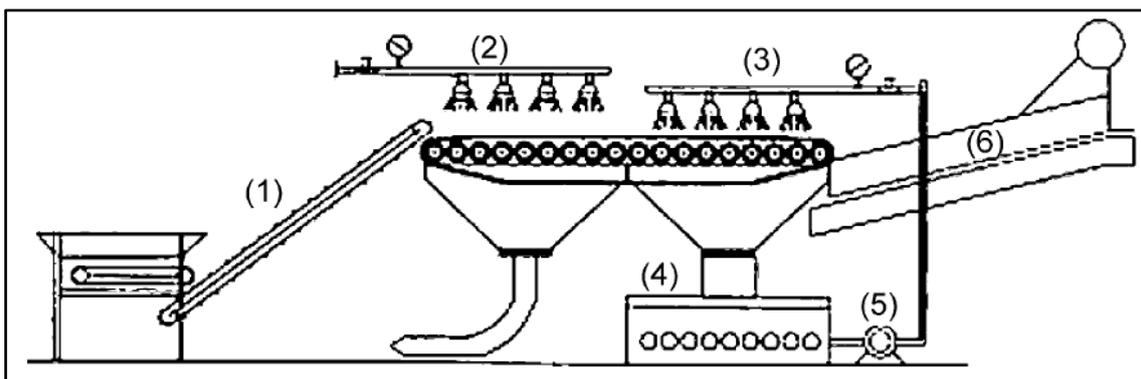


Figura 5.1. Esquema de una línea de tratamientos térmicos de alta temperatura (TT) por aspersión. (1) cinta transportadora; (2) aspersor de agua fría; (3) aspersor de agua caliente; (4) contenedor de agua caliente; (5) bomba para recircular el agua que es reciclada; (6) secador por aire forzado (**Fallik, 2004**).

5.1.4. Efecto de los tratamientos térmicos sobre diferentes procesos biológicos, en agentes fitopatógenos y en los vegetales

a) Inhibición del metabolismo microbiano: Si bien las temperaturas utilizadas en estos tratamientos no son suficientes para inactivar totalmente las esporas de hongos, pueden causar un retraso en la germinación, crecimiento y esporulación, lo que minimiza las pudriciones (*Schirra et al., 2000*). *Porat et al., (2000b)* encontraron que la germinación de *Penicillium digitatum* es inhibida en 20 segundos a 56 °C *in vitro*. Además hallaron que ese tratamiento redujo la incidencia de ataque en cítricos inoculados previamente con el patógeno. Otro trabajo *in vitro* encontró que el porcentaje de germinación y la elongación del tubo de esporas de *Botrytis cinerea* y *Alternaria alternata* fue reducido con tratamientos de 45, 50 y 55 °C con tiempos entre 1 y 10 minutos; si bien *A. alternata* resultó ser la más resistente, se observaron efectos marcados a partir de los 3 minutos de tratamiento incluso a 45 °C (*Fallik et al., 1996*). En otros trabajos se ha registrado una reducción en los recuentos microbianos en los vegetales luego de los tratamientos térmicos suaves. En mango la inmersión en agua a 50 °C por 5 minutos redujo marcadamente los recuentos de bacterias y mohos y levaduras en la piel de los frutos inmediatamente luego del tratamiento, mientras que el efecto fue menor en la zona peduncular, seguramente por estar internalizados en esa zona (*Ngarmsak et al., 2006*). En frutos de melón una inmersión a 50 °C por 60 minutos derivó en 3 reducciones decimales en recuentos microbianos luego de un día de almacenamiento a 10 °C (*Lamikanra et al., 2005b*). Finalmente, los recuentos microbianos se redujeron después un tratamiento de 48 °C por 10 minutos en pepino cortado (*Su et al., 2011*).

b) Inducción de refuerzos estructurales, acumulación de fitoalexinas y enzimas de defensa contra patógenos vegetales: Más allá del efecto directo en la viabilidad de los microorganismos se sabe que los TT inducen respuestas en los vegetales que pueden resultar en una mejor tolerancia contra agentes fitopatógenos. Esto queda demostrado en los ensayos en los cuales los productos se inoculan con patógenos de poscosecha, luego de realizados los TT, e igualmente se observa una reducción en la incidencia y la severidad de podredumbres (*Maxin et al., 2012b; Schirra et al., 2000; Liu et al., 2012*). Algunos estudios han mostrado que algunos TT pueden promover la

síntesis de compuestos que dificultan la colonización de los tejidos vegetales. Por ejemplo, la menor incidencia de pudriciones durante el almacenamiento de frutos de limón se relacionó con la síntesis de lignina que refuerza las barreras estructurales de los frutos (*Schirra et al., 2000; Nafussi et al., 2001*). Por otra parte, varios estudios han demostrado que los TT pueden inducir la acumulación de compuestos con capacidad antimicrobiana conocidos genéricamente como fitoalexinas (*Lurie, 1998*). Otro tipo de respuesta activa que se ha informado en la literatura es la inducción de enzimas de defensa. Así, en mandarina y pera se observó que los TT incrementan la actividad quitinasa y β -1,3-glucanasa, enzimas que catalizan la hidrólisis de polisacáridos de las paredes celulares de muchos hongos (*Inkha y Boonyakiat, 2010*). También se ha descrito que los TT promueven la acumulación de especies reactivas de oxígeno y ácido salicílico e inducen la expresión de genes relacionados con resistencia sistémica adquirida (*Kusajima et al., 2012*). Por último los TT han sido eficaces para eliminar micro-quebraduras en la cutícula por fusión parcial y redistribución de la cera epicuticular. De esta forma se eliminan aperturas que facilitan la deshidratación y el ingreso de patógenos. Este efecto se ha observado en manzana, pomelo, mandarina, pera, pimiento y melón tratados térmicamente (*Schirra et al., 2000*).

c) Retraso en la maduración: El proceso de maduración se asocia con una serie de cambios físicos y químicos que se encuentran genéticamente regulados y que incluyen comúnmente la pérdida de firmeza, la acumulación de ciertos pigmentos, el incremento en el cociente azúcares/ácidos y la producción de compuestos volátiles responsables del aroma. La exposición de los vegetales a temperaturas altas puede atenuar algunos de estos procesos (*Lurie, 1998*). Parte de los efectos en el retraso de la maduración se ha asociado, en frutos climatéricos, con una inhibición en la biosíntesis de etileno. Por su parte, en frutilla (fruto no climatérico), tratamientos a 45 °C por 3 horas lograron retrasar el ablandamiento, y la expresión y actividad de varias enzimas (endoglucanasa, β -galactosidasa y poligalacturonasa) relacionadas con la degradación de la pared celular (*Martínez y Civello, 2008*).

d) Protección contra el daño por frío, producción de proteínas de choque térmico y acumulación de poliaminas: Ya en 1936 se reportó que los tratamientos con

calor aliviaban el daño por frío en pomelos almacenados a 2 °C (*Schirra et al., 2000*). Este efecto ha sido reportado en varios vegetales incluido pimiento (*Fallik et al., 1999; Ilic' et al., 2012*) almacenado a 2 °C. En banana, un acondicionamiento de 3 días a 38 °C logró reducir el daño por frío en un almacenamiento posterior a 8 °C, (*He et al., 2012*). Varios trabajos adjudican la mejor respuesta al frío de vegetales tratados térmicamente a un grupo de proteínas denominadas de choque térmico (HSP) (*Aghdam et al., 2013*). Las HSPs son un grupo diverso de polipéptidos, cuya expresión se incrementa cuando las células se exponen a elevada temperatura. Las mismas se encuentran en todos los organismos vivos, desde bacterias hasta humanos. Algunas proteínas de choque térmico de bajo peso molecular (sHSPs) poseen funciones de chaperonas, asociándose a otras proteínas, y evitando su desnaturalización y agregación (*Mahmood et al., 2010*) y se ha sugerido que de este modo protegerían a los vegetales de las bajas temperaturas (*He et al., 2012; Waters, 2012*). La menor incidencia de daño por frío en vegetales sometidos a TT también se ha relacionado con la síntesis de poliaminas. En este caso se ha sugerido que estos compuestos de naturaleza catiónica a pH fisiológico podrían contribuir a resguardar la integridad de las membranas celulares (*González-Aguilar et al., 2000*). De todos modos estas afirmaciones se basan sólo en datos correlativos de acumulación de los mencionados compuestos con el fenotipo observado y mayores estudios son necesarios para confirmar si este mecanismo, que si bien es plausible, realmente se encuentra involucrado en la mejor respuesta al frío de los vegetales sometidos a TT.

e) Reducción del pardeamiento: La inmersión en agua caliente ha retrasado el pardeamiento en frutos (*Kim et al., 1993*) y hortalizas de hoja (*Li et al., 2001*). En lechuga cortada un tratamiento de 50 °C por 90 segundos redujo la actividad de la enzima fenilalanina amonio-liasa (PAL), retrasando la biosíntesis de compuestos fenólicos (*Loaiza-Velarde y Saltveit, 2001*). En brotes de arveja tratamientos a 50 °C por 60 segundos redujeron la actividad PAL, la síntesis de compuestos fenólicos y la formación de quinonas durante el almacenamiento (*Nishimura et al., 2012*). En otro trabajo se muestra que la actividad de la enzima oxidativa polifenol-oxidasa (PPO) también puede ser reducida por los TT (*Maghoumi et al., 2012*).

5.1.5. Uso de TT en productos frescos cortados

Los TT se han evaluado en una serie de vegetales mínimamente procesados. Tratamientos a 50 °C por 90 segundos aplicados antes del corte de lechuga fueron efectivos para prevenir el pardeamiento (**Loaiza-Velarde y Saltveit, 2001**). En rodajas de tomate previnieron el daño por frío evidenciado por la fuga de electrolitos (**Saltveit, 2005**). También se han evaluado en uva de mesa mínimamente procesada con buenos resultados, siendo más efectivos los tratamientos por inmersión que aquellos con aire caliente (**Kou et al., 2007**). En pera un tratamiento de 50 °C por 10 minutos, 4 horas antes del corte, controló el pardeamiento, retuvo la firmeza y extendió el almacenamiento de las rodajas (**Koukounaras et al., 2008**).

En pimiento si bien se han realizado algunos trabajos con frutos enteros, mostrando que los TT pueden retrasar en cierta medida el deterioro y el daño por frío (**Fallik et al., 1996 y 1999; González-Aguilar et al., 2000; Ilic' et al., 2012**), los estudios en vegetales procesados son más escasos. **Sgroppo et al. (2005)** encontraron que pimiento rojo tipo *cherry* tratado por inmersión en agua a 55 °C y almacenado a 10 °C tuvo mejor aceptación organoléptica, notándose un incremento en los azúcares reductores y la actividad antioxidante. Adicionalmente, tratamientos a 55 °C y 60 °C por 3 minutos, aplicados antes del corte, fueron útiles para preservar la capacidad antioxidante en pimiento verde mínimamente procesado (**Sgroppo y Pereyra, 2009**). La aplicación de TT con posterioridad al trozado no ha sido evaluada en pimiento. Esto resulta particularmente interesante puesto que, durante las condiciones normales de procesamiento de productos frescos cortados, normalmente los mismos son sometidos a tratamientos por inmersión con agua para el lavado. En tal sentido, la aplicación de los TT luego del trozado, si bien podría resultar menos eficaz en el control de los efectos fisiológicos propios del corte, podrían ser más fácilmente adaptables a las líneas de productos frescos cortados existentes. De todos modos, las condiciones de tratamiento óptimas para los productos trozados deben determinarse. Finalmente los estudios que se han publicado hasta la fecha han focalizado solamente en frutos en un solo estado de madurez, por lo que resulta importante determinar si las condiciones de tratamiento más apropiadas y los efectos en la calidad poscosecha difieren en función del estado de madurez considerado.

5.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

5.2.1. Objetivos específicos

-Determinar las condiciones óptimas de tratamiento térmico de alta temperatura por inmersión (tiempo y temperatura) para pimiento fresco cortado en estado de madurez verde y rojo, y comprobar si los mismos difieren de los descritos en la literatura para frutos intactos.

-Analizar si existen diferencias en la tolerancia al calor entre frutos verdes y rojos.

-Estudiar la influencia de los TT seleccionados sobre la calidad organoléptica, microbiológica y nutricional de los frutos.

5.2.2. Hipótesis

-Las condiciones óptimas de TT para pimiento fresco cortado son diferentes de las establecidas para frutos intactos.

-Los bastones de pimiento rojo son más sensibles al calor que los de frutos verdes.

-La aplicación de TT por inmersión puede resultar una estrategia no química de utilidad para mejorar la conservación de pimiento fresco cortado en estado de madurez verde y rojo y otorgar beneficios adicionales a la refrigeración.

5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.3.1. Selección de las condiciones óptimas (tiempo y temperatura) de tratamiento

Los TT pueden ser beneficiosos si se aplican utilizando las temperaturas y tiempos óptimos, condiciones altamente dependientes del producto considerado y de su grado de procesamiento. Asimismo la respuesta al TT puede depender de diversos factores, tales como las condiciones pre-cosecha y la edad fisiológica del producto (*Lurie, 1998*). El empleo de temperaturas altas o tiempos prolongados puede causar efectos desfavorables (*Paull y Chen, 2000*). Esto se visualizó claramente en el presente estudio cuando los bastones de pimienta se trataron a 55 °C. El empleo de agua a esta temperatura resultó en un incremento del deterioro hacia el final del almacenamiento. En pimienta roja también se aumentó la susceptibilidad al desarrollo de enfermedades con TT a 50 °C por 3 minutos. Sin embargo, esta condición fue tolerada por los bastones verdes. En ese sentido los resultados sugieren que los frutos verdes son menos susceptibles al daño por calor que los rojos (*Figuras 5.2 y 5.3*). En un estudio previo *Sgroppo y Pereyra (2009)*, encontraron que la aplicación de 55 °C por 3 minutos antes del procesado es efectiva para mantener la calidad de pimienta verde. En nuestro trabajo ese tratamiento dañó marcadamente al fruto rojo, mientras que si bien en fruto verde el daño fue menor, no otorgó beneficios. La menor tolerancia a los TT como consecuencia del procesamiento fue también hallada por *Koukounaras et al. (2008)* en pera mínimamente procesada. Esta diferencia probablemente se asocie con la mayor superficie relativa expuesta en vegetales procesados, redundando en que los VFCs alcancen la temperatura umbral de daño más rápidamente (*Paul y Chen, 2000*).

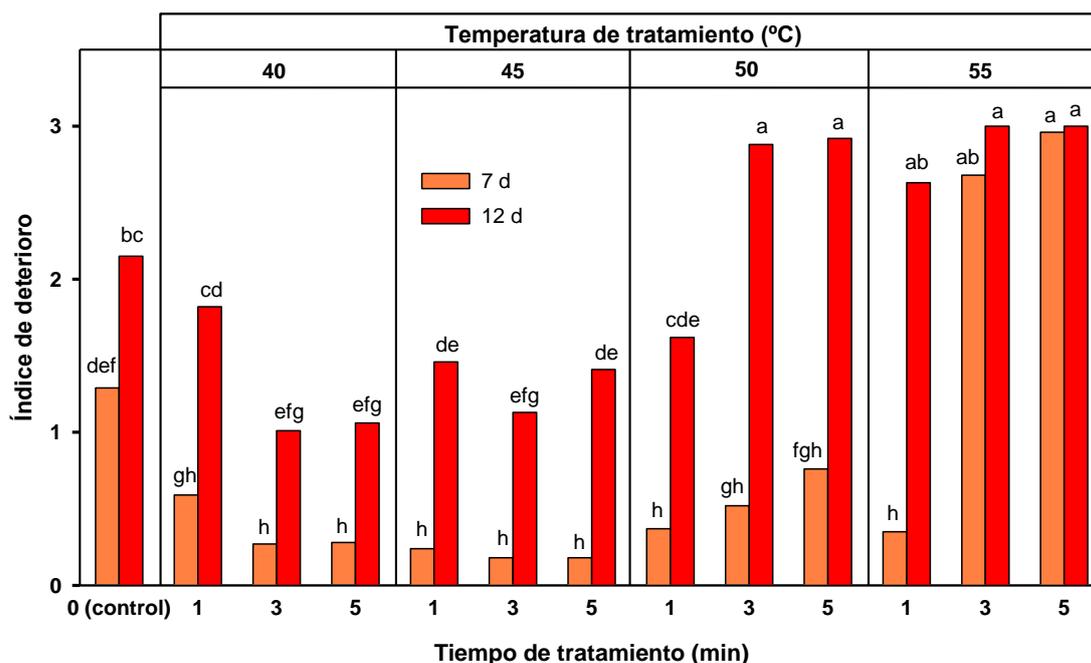


Figura 5.2. Índice de deterioro de bastones de pimienta roja, control o sometidos a diferentes condiciones de tratamiento térmico de alta temperatura por inmersión en agua y almacenados a 5 °C por 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

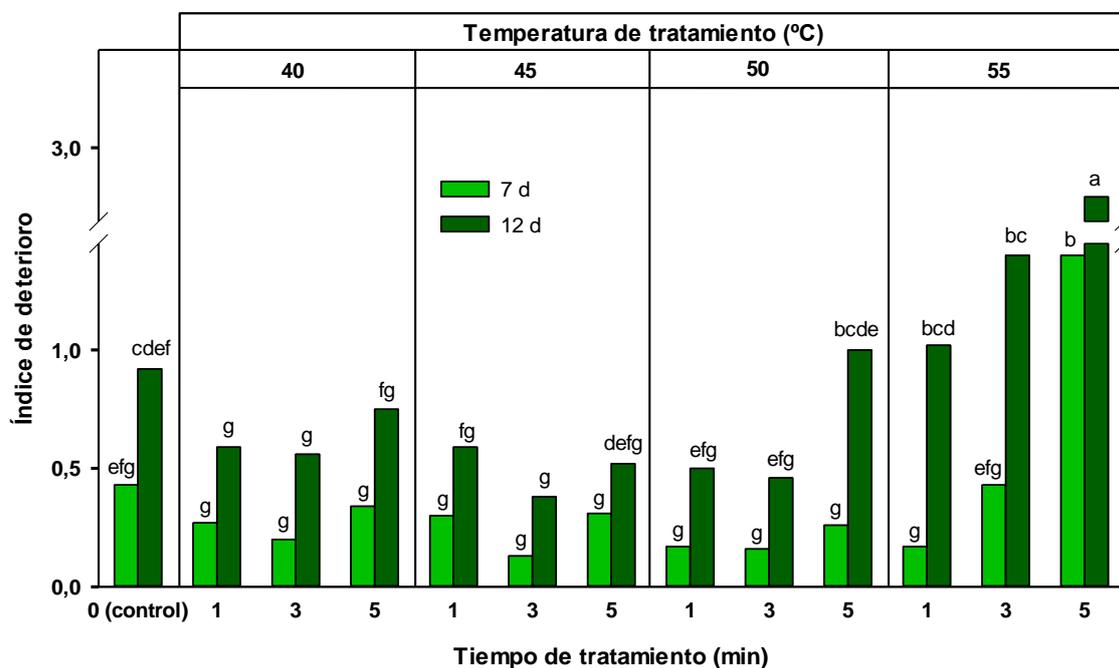


Figura 5.3. Índice de deterioro de bastones de pimienta verde, control o sometidos a diferentes condiciones de tratamiento térmico de alta temperatura por inmersión en agua y almacenados a 5 °C por 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Para pimiento rojo fueron efectivos los tratamientos a 40 °C por 3 y 5 minutos; a 45 °C a los tres tiempos ensayados y a 50 °C por 1 minuto. En pimiento verde la mejor respuesta se observa a 40 o 45 °C por 1, 3 o 5 minutos. A 50 °C la exposición no debería ser superior a 3 minutos. Los resultados muestran que los TT luego del corte también son efectivos para reducir el deterioro de pimiento fresco cortado. Los TT a 45 °C por 3 minutos fueron los que se utilizaron para las subsiguientes determinaciones de calidad en ambos estados de madurez.

5.3.2 Efecto del tratamiento térmico seleccionado sobre la calidad poscosecha de pimiento verde y rojo refrigerado

a) Síntomas de deshidratación, pérdida de peso y podredumbre blanda: La aparición de bordes irregulares y deshidratados fue significativamente reducida por el tratamiento térmico (**Figura 5.4**). A los 7 días la pérdida de peso fue similar entre tratamientos, aunque hacia el final del almacenamiento los valores fueron 20% menores en los frutos tratados para ambos estados de madurez (**Figura 5.5**). Esto difiere de lo informado para pimiento rojo entero donde no se encontraron beneficios en cuanto a la pérdida de peso en frutos con TT (**Ilic' et al., 2012; Fallik et al., 1996**). De todos modos en pimiento verde entero ya se había descrito este efecto (**González-Aguilar et al. 1998 y 2000**).

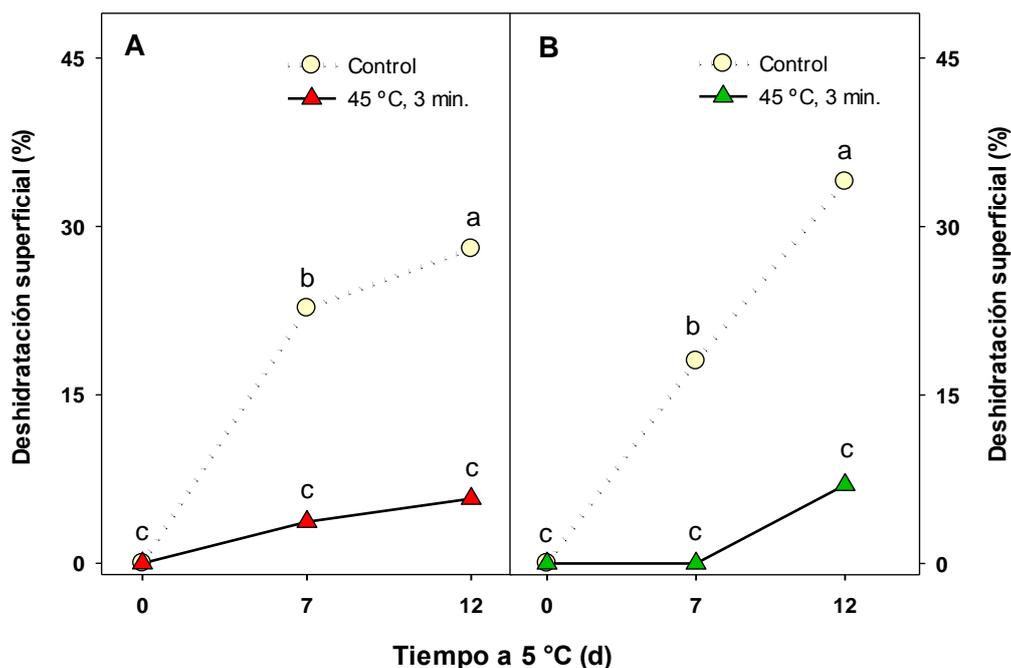


Figura 5.4. Síntomas de deshidratación superficial en pimiento fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

En nuestro estudio durante el almacenamiento se observó desarrollo de podredumbre blanda como la principal causa de deterioro. La misma se ha asociado con el desarrollo de bacterias (*El-Bassuoni y Cantwell, 1994*), probablemente especies del género *Erwinia*, aunque también puede asociarse al desarrollo de levaduras (*Escalona et al., 2004*). Los síntomas de la enfermedad fueron más evidentes en frutos rojos que en verdes. Ya a los 7 días de almacenamiento el TT logró reducir 7 y 2,5 veces el índice de podredumbre blanda en frutos rojos y verdes respectivamente (*Figura 5.6*).

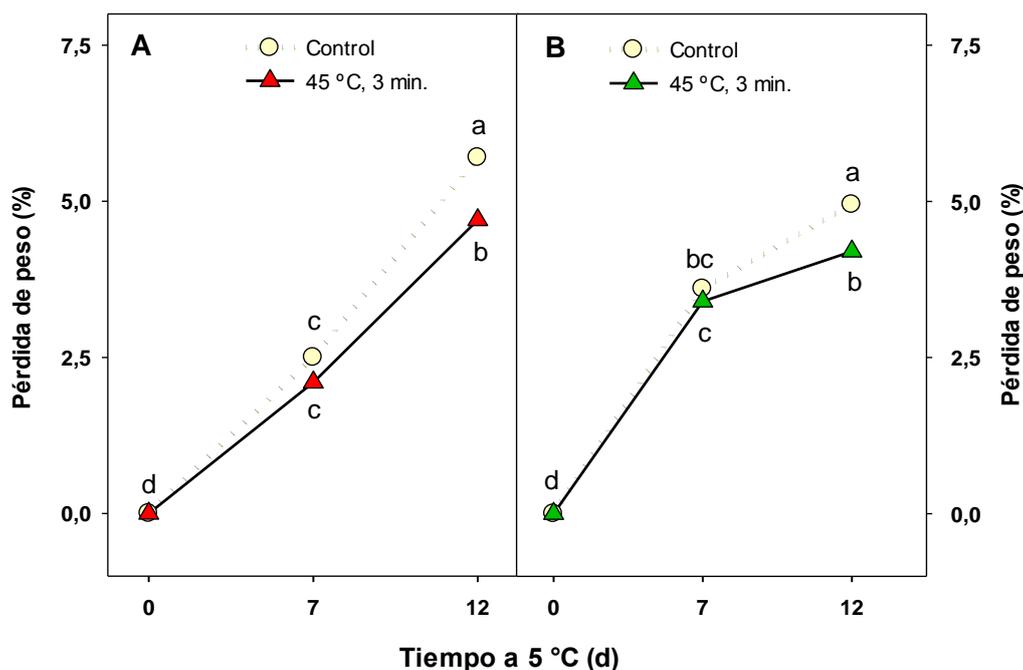


Figura 5.5. Pérdida de peso en pimiento fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

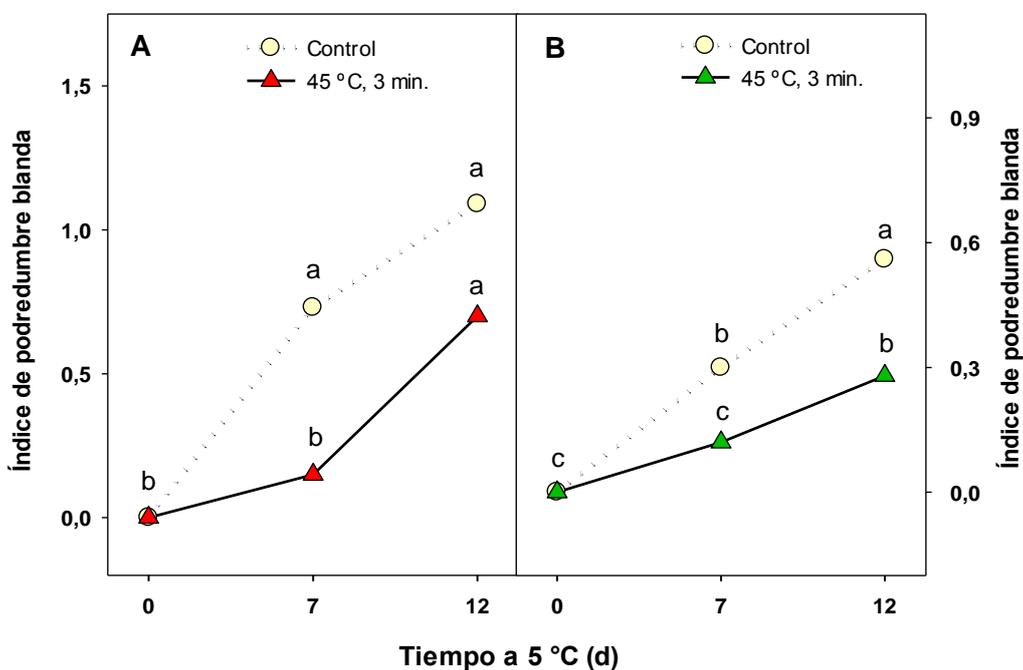


Figura 5.6. Podredumbre blanda en pimiento fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Claramente los frutos tratados térmicamente tuvieron mejor apariencia general que el control a los 12 días de almacenamiento (**Figura 5.7**).

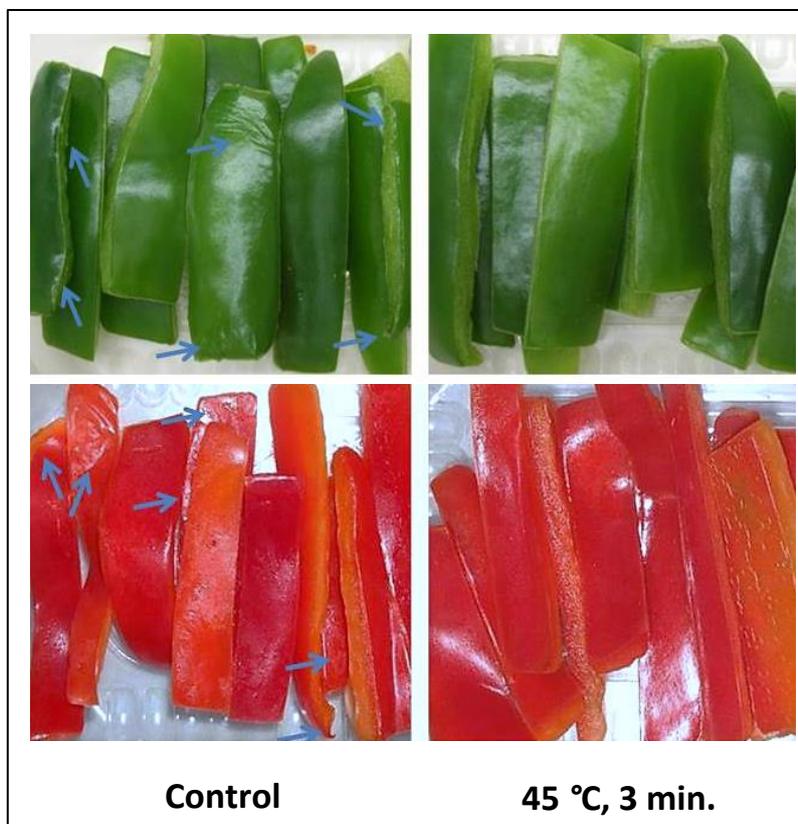


Figura 5.7. Apariencia de pimiento fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en ambos estados de madurez, almacenados a 5 °C 12 d. Las flechas celestes indican zonas de daño y deshidratación.

b) Tasa respiratoria, exudado y fuga de electrolitos: Inmediatamente luego del TT no se observaron cambios en la TR de los frutos. Si bien existe evidencia de que los TT pueden aumentar la tasa respiratoria, al menos durante los primeros días del almacenamiento (**González-Aguilar et al., 1998 y 2000**). En el presente trabajo, la TR aumentó más rápidamente en los frutos control que en los tratados térmicamente (**Figura 5.8**). Los pimientos rojos control presentaron una TR 40% mayor que los tratados a los 7 días de almacenamiento. En bastones verdes hacia el final del almacenamiento los frutos control alcanzaron una TR de $42 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, mientras que en los tratados la misma fue de sólo $28 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. En manzana y tomate la TR aumentó cuando fueron expuestos a temperaturas de 36 a 38 °C, pero al ser

transferidos a temperatura ambiente se estabilizó en valores más bajos que la de frutos no tratados (*Lurie y Klein, 1990 y 1991*). Un TT a 55 °C por 12 segundos también redujo la tasa respiratoria de pimiento rojo entero (*Fallik et al., 1999*).

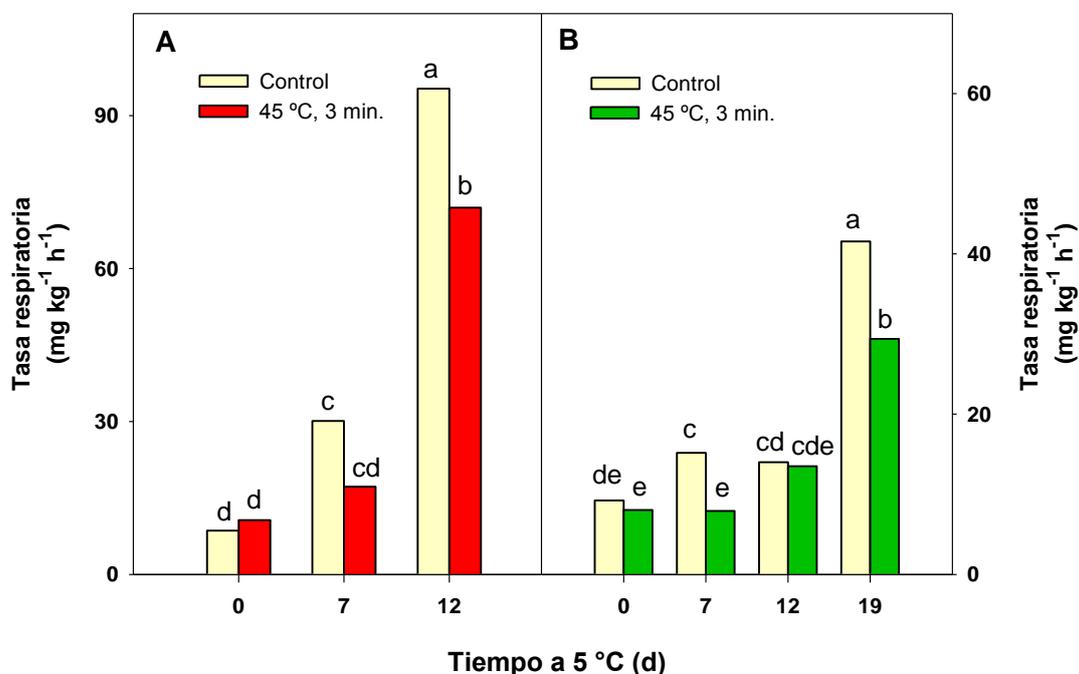


Figura 5.8. Tasa respiratoria en pimiento fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7, 12 y 19 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Los frutos rojos y verdes sometidos al TT mantuvieron una fuga de electrolitos inferior al control (*Figura 5.9*). Por su parte el exudado (EX) aumentó en forma pronunciada hacia el final del almacenamiento (*Figura 5.10*). En ambos estados de madurez el EX fue marcadamente menor hacia el final del almacenamiento en los bastones tratados. Los resultados del presente estudio muestran que el TT por inmersión a 45 °C por 3 minutos es efectivo en retrasar el deterioro y reducir la tasa metabólica de bastones de pimiento verde y rojo.

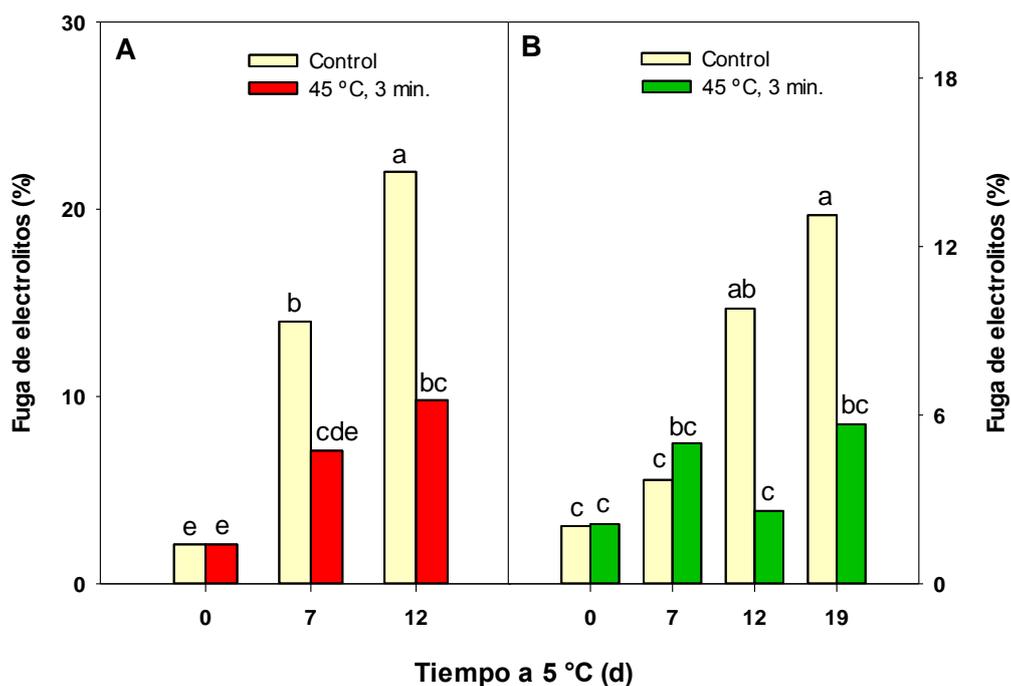


Figura 5.9. Fuga de electrolitos en pimiento fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7, 12 y 19 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

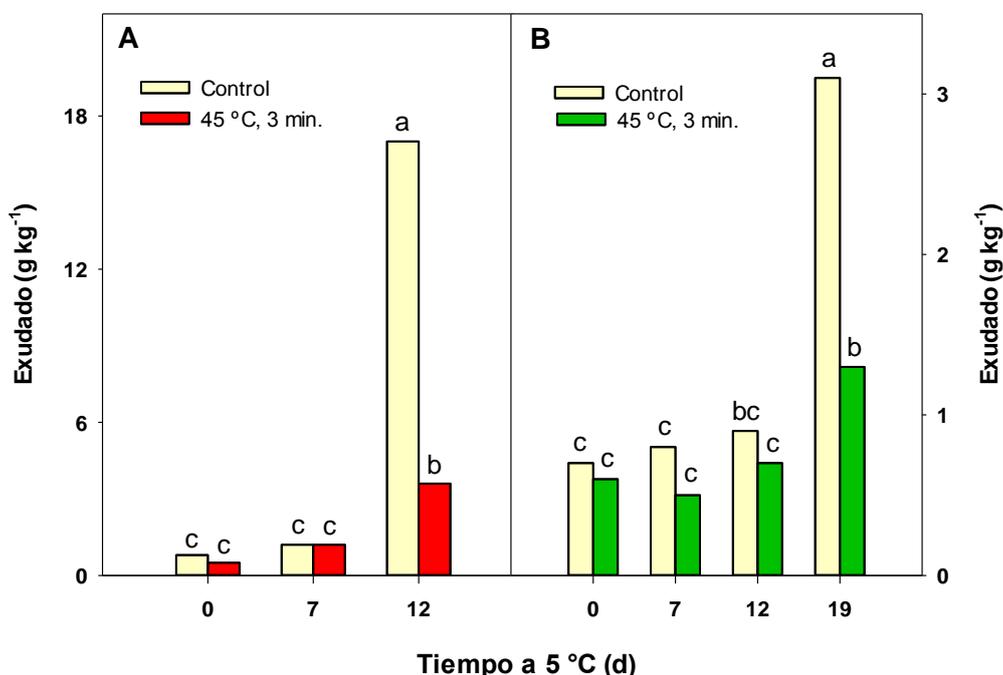


Figura 5.10. Exudado en pimiento fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7, 12 y 19 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

c) Color, azúcares, acidez, pH y capacidad antioxidante: La luminosidad (L^*) no tuvo grandes variaciones durante el almacenamiento (**Tablas 5.2 y 5.3**). Los frutos rojos comenzaron el almacenamiento con un valor de hue cercano a 50 y experimentaron una ligera disminución durante el transcurso del almacenamiento. A los 12 días, los frutos control alcanzaron valores más bajos que los TT. Estos datos concuerdan con lo publicado por *Ilic' et al. (2012)* en frutos rojos enteros, quienes encontraron que los TT retrasaban la evolución del color. En los frutos verdes (**Tabla 5.3**) el hue se mantuvo aproximadamente constante hasta los 12 días sin diferencias entre tratamientos. Sin embargo, hacia los 19 días, se registró una reducción en el hue del control de 127,3 a 125,0 lo que podría marcar el inicio del proceso de degradación de clorofilas. Este cambio no se observó en los frutos tratados.

El contenido de azúcares no presentó mayores modificaciones durante el almacenamiento. En frutos rojos estuvo entre 4,1 y 4,6%, mientras que en los verdes varió de 1,9 a 2,2% sin mayores efectos por los TT. En frutos rojos la acidez y el pH no presentaron grandes cambios y se mantuvieron cerca de 30 mmol H^+ kg^{-1} y 4,8-4,9 respectivamente (**Tabla 5.2**).

Tabla 5.2. Luminosidad (L^*), color (hue), azúcares, acidez, pH, capacidad antioxidante contra los radicales DPPH $^{\cdot}$ o ABTS $^{\cdot+}$ en bastones rojos control y tratados (TT, 45 °C, 3 min.) almacenados a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Valores seguidos de distintas letras indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

		Tiempo a 5 °C (d)		
		0	7	12
Luminosidad (L^*)	Control	31,5c	35,0a	33,3ab
	TT	31,0c	34,0a	33,1ab
Color (hue)	Control	51,7a	46,9a	46,9b
	TT	50,5ab	48,0ab	51,5a
Azúcares ($g\ kg^{-1}$)	Control	43a	46a	45a
	TT	44a	44a	41a
Acidez ($mmol\ H^+\ kg^{-1}$)	Control	28ab	31ab	34a
	TT	27b	30ab	32ab
pH	Control	4,96b	5,03a	4,74d
	TT	5,02a	4,88c	4,74d
Antioxidantes por DPPH $^{\cdot}$ (g^{-1})	Control	400a	400a	380a
	TT	440a	410a	360a
Antioxidantes por ABTS $^{\cdot+}$ ($mg\ kg^{-1}$)	Control	2.048abc	2.187a	1.913c
	TT	1.993bc	2.145ab	1.909c

Los frutos verdes experimentaron un leve aumento en la acidez acompañado con una reducción en el pH hacia el final del almacenamiento, que puede adjudicarse al desarrollo microbiano y procesos fermentativos producidos por el almacenamiento prolongado de 19 días, igualmente los frutos tratados no presentaron ese cambio, manteniendo los valores iniciales durante todo el almacenamiento (**Tabla 5.3**).

Tabla 5.3. Luminosidad (L^*), color (hue), azúcares, acidez, pH, capacidad antioxidante contra los radicales DPPH $^{\cdot}$ o ABTS $^{+\cdot}$ en bastones verdes control y tratados (TT, 45 °C, 3 min.) almacenados a 5 °C por 0, 7, 12 y 19 d. Valores seguidos de distintas letras indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

		Tiempo a 5 °C (d)			
		0	7	12	19
Luminosidad (L^*)	Control	32,0a	31,8a	32,5a	31,6ab
	TT	31,4ab	29,8b	31,1ab	31,2ab
Color (hue)	Control	127,3a	127,8a	126,5a	125,0b
	TT	127,8a	127,1a	127,0a	126,6a
Azúcares ($g\ kg^{-1}$)	Control	20a	20a	22a	19a
	TT	19a	18a	20a	19a
Acidez ($mmol\ H^+\ kg^{-1}$)	Control	16b	9,5c	17b	24a
	TT	16b	12bc	15bc	13bc
pH	Control	6,03bc	6,19b	5,91bc	5,11e
	TT	5,87c	6,41a	5,91bc	5,43d
Antioxidantes por DPPH $^{\cdot}$ (g^{-1})	Control	210a	210a	120a	ND
	TT	170a	150a	170a	ND
Antioxidantes por ABTS $^{+\cdot}$ ($mg\ kg^{-1}$)	Control	940a	628b	709b	ND
	TT	677b	632b	553b	ND

Inmediatamente después del tratamiento térmico se observó un leve descenso en el contenido de antioxidantes de los frutos verdes, aunque posteriormente la misma fue similar para control y tratado. En frutos rojos no se observaron grandes diferencias debidas al tratamiento o al tiempo de almacenamiento. En síntesis los resultados hallados en el color, contenido de azúcares, acidez y antioxidantes sugieren que el tratamiento empleado (45 °C, 3 min.) no altera las características organolépticas y nutricionales de los frutos.

d) Recuentos de bacterias aerobias mesófilas, mohos y levaduras: Al comienzo del almacenamiento los recuentos de bacterias fueron cercanos a $3,0 \text{ UFC g}^{-1}$ para ambos estados de madurez (**Figura 5.11**). Inmediatamente después del TT los recuentos de bacterias se redujeron levemente ($0,5 \text{ log UFC g}^{-1}$) en frutos verdes respectivamente, aunque esta caída no llegó a ser significativa. En pimiento rojo el desarrollo bacteriano aumentó durante el almacenamiento y, si bien hay una tendencia a menores recuentos en los frutos tratados térmicamente, esta diferencia tampoco fue significativa. En cambio, en pimiento verde a los 12 días los recuentos fueron una unidad logarítmica menor que en los frutos tratados (**Figura 5.11**).

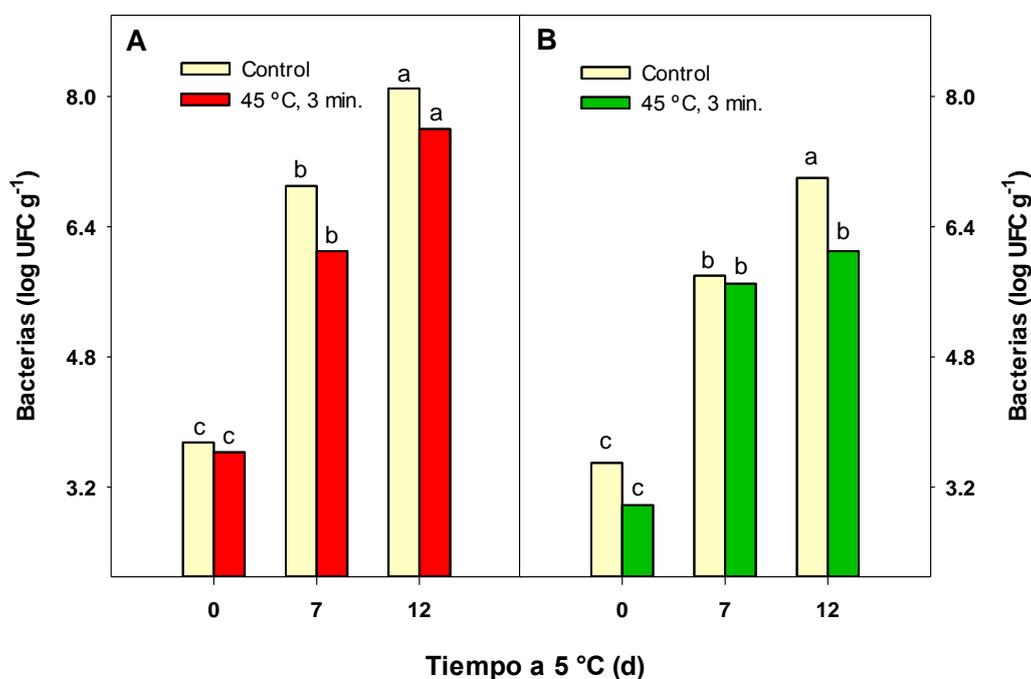


Figura 5.11. Recuento de bacterias aerobias mesófilas en pimiento fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Inicialmente el tratamiento logró reducir levemente los recuentos en mohos y levaduras en 0,5 y 0,3 unidades en los frutos rojos y verdes (**Figura 5.12**), esta diferencia se mantuvo durante los primeros 7 días en frutos rojos, mientras que en los frutos verdes la diferencia entre control y tratado llegó a $0,5 \text{ UFC g}^{-1}$. En frutos de

pimiento enteros inoculados artificialmente tratamientos a 50 °C por 1, 3 o 5 minutos redujeron los ataques de hongos (*Fallik et al., 1996*). A los 12 días no se registraron diferencias en los recuentos entre control y tratados en fruto rojo, mientras que en verde la diferencia se incrementó. Los TT a 45 °C por 3 minutos, si bien no redujeron en gran medida la carga inicial de los frutos, lograron retrasar la proliferación microbiana a lo largo del almacenamiento, y el mayor efecto se observó en frutos verdes.

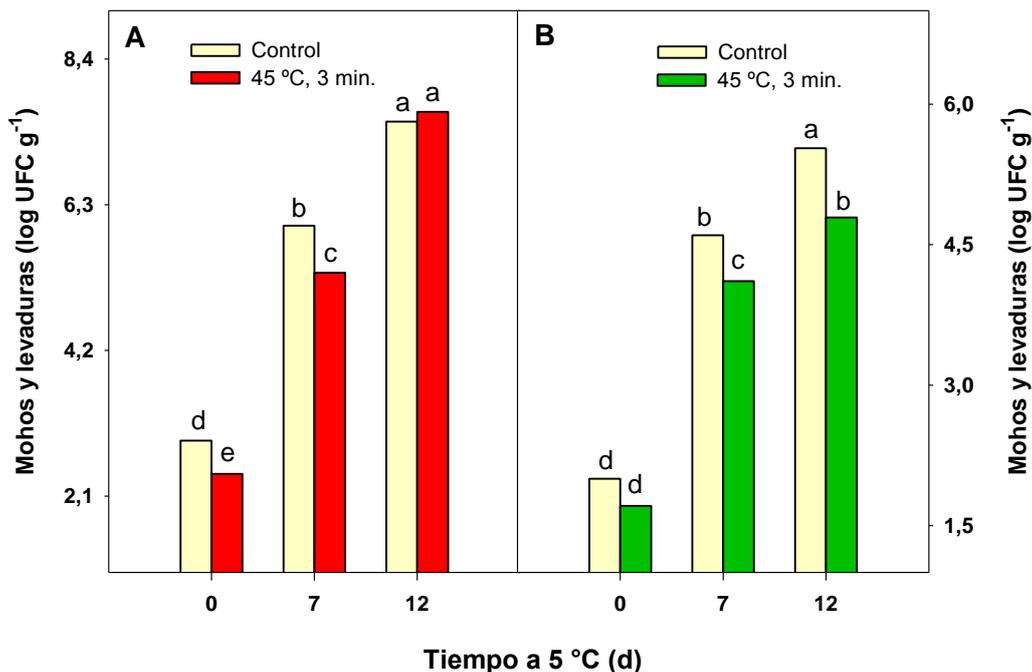


Figura 5.12. Recuento de mohos y levaduras en pimiento fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

e) Textura y pectinas solubles en agua: Al igual que lo descrito anteriormente, los frutos rojos mostraron menor firmeza que los verdes en ambos métodos ensayados (*Figuras 5.13 y 5.14*). Los bastones presentaron una resistencia a la flexión de 0,6 y 1,3 $N s^{-1}$, para frutos rojos y verdes respectivamente, al inicio del almacenamiento. A los 7 días la resistencia a la flexión se redujo 50% en pimientos rojos control y sólo el 25% en los tratados. La misma tendencia se mantuvo hacia los 12 días (*Figura 5.13*). Los frutos verdes con TT mantuvieron su firmeza durante todo el almacenamiento, mientras que el control experimentó un ablandamiento progresivo (*Figura 5.14*).

La solubilidad de las pectinas se incrementó a los 12 y 19 días en frutos rojos y verdes respectivamente (**Figura 5.15**). El tratamiento térmico logró reducirla cerca de 30%. En este sentido la asociación entre el incremento en la solubilidad de pectinas y el ablandamiento no fue directa. Así, cuando se produjo un aumento apreciable en la solubilidad de pectinas ya había ocurrido una marcada pérdida de firmeza, indicando que otros factores poseen relevancia en las primeras etapas del ablandamiento, más que la solubilidad de los poliuronidos. **Cheng et al., (2008)**, encontraron que la correlación entre el ablandamiento y la solubilidad de pectinas puede variar dentro de distintas líneas de pimiento. El mantenimiento de la firmeza hacia el final del almacenamiento sí podría deberse a la inhibición de enzimas de pared afectada por el tratamiento térmico (**Koukounaras et al., 2008**). Por otra parte los TT pueden estimular la actividad de la enzima pectinmetilesterasa (PME) capaz de generar sitios de unión para iones calcio que podrían reforzar la pared celular (**Aguayo et al., 2008; Koukounaras et al., 2008**). Mayores estudios son necesarios para determinar esto.

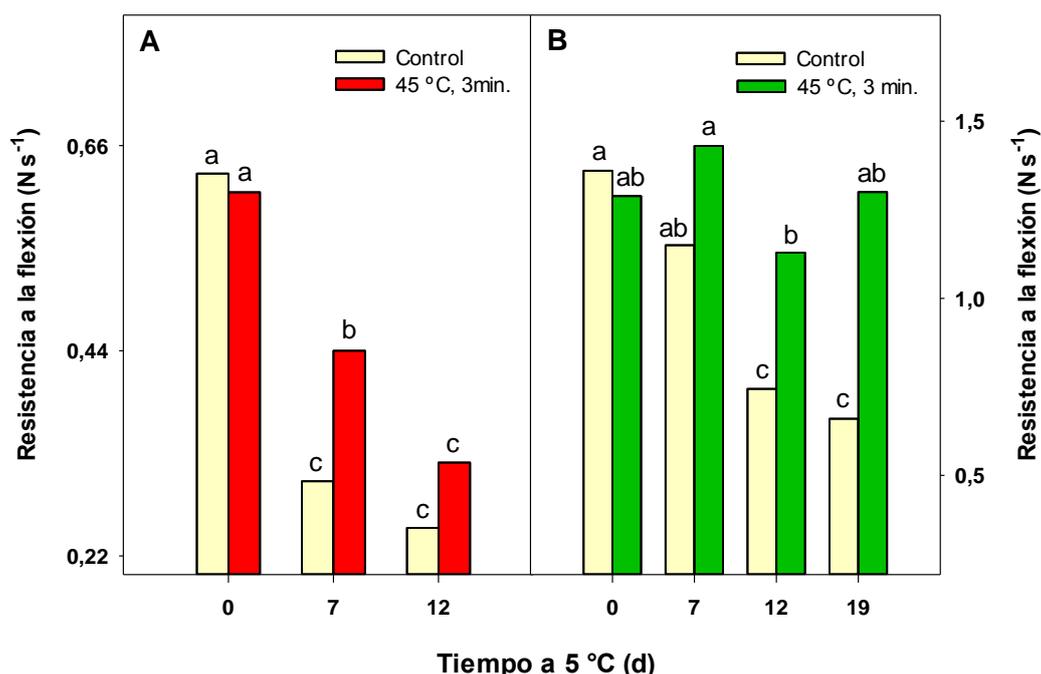


Figura 5.13. Resistencia a la flexión en pimiento fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7, 12 y 19 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

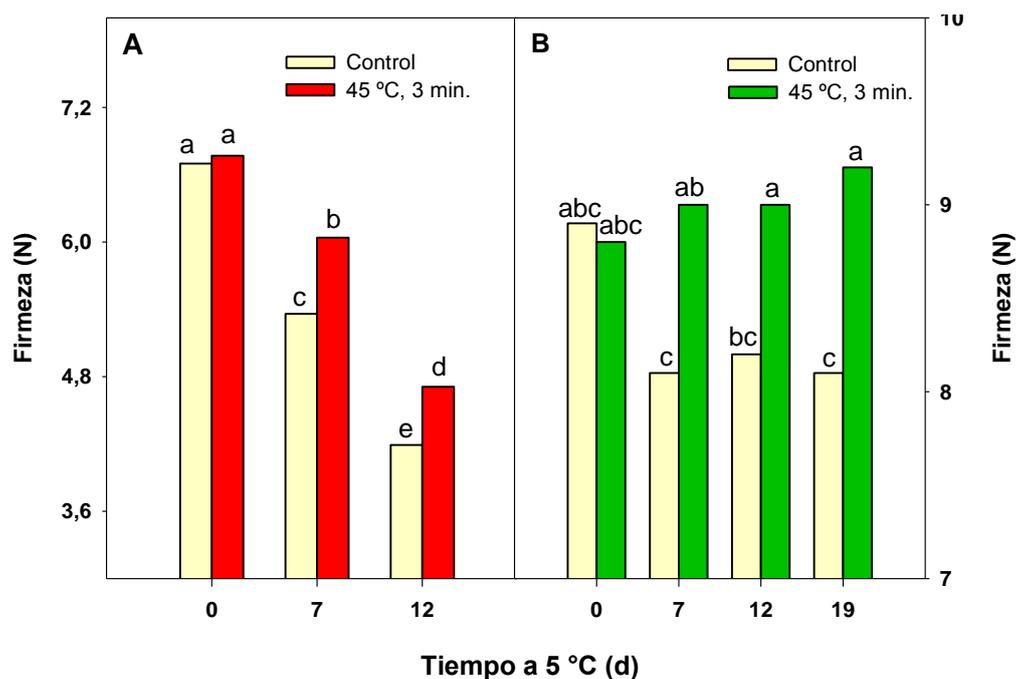


Figura 5.14. Firmeza en pimiento fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7, 12 y 19 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

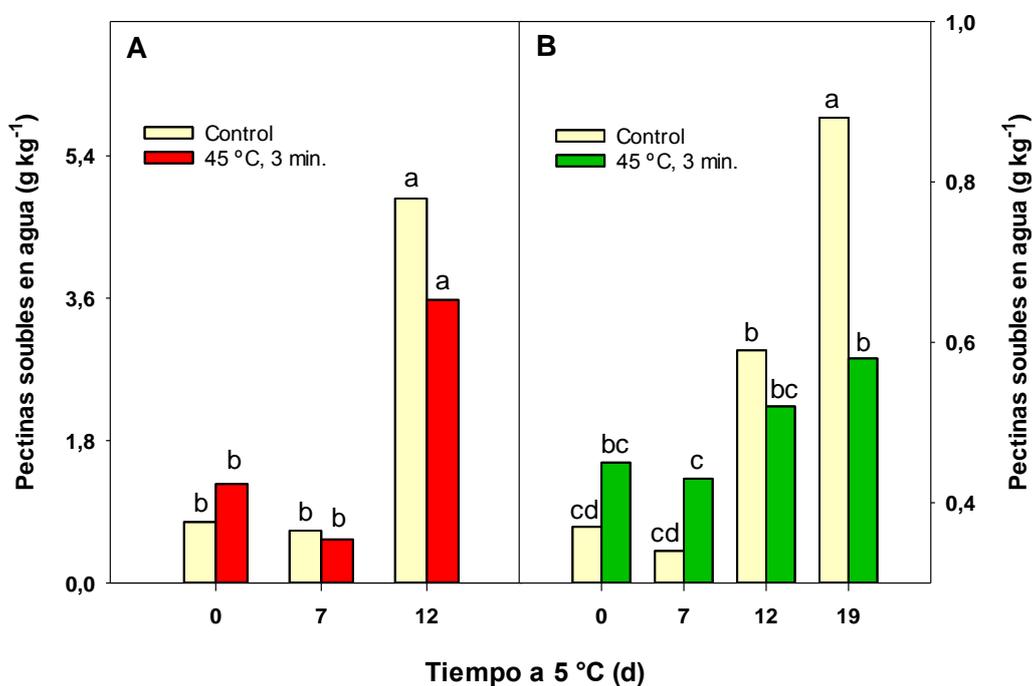


Figura 5.15. Pectinas solubles en pimiento fresco cortado control y tratado térmicamente (45 °C, 3 min.) en estado de madurez (A) rojo y (B) verde y almacenado a 5 °C por 0, 7, 12 y 19 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

5.4. CONCLUSIONES

Los TT de alta temperatura empleados normalmente en pimiento entero pueden dañar la integridad de los bastones de pimiento cortado, provocando excesivo ablandamiento. En tal sentido, en los productos frescos cortados es recomendable la utilización de temperaturas inferiores a 50 °C. Asimismo, los bastones de pimiento rojo son más sensibles al calor que los de frutos en estado de madurez verde. Los tratamientos por inmersión en agua a 45 °C por 3 minutos fueron efectivos en retrasar el deterioro de pimiento verde y rojo fresco cortado durante el almacenamiento a 5 °C. Los mismos retrasaron la pérdida de peso, el ablandamiento y el ataque microbiano. Si bien los TT poseen el potencial de reducir la carga microbiana, en las condiciones seleccionadas este efecto fue muy limitado. Por tanto, la reducción en la incidencia y severidad de podredumbres observada en el almacenamiento probablemente se asocie o bien con la inducción de alguna respuesta defensiva, o simplemente con un retraso en el ablandamiento y en la senescencia de los tejidos. Los TT seleccionados no ocasionaron perjuicio en los atributos de color, acidez, pH y azúcares ni en el contenido de antioxidantes.

6. ANÁLISIS COMPARATIVO
DE LA EFICACIA DE LA
ATMÓSFERA MODIFICADA,
TRATAMIENTOS
UV-C Y TÉRMICOS



6.1. INTRODUCCIÓN

6.1.1. Fundamentación general

Anteriormente se pudo determinar que el almacenamiento en AC y los tratamientos UV-C y TT seleccionados son efectivos en mantener la calidad en pimiento verde y rojo fresco cortado. El hecho de que las tres estrategias suplementarias a la refrigeración hayan mostrado efectos favorables, resulta sin dudas de interés, puesto que otorga flexibilidad a la hora de seleccionar alternativas apropiadas para maximizar la vida poscosecha de este producto. De todos modos, la buena respuesta observada da inmediatamente lugar a algunos interrogantes: *¿Es alguna de las estrategias ensayadas más eficaz?, ¿La metodología más recomendable depende del estado de madurez de los frutos?*

La respuesta de los frutos a los tratamientos de poscosecha puede depender de la partida empleada, de la base genética, de su manejo pre-cosecha y de las condiciones a las que los mismos fueron sometidos hasta el procesamiento (**Kader 2007a y b**). Por lo tanto, para dar respuesta a estas dos preguntas resultaba necesario realizar un ensayo en el que se sometieran frutos de la misma cosecha a los tres métodos físicos en forma simultánea.

Si bien la AC fue muy valiosa por permitir establecer los rangos óptimos de CO₂ y O₂ (**Parte 3**) su uso se limita a algunos frutos con relativamente larga vida útil (ej. manzana, pera) (**Watkins et al., 2004; Chen, 2004**). En cuanto a VFC, sí resulta posible el desarrollo de sistemas de AM, ya que suelen ser perfectamente compatibles con los tiempos y formas comunes de distribución (**Sandhya, 2010**). Por lo tanto, para poder realizar una comparación más adecuada de los tratamientos físicos resultaba necesario *a priori* diseñar un sistema de AM apropiado.

6.1.2. Aspectos a considerar en el diseño de sistemas de envasado en atmósfera modificada

Las AM en alimentos con actividad metabólica como los vegetales requieren envases de material polimérico que permitan el intercambio gaseoso (**Figura 6.1**).

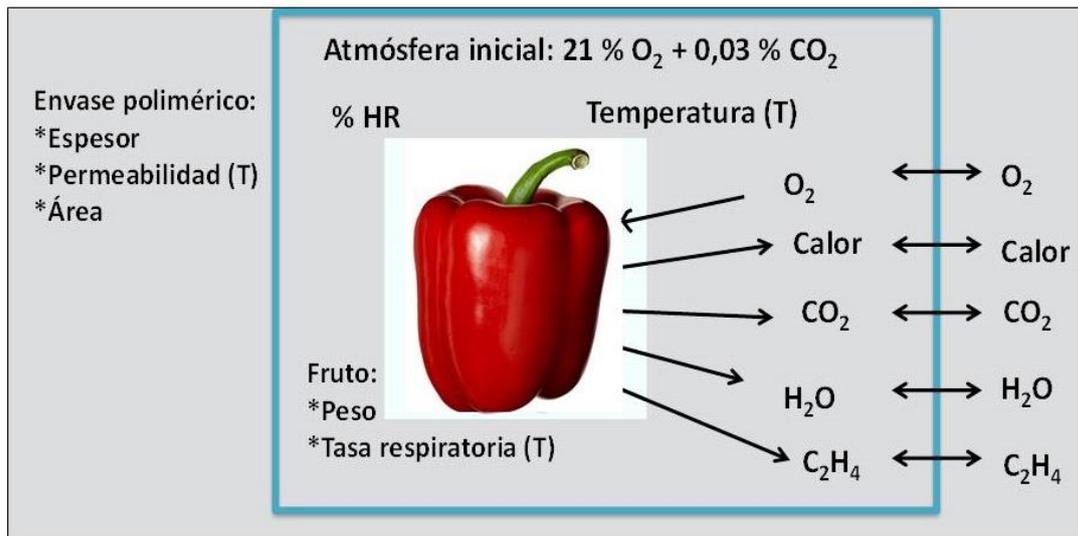


Figura 6.1. Esquema del intercambio que se establece entre el medio externo y los productos frutihortícolas en sistemas de AM.

Existen muchos materiales plásticos disponibles para el envasado de vegetales en AM. La **Tabla 6.1** muestra algunas características de películas comúnmente utilizadas. De todos modos, muchas veces un polímero no cumple con todas las características requeridas para el envase, en este caso pueden combinarse por procesos de laminación y co-extrusión. Para evitar la anaerobiosis en productos con muy alta tasa respiratoria, pueden utilizarse películas microperforadas. Estos materiales también resultan de utilidad en vegetales que requieran materiales plásticos con similar permeabilidad al CO₂ y al O₂. El diámetro de las perforaciones varía entre 40 y 200 μm y el tamaño de las mismas puede ajustarse a los requerimientos del producto (**Kader, 2007a; Sandhya, 2010**).

Tabla 6.1. Permeabilidad de polímeros comúnmente empleados en el envasado de vegetales frescos cortados en AM (Kader, 2007a; Sandhya, 2010).

Material	Permeabilidades a 1 atmósfera		
	CO ₂ ¹	O ₂ ¹	H ₂ O ²
Polietileno HD	7.600	2.600	7-10
Polietileno LD	42.000	7.800	18
Polipropileno orientado	8.000	2.000	6-7
PVC rígido	450-1.000	150-350	30-40
Poliestrieno	18.000	5.000	100-125
Poliamida (Nylon-6)	150-190	40	84-3.100
Etilen-vinil acetato (EVA)	50.000	12.500	40-60
Sarán	50-150	8-25	1,5-5
Poliéster	7.000-25.000	800-1.500	400-600
Microperforadas	-	15.000	-

¹ En mL m⁻² d⁻¹ para una película de 25 µm de espesor a 25 °C.

² En g m⁻² d⁻¹ a 38 °C y para una diferencia de 1 y 90% RH.

Las presiones parciales finales de gases al lograr el equilibrio en un envase de AM de vegetales, dependen de una serie de factores *del producto, del ambiente y del envase*:

a) Factores del producto: La *tasa respiratoria* es uno de los factores del producto más importantes ya que determina la velocidad con la que los mismos consumen el oxígeno presente dentro del envase. En vegetales en los que el principal sustrato respirable son los azúcares, por cada mol de CO₂ generado se consume un mol de O₂. De todos modos, cuando se oxidan los ácidos orgánicos, que también suelen ser sustratos respirables, el cociente respiratorio resultante (CO₂ producido/O₂ consumido) resulta algo superior a la unidad (Fonseca et al., 2002). El estado de desarrollo del vegetal, que en algunos casos influye sobre la tasa respiratoria del producto, posee efectos sobre el equilibrio dentro del envase. Del mismo modo, el etileno influencia principalmente a los sistemas de AM de frutos climatéricos. El segundo factor del

producto importante es lógicamente la *masa* del mismo, ya que a medida que esta se incrementa, la producción de CO₂ aumenta en forma proporcional.

b) Factores del ambiente: Dado que, como se mencionó anteriormente, las AM y AC deben considerarse complementos al buen manejo de la temperatura, no es recomendable desarrollar sistemas que recurran a esta tecnología si la refrigeración no se encuentra ajustada. De todos modos, es importante reconocer que la *temperatura* es el factor del ambiente que más influencia posee sobre las presiones parciales de gases en un envase de vegetales en AM. La TR se incrementa aproximadamente dos veces por cada 10 °C que aumenta la temperatura (**Watada y Minott, 1996**). Dado que la permeabilidad de los materiales no muestra una dependencia tan marcada en función de la temperatura, comúnmente las presiones parciales de gases en el equilibrio se incrementan para productos envasados en AM almacenados a mayor temperatura. En tal sentido, el corte de la cadena de frío en vegetales en AM puede provocar anaerobiosis y fermentación del producto. La anaerobiosis es una condición favorable para el desarrollo de *Clostridium botulinum* (**Austin et al., 1998**) y, aunque generalmente el deterioro visual aparece antes que la producción de la toxina, el control de la cadena de frío y niveles de O₂ superiores a 1 kPa son recomendados (**Faber et al., 2003**). Los niveles de CO₂ y O₂ también pueden tener influencia sobre los niveles de gases en el equilibrio, puesto que pueden afectar directamente la TR del producto.

c) Factores del envase: Todos los factores que afecten la transferencia de masa a través de la película y el proceso de difusión determinan los niveles de gases a lograrse en el equilibrio. Dentro de estos podemos mencionar la *permeabilidad de la película*, *el área de intercambio* del sistema de envase desarrollado y *el espesor de la película*. Lógicamente a mayor permeabilidad, menor espesor y mayor área de intercambio, menor es la modificación de la atmósfera que se logra (**Rodríguez-Félix et al., 2005**). Otro factor definitorio a lograr en las AM, y que muchas veces no se le da la importancia que posee, es el *cociente entre la permeabilidad al CO₂ y al O₂ del material* semipermeable seleccionado (**Kader, 2007a**). Éste se denomina coeficiente β (beta) y posee vital importancia puesto que determina para cada valor dado un

número discreto de condiciones posibles independientemente de los factores antes mencionados. Así por ejemplo, un material con un coeficiente β de 1 significa que las permeabilidades al CO_2 y O_2 son exactamente iguales. Empleando una película con estas características, independientemente de cuales sean los valores tomados por las demás variables, estarán delimitadas sólo algunas atmósferas posibles en el equilibrio. Para el caso mencionado (β de 1) todas las condiciones en las que el aumento de CO_2 y descenso de O_2 sean equivalentes (ej. 1 kPa CO_2 :20 kPa O_2 ; 3 kPa CO_2 : 18 kPa O_2 ; 6 kPa CO_2 :15 kPa O_2 ; 10 kPa CO_2 : 11 kPa O_2 ; 15 kPa CO_2 :6 kPa O_2 ; etc.). A partir de esto se desprende que con un coeficiente $\beta=1$ se lograría una AM apropiada para frutillas (CO_2 15 kPa: O_2 5 kPa) pero evidentemente no es posible llegar a una combinación apropiada para pimiento cortado que requiere un incremento de CO_2 del orden de 5-7 kPa y un descenso del O_2 de 10 a 15 kPa. En tal sentido resulta conveniente, a la hora de diseñar un sistema de AM, seleccionar un material con un coeficiente β apropiado y luego ajustar las demás variables (cantidad de producto, área expuesta, espesor de la película, permeabilidad de la película) de modo de llegar a la condición de CO_2 y O_2 deseada.

6.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

6.2.1. Objetivos específicos

- Generar un envase de atmósfera modificada con presiones parciales de O₂ y CO₂ apropiadas para pimiento cortado.
- Determinar si alguno de los métodos físicos estudiados (AM, UV-C y TT) resulta más eficaz para mantener la calidad de pimiento fresco cortado.
- Evaluar si el tratamiento más eficaz depende del estado de madurez de los frutos.

6.2.2. Hipótesis

- Resulta posible, con las películas disponibles en el mercado, lograr un envase de atmósfera modificada con presiones parciales de O₂ y CO₂ apropiadas para pimiento fresco cortado.
- Al establecer un sistema de AM, parte de los beneficios de la AC se reducen ya que, por ser el pimiento un vegetal con una TR moderada, se demora en poder llegar a los niveles de gases que ejerzan efectos fisiológicos favorables.
- La pérdida de beneficios, como consecuencia del retraso para lograr el equilibrio en los sistemas de AM pasiva, es más marcada en pimiento rojo donde los frutos ya al inicio del almacenamiento son más susceptibles a la podredumbre blanda.
- En frutos verdes los tres tratamientos (AM, TT y UV) son igualmente eficaces en el mantenimiento de la calidad durante el almacenamiento refrigerado.

6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.3.1. Atmósfera modificada en pimiento

Si bien las AM pueden ser activas o pasivas, a fin de simplificar el sistema se desarrollaron envases de AM pasiva. En primer término se seleccionó una película con una relación de permeabilidades de CO₂ y O₂ cercana a 2 que permitiera, ajustando las demás variables del sistema de envasado, llegar a niveles cercanos a 5-7 kPa CO₂ y 5-10 kPa O₂. Posteriormente se realizaron ensayos preliminares que permitieron determinar que, para el área y espesor de envases empleados, se podía llegar a las condiciones de equilibrio deseadas con unos 200 g de bastones de pimiento previamente refrigerados (**Figura 6.2**).



Figura 6.2. Envases de AM pasiva diseñados para el almacenamiento de pimientos rojos y verdes frescos cortados.

En la **Figura 6.3** se muestra la evolución de O₂ y CO₂ durante el almacenamiento a 5 °C en los dos estados de madurez ensayados. El CO₂ dentro de los envases ascendió a un valor del orden de 3 kPa en el primer día de almacenamiento, mientras que el O₂ se redujo cerca de 7 kPa. El equilibrio se alcanzó tanto para frutos rojo como verdes a los 3 días de almacenamiento. Para los dos estadios se lograron presiones parciales de O₂ y CO₂ relativamente cercanas al óptimo seleccionado con atmósfera controlada (**Parte 3**). En pimiento rojo el equilibrio se alcanzó aproximadamente en 7,5 kPa O₂ y 7,5 kPa CO₂. Por su parte, los frutos verdes se equilibraron cerca de 9,5 kPa de O₂ y 6,0 kPa de CO₂. Esta diferencia seguramente se

debió a la menor actividad respiratoria de los frutos menos maduros, según se observó anteriormente. En ese sentido, los envases de pimiento verde aceptarían o bien una película con una permeabilidad algo menor o bien un incremento de la masa de frutos para poder descender un poco más el nivel de O_2 . De todos modos, los frutos verdes mostraron beneficiarse más de un incremento en el CO_2 que de una disminución en el O_2 (**Parte 3, Figura 3.4**). En fruto rojo la AM no llegó a niveles de CO_2 tan altos como 10 kPa o de O_2 menores a 5 kPa que son los que, aun encontrándose dentro de las condiciones de AM comúnmente recomendadas para pimiento, pueden ejercer un efecto negativo en este estado de madurez.

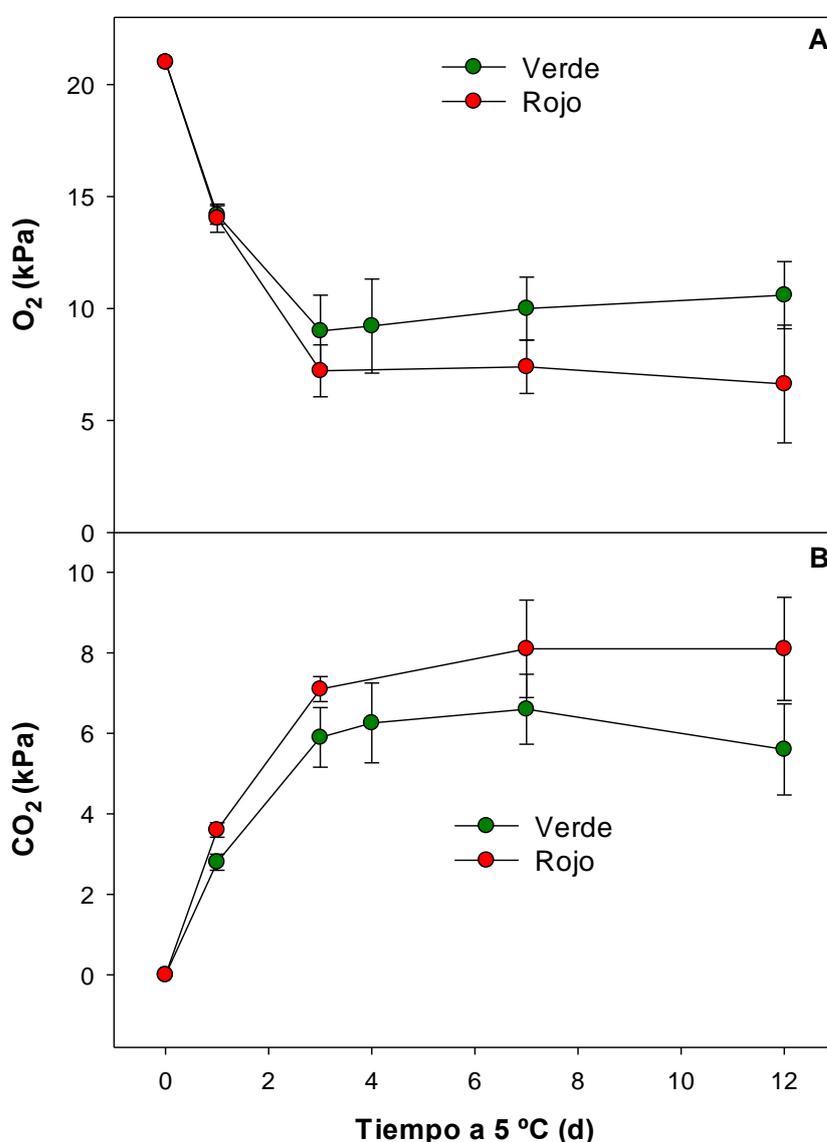


Figura 6.3. Evolución del A) O_2 y B) CO_2 dentro de los envases durante el almacenamiento a 5 °C de pimiento rojo y verde fresco cortado durante 12 d. Se muestran las barras de error estándar ($n=x$).

6.3.2. Evaluación de la eficacia de tratamientos de AM, TT y UV en el control del deterioro de pimiento fresco cortado

En las **Figuras 6.4 y 6.5** se muestran los índices de deterioro (ID) para los bastones verdes y rojos control, almacenados en AM o sometidos a tratamientos con radiación UV-C (20 kJ m^{-2} I/E) o TT (inmersión en agua a $45 \text{ }^\circ\text{C}$, 3 min.). A los 7 días, los frutos tratados ya mostraron menor deterioro que el control en ambos estados de madurez. Las diferencias se mantuvieron durante todo el período de almacenamiento. En frutos verdes los tres tratamientos fueron igualmente eficaces en la disminución del ID. En los bastones verdes a los 12 días del almacenamiento los tres tratamientos llegaron a reducir a una tercera parte el deterioro con respecto al control (**Figura 6.4**).

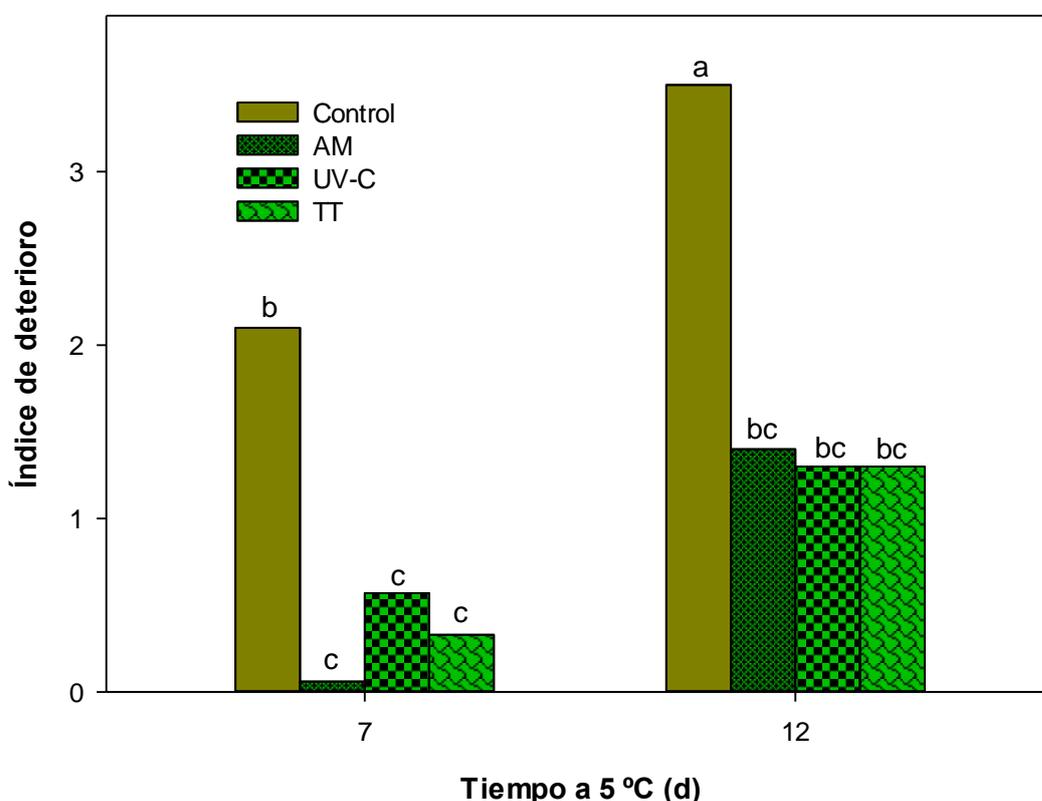


Figura 6.4. Índice de deterioro de bastones de pimiento verde, almacenados en AM, tratados con radiación UV-C (20 kJ m^{-2}) o tratados térmicamente (TT, $45 \text{ }^\circ\text{C}$, 3 min.) y almacenados a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

En frutos rojos, si bien todos los tratamientos limitaron marcadamente el deterioro, se observó una mejor respuesta por parte del TT y de radiación UV-C. A los 12 días, el tratamiento de UV-C redujo 70% el ID, seguido por el TT y la AM con 60 y 40% respectivamente (**Figura 6.5**).

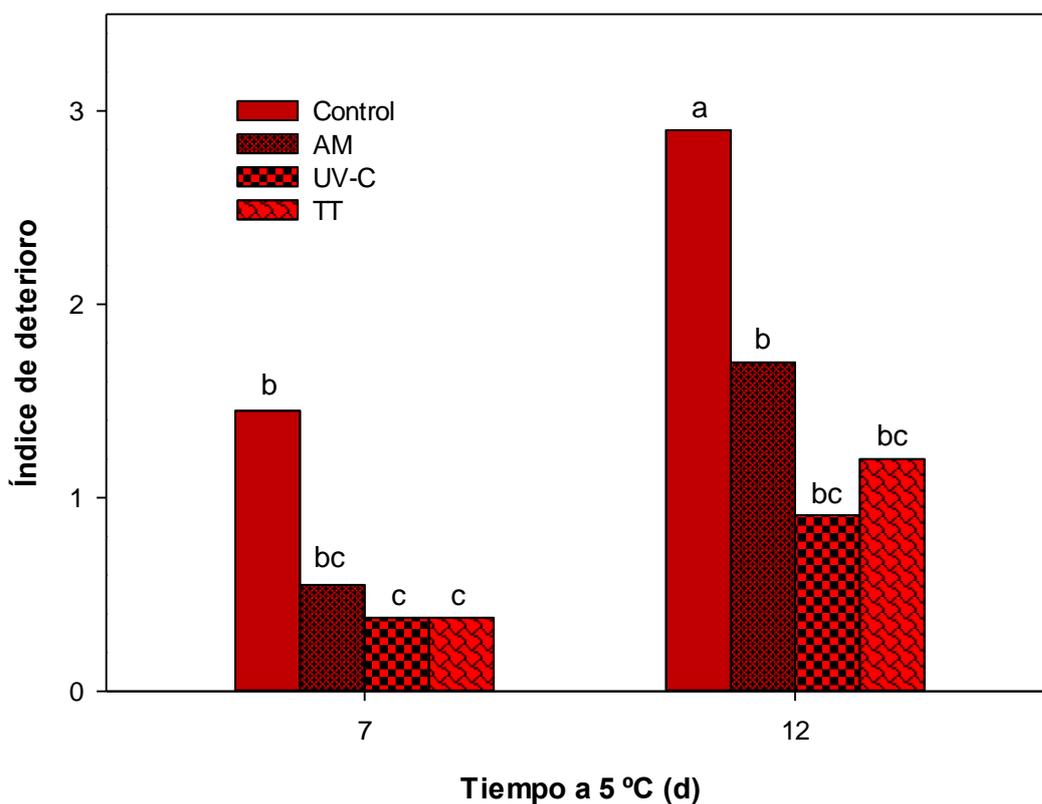


Figura 6.5. Índice de deterioro de bastones de pimiento rojo, almacenados en AM, tratados con radiación UV-C ($20,0 \text{ kJ m}^{-2}$) o tratados térmicamente (TT, $45 \text{ }^\circ\text{C}$, 3 min.) y almacenados a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

La mayor eficacia de los TT y UV en fruto rojo se evidenció claramente cuando se evaluó la incidencia de podredumbre blanda (**Figura 6.6**). En pimiento verde, y al igual que se describió para el ID general, los tres tratamientos fueron igualmente eficaces para la reducción de podredumbre blanda.

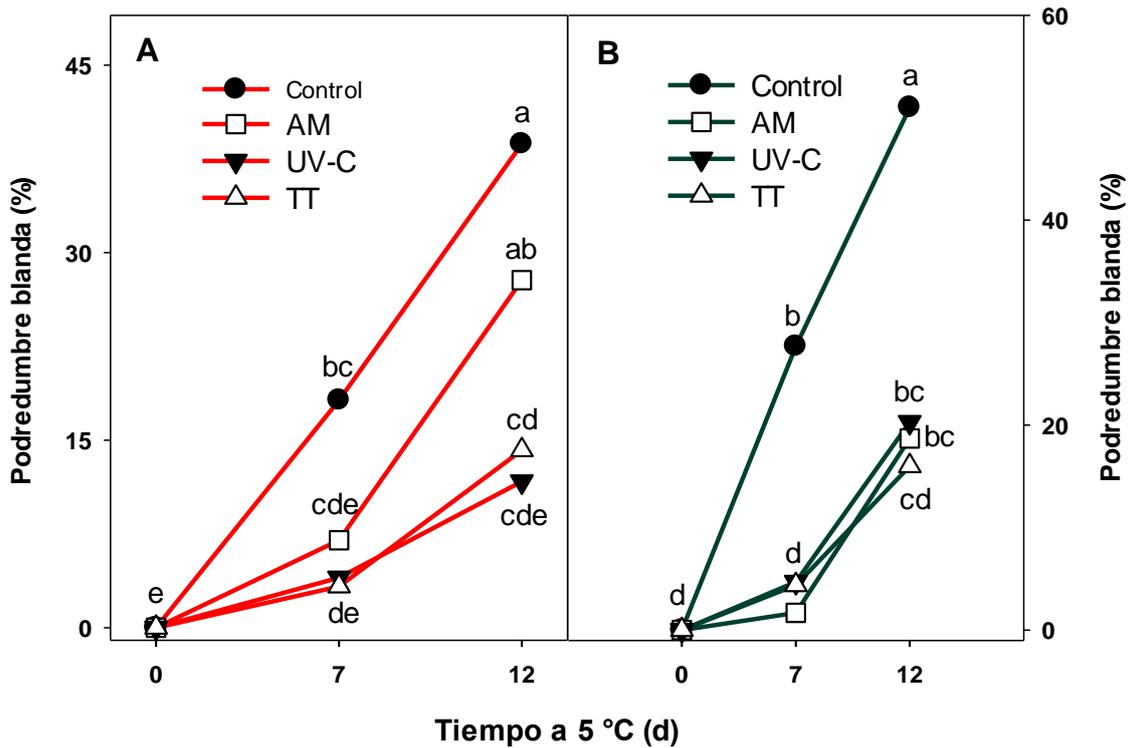


Figura 6.6. Podredumbre blanda en pimiento rojo y verde fresco cortado almacenado en AM, tratado con radiación UV-C (20,0 kJ m⁻²) o tratado térmicamente (TT, 45 °C, 3 min.) y almacenado a 5 °C por 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05.

La apariencia de los bastones control o sometidos a los diferentes tratamientos y almacenados por 12 d a 5 °C se muestra en la **Figura 6.7**. Allí se visualiza el mejor estado de los bastones tratados respecto al control. Asimismo los frutos rojos en AM fueron los que lograron menores beneficios comparando todas las condiciones de tratamiento.



Figura 6.7. Apariencia en pimiento verde y rojo fresco cortado almacenado en AM, tratado con radiación UV-C ($20,0 \text{ kJ m}^{-2}$) o tratado térmicamente (TT, $45 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 3 min.) y almacenado a $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por 12 d. Las flechas azules indican zonas de podredumbre blanda o maceración.

La diferencia observada entre la eficacia de los tratamientos de AM entre frutos verdes y rojos podría deberse *a priori* a diversos factores. En primer término podría atribuirse la menor acción en frutos maduros a una menor acumulación de CO_2 y a un descenso más moderado de O_2 con un consecuente menor efecto fisiológico. De todos modos este no fue el caso, puesto que fueron los frutos rojos los que lograron atmósferas con mayor nivel de CO_2 . La diferencia entre ambos estados de madurez

tampoco se debió a que en los frutos rojos se hayan alcanzado valores de CO₂ u O₂ que puedan provocar daño (**Parte 3, Figura 3.3**). Los datos de tasa respiratoria de los frutos luego de los 7 días de almacenamiento muestran que la AM fue eficaz para reducir la tasa respiratoria y que esto ocurrió no sólo en pimiento verde sino también en frutos rojos (**Figura 6.8**).

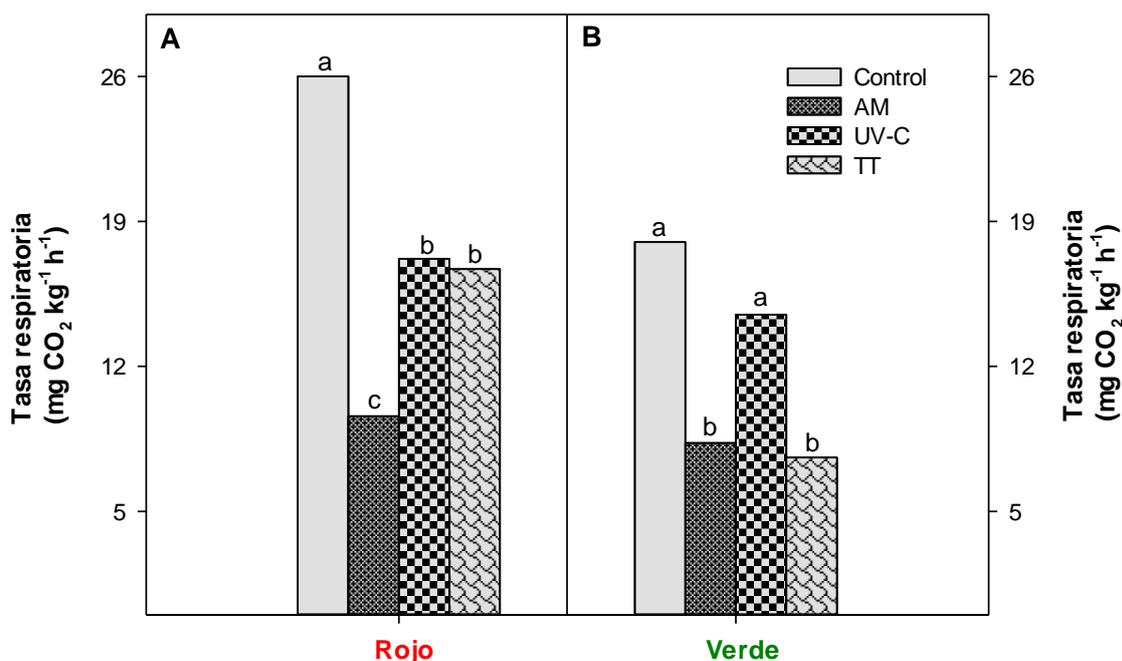


Figura 6.8. Tasa respiratoria en pimiento rojo (A) y verde (B) fresco cortado almacenado en AM, tratado con radiación UV-C (20,0 kJ m⁻²) o tratado térmicamente (TT, 45 °C, 3 min.) y almacenado a 5 °C por 7 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

En ese sentido, las diferencias observadas en el control del deterioro del fruto rojo, respecto a lo descrito en el ensayo con presiones parciales similares pero en AC, podría quizás atribuirse al mayor tiempo para que se establezca el equilibrio, y con ello para frenar el proceso de madurez y senescencia. De hecho, como se mencionó anteriormente, este proceso demandó 3 días, que es un tiempo no despreciable, teniendo en cuenta la corta vida útil de los VFC. Si bien es cierto que el tiempo para el establecimiento del equilibrio fue similar para fruto verde y rojo, es probable que el retraso en la llegada a esta condición sea más deletéreo en frutos ya maduros cuyos tejidos son menos firmes y más susceptibles a la podredumbre. En tal sentido, para

pimientos rojos resultaría importante poder llegar antes a la atmósfera deseada. Esto podría lograrse mediante el desarrollo de AM activa ya sea por inyección de 5 kPa CO₂ desde el inicio, o bien por empleo de *sachets* absorbedores de O₂ dentro del envase que permitan bajar más rápidamente los niveles de O₂ hasta valores que retrasen el deterioro.

6.4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se diseñó un sistema de atmósfera modificada con presiones parciales de O₂ y CO₂ apropiadas para pimiento fresco cortado. A partir de esto se evaluaron los diferentes tratamientos físicos empleados a lo largo del trabajo de tesis con el fin de determinar si alguna de las tecnologías era más eficaz. Los resultados confirmaron que las AM, y los TT y UV seleccionados pueden ser considerados de utilidad para reducir el deterioro de pimientos frescos cortados. En el caso de frutos en estado de madurez verde, las tres metodologías ensayadas mostraron una eficacia similar. Contrariamente, en el caso de frutos rojos, se obtuvieron mayores beneficios con los TT y UV. Los menores efectos en el caso de las AM ensayadas en pimiento rojo, respecto a los observados con presiones parciales similares de CO₂ y O₂ en AC, podrían atribuirse al retraso en el establecimiento del equilibrio en las primeras. Si bien este fenómeno es común para frutos verdes y rojos, la pérdida de beneficios como consecuencia en el retraso en lograr el equilibrio en los sistemas de AM pasiva es más marcada en pimiento maduro, puesto que es más susceptible a la podredumbre blanda ya desde el inicio del almacenamiento, lo que podría entonces aumentar las probabilidades de desarrollo para patógenos oportunistas. En primer lugar se elaboraron envases de AM pasiva para pimiento verde y rojo. En este sentido, si se desea mejorar los efectos, podría establecerse un sistema de AM activa.

7. CONCLUSIONES FINALES



Si bien son muchos los factores que determinan la incorporación de una tecnología en una línea de procesamiento de vegetales, incluyendo aspectos económicos, operativos y criterios empresariales, es necesario contar con fuentes de información para la toma de decisiones y con los estudios que permitan establecer las condiciones óptimas para su implementación, así como beneficios que pueden esperarse en el mantenimiento de la calidad de los productos. El desarrollo de la presente tesis permitió responder los interrogantes planteados en la introducción general respecto al manejo poscosecha y empleo de una serie de tratamientos físicos complementarios a la refrigeración en pimientos frescos cortados en estado de madurez verde y rojo. Así se determinó que la temperatura óptima de almacenamiento refrigerado entre pimiento entero y fresco cortado difiere; mientras que las mismas no deben ser menores a 7-10 °C para frutos enteros, una vez procesados pueden conservarse a 5°C sin que se evidencien apreciables síntomas de daño por frío. Esto es válido aún para pimientos en estado de madurez verde a pesar de su elevada susceptibilidad al frío.

Respecto a las atmósferas más apropiadas para el almacenamiento de pimiento fresco cortado, se determinó que la presión parcial óptima de CO₂ se ubica alrededor de 5,0 kPa. Con relación al O₂, mientras que en fruto verde pueden utilizarse 2,5 o 5,0 kPa O₂ indistintamente, niveles menores a 5,0 kPa O₂ no debieran recomendarse en fruto rojo puesto que redundan en menores beneficios. En síntesis, los frutos verdes parecieran más tolerantes a niveles menores de O₂ (hasta 2,5 kPa) y más altos de CO₂ (hasta 10,0 kPa). Valores reducidos de O₂ y elevados en CO₂, incluso dentro de los valores comúnmente recomendados en la literatura de 3,0 kPa O₂ y hasta 10,0 kPa CO₂, pueden ser contraproducentes para frutos rojos.

Posteriormente se determinó que las condiciones óptimas de tratamiento de irradiación UV-C para pimientos frescos cortados difieren de las informadas para frutos intactos (7 kJ m⁻²). El tratamiento UV-C con una dosis de 20,0 kJ m⁻² resultó apropiado para reducir el deterioro de pimientos verdes y rojos frescos cortados. Los mejores resultados se observaron cuando la dosis se dividió en partes iguales tanto en la cara interna como en la externa de los bastones. Asimismo, y al igual que se mencionó para el CO₂ y O₂, los pimientos verdes mostraron mayor tolerancia a la radiación UV-C que los rojos.

También se estableció que los TT empleados normalmente en pimiento entero pueden dañar la integridad de pimiento fresco cortado en bastones. Los tratamientos por inmersión en agua, a 45 °C por 3 minutos, fueron efectivos en retrasar el deterioro de los frutos en ambos estados de madurez. Aquí, nuevamente, se observó que los frutos rojos son más sensibles al calor que los verdes. Una vez maduros los pimientos, y en caso de emplear temperaturas de 50 °C, la exposición no debería extenderse por más de 1 minuto.

En un último grupo de ensayos se optimizó un sistema de AM para pimientos verdes y rojos frescos cortados, para posteriormente evaluar comparativamente la eficacia de los tres tipos de tratamientos estudiados en el marco de esta tesis. A partir de estos ensayos se concluyó que para frutos verdes los tres tratamientos AM, TT y UV fueron igualmente eficaces para minimizar el deterioro durante la poscosecha. Contrariamente en frutos rojos, los TT y UV resultaron ser los más beneficiosos. Esto se debió probablemente al excesivo tiempo necesario para establecer el equilibrio en AM para frutos ya altamente susceptibles a la podredumbre al momento de cosecha, como lo son los pimientos maduros. En tal sentido, para este estado de madurez sería deseable minimizar los tiempos de establecimiento del equilibrio, por ejemplo por desarrollo de un sistema de AM activa.

Con relación a los mecanismos de acción de los tres tratamientos se observó que las condiciones empleadas resultan en nulos o moderados efectos en la viabilidad de bacterias, mohos y levaduras. Dado que a pesar de esto el control de desórdenes patológicos fue muy claro, se sugiere que los efectos observados serían principalmente promovidos ya sea por activación de alguna respuesta defensiva, o bien simplemente por un retraso ocasionado en los procesos de maduración y senescencia.

En síntesis el presente trabajo de tesis permitió optimizar tres tipos de tratamientos no químicos que podrían ser empleados como suplementos a la refrigeración en pimientos verdes y rojos frescos cortados. Esta información podría resultar de interés para la industria en el desarrollo de estrategias no químicas para el manejo poscosecha de productos de IV gama.

8. REFERENCIAS



- Aghdam, M.S., Sevillano, L., Flores, F.B., Bodbodak, S. 2013. Heat shock proteins as biochemical markers for postharvest chilling stress in fruits and vegetables. *Sci. Hort.* 160, 54-64.
- Aguayo, E., Escalona, V.H., Artés, F. 2008. Effect of hot water treatment and various calcium salts on quality of fresh-cut 'Amarillo' melon. *Postharvest Biol. Technol.* 47, 397–406.
- Akbulak, B. 2008. Effect of polypropylene and polyvinyl chloride plastic film packaging materials on the quality of 'Yalova Charleston' pepper (*Capsicum annuum* L.) during storage. *Food Sci. Technol. Res.* 14, 5–11.
- Allende, A., Tomás-Barberán, F.A., Gil, M.I. 2006. Minimal processing for healthy traditional foods. *Trends Food Sci. Technol.* 17, 513–519.
- Alvarez, M.V., Ponce, A.G., del Moreira, M.C. 2013. Antimicrobial efficiency of chitosan coating enriched with bioactive compounds to improve the safety of fresh cut broccoli. *LWT-Food Sci. Technol.* 50, 78–87.
- Amanatidou, A., Smid, E.J., Gorris, L.G. 1999. Effect of elevated oxygen and carbon dioxide on the surface growth of vegetable-associated micro-organisms. *J. Appl. Microbiol.* 86, 429-438.
- AOAC. 1980. Official methods of analysis. 13th ed. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists. 359.
- Arias, E., González, J., Oria, R., Lopez-Buesa, P. 2007. Ascorbic acid and 4-hexylresorcinol effects on pear PPO and PPO catalyzed browning reaction. *J. of Food Sci.* 72, 422-429.
- Arienzo, M., Cataldo, D., Ferrara, L. 2013. Pesticide residues in fresh-cut vegetables from integrated pest management by ultra-performance liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Food Cont.* 31, 108-115.
- Arnao, M.B., Cano, A., Acosta, M. 2001. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chem.* 73, 239-244.
- Artés F., Allende, A. 2005. Processing lines and alternative preservation techniques to prolong the shelf-life of minimally fresh processed leafy vegetables. *Eur. J. Hort. Sci.* 70, 231–245.

- Artés, F., Gómez, P., Aguayo, E., Escalona, V., Artés-Hernández, F. 2009. Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities. *Postharvest Biol. Technol.* 51, 287–296.
- Austin, J.W., Dodds, K.L., Blanchfield, B., Farber, J.M. 1998. Growth and toxin production by *Clostridium botulinum* inoculated fresh-cut packaged vegetables. *J. Food Prot.* 61, 324-328.
- Ayala-Zavala, J.F, Oms-Oliu, G., Odriozola-Serrano, I., González-Aguilar, G.A., Álvarez-Parrilla, E., Martín-Belloso, O. 2008a. Bio-preservation of fresh-cut tomatoes using natural antimicrobials. *Eur. Food Res. Technol.* 226, 1047-1055.
- Ayala-Zavala, J.F., del Toro-Sánchez, L., Alvarez-Parrilla, E., Soto-Valdez, H., Martín-Belloso, O., Ruiz-Cruz, S., González-Aguilar, G.A. 2008b. Natural antimicrobial agents incorporated in active packaging to preserve the quality of fresh fruits and vegetables. *Stewart Postharvest Rev.* 4, 1-9.
- Ayhan, Z, Chism, G.W., Richter, E.R. 1998. The shelf-life of minimally processed fresh cut melons. *J. Food Qual.* 21, 29-40.
- Bai, J.H., Saftner R.A., Watada, A.E. 2003. Characteristics of fresh-cut honeydew (*Cucumis x melo* L.) available to processors in winter and summer and its quality maintenance by modified atmosphere packaging. *Postharvest Biol. Technol.* 28, 349-359.
- Baka, M., Mercier, J., Corcuff, F., Castaigne, F., Arul, J. 1999. Photochemical treatment to improve storability of fresh strawberries. *J. Food Sci.* 64, 1068-1072.
- Balcaza, L.F. 2006. Manejo de cultivo de pimiento. Departamento de Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. *Bol. Hortíc.* Nº 33.
- Baldwin, E.A., Bai, J. 2011. Physiology of fresh cut-fruits and vegetables. En: Martín-Belloso, O., Robert Soliva-Fortuny, R. (Ed.). *Advances in fresh-cut fruits and vegetables processing*, CRC Press, Taylor and Francis Group, New York. pp 96-97.
- Barka, A.E., Kalantari, S., Makhoulouf, J., Arul, J. 2000. Impact of UV-C irradiation on the cell wall-degrading enzymes during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit. *J. Agric. Food Chem.* 48, 667-671.

- Barkal-Golan, R., Phillips, D.J. 1991. Postharvest heat treatment of fresh fruits and vegetables for decay control. *Plant Dis.* 1085-1089.
- Barry-Ryan, C., Martin-Diana, A.B., Rico, D., Barat, J. 2007. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 18, 373-386.
- Barth, M.M., Zhuang, H., Saltveit, M.E. 2002. Fresh-cut vegetables. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery crops. US Department of Agriculture, *Agriculture Handbook*, 66.
- Beltrán, D., Selma, M.V., Martín, A., Gil, M.I. 2005. Ozonated water extends the shelf life of fresh-cut lettuce. *J. of Agric. and Food Chem.* 53, 5654–5663.
- Ben-Yehoshua, S., Mercier, J. 2005. UV irradiation, biological agents, and natural compounds for controlling postharvest decay in fresh fruits and vegetables. En: Ben-Yehoshua, S. (Ed.). *Environmentally friendly technologies for agricultural produce quality*. CRC Press, Taylor and Francis Group, New York. pp 265-299.
- Beuchat, L.R. 1998. Surface decontamination of fruits and vegetables eaten raw: a review. World Health Organization (WHO). *Food Safety Issues*. Food Safety Unit, 1–49.
- Bintsis, T., Litopailai-Tzanetaki, E., Robinson, R. 2000. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry – A critical review. *J. Sci. Food Agric.* 80, 637–647.
- Blumenkrantz, N., Asboe-Hansen, G. 1973. New method for quantitative determination of uronic acids. *Anal. Biochem.* 54, 484–489.
- Bowyer, M.C., Wills, R.B.H. 2003. Delaying postharvest senescence of cut flowers using nitric oxide. Rural Industries Research and Development, Corporation. Australian Government. Acceso 2012. En: <https://rirdc.infoservices.com.au/downloads/03-051>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm-Wiss Technol.* 28, 25-30.
- Bown, A.W., 1985. CO₂ and intracellular pH. *Plant Cell Environ.* 8, 459–465.
- Cacace, J.E., Delaquis, P.J., Mazza, G. 2002. Effect of chemical inhibitors and storage temperature on the quality of fresh-cut potatoes. *J. of Food Quality* 25,181-195.

- Camire, E.M., Ismail, S., Work, T.M., Bushway, A.A., Halteman, W.A. 1994.
Improvements in canned low bush blueberry quality. J. Food Sci. 59, 394-398.
- Cantos, E., Espín, J.C., Tomás-Barberán, F.A. 2001. Postharvest induction modeling method using UV irradiation pulses for obtaining resveratrol-enriched table grapes: a new 'functional' fruit? J. Agric. Food Chem. 49, 5052–5058.
- Cantwell, M. 2013. Pimientos: Recomendaciones para mantener la calidad poscosecha. Indicadores básicos en español. Agriculture and Natural Resources, University of California, Davis. Acceso 2013. En:
http://postharvest.ucdavis.edu/Hortalizas/Pimiento_Piment%C3%B3n,_Chile_dulce/#
- Cartaxo, C.B.C., Sargent, S.A., Huber, D.J., Lin, C. 1997. Controlled atmospheres storage suppresses microbial growth on fresh-cut watermelon. Proc. Fla. State Hort. Soc. 110, 253-257.
- Castagnino, A.M., Rosini, M.B., Benson, S. 2011. Horticulture in Argentina: A productive alternative with great potencial. Italian J. Agron. 6, 39-41.
- CHFBA. 2005. Censo Hortiflorícola provincial de Buenos Aires. Ministerio de Asuntos Agrarios. Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. pp 115.
- Chen, P.M. 2004. Pear. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks, USDA, U.S. Acceso 2014.
En: <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/>
- Cheng, J., Shen, H., Yang, X., Yu, S., Yuan, L., Sun, Z., Sun, X. 2008. Changes in biochemical characteristics related to firmness during fruit development of pepper (*Capsicum annuum L.*). Eur. J. Hort. Sci. 73, 155–161.
- Cisneros-Zevallos, L. 2003. The use of controlled postharvest abiotic stresses as a tool for enhancing the nutraceutical content and adding-value of fresh fruits and vegetables. J. Food Sci. 68, 1560–1565.
- Civello, P.M., Vicente, A.R., Martínez, G.A. 2006. UV-C technology to control postharvest diseases of fruits and vegetables. En: Troncoso-Rojas, R., Tiznado-Hernández, M.E., González-León, A. (Edd.). Recent advances in alternative

- postharvest technologies to control fungal diseases in fruits and vegetables, Transworld Research Network, Kerakla, India. pp 31-102.
- Conesa, A., Verlinden, B.E., Artés-Hernández, F., Nicolai, B., Artés, F. 2007. Respiration rates of fresh-cut bell peppers under supertamospheric and low oxygen with or without high carbon dioxide. *Postharvest Biol. Technol.* 45, 81–88.
- Corbo, M.R., Speranza, B., Campaniello, D., D’Amato, D., Sinigaglia, M. 2010. Fresh-cut fruits preservation: current status and emerging technologies. En: Mendez-Vilas, A. (Ed.). *Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology*, Ed. FORMATEX. pp 1143-1154.
- Costa, L., Vicente, A.R., Civello, P.M., Chaves, A.R., Martínez, G.A. 2006. UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets. *Postharvest Biol. Technol.* 39, 204-210.
- Crystec. Technology Trading GmbH. Acceso 2013. En: <https://crystec.com/senlampe.htm>
- Davidson, P.M., Juneja, V.K. (1990). *Antimicrobial Agents*. Branen A.L., Davidson P.M., Salminen S., Food Additives (Eds), Marcel Dekker, New York. pp 83-137.
- D’hallewin, G., Schirra, M., Manueddu, E., Piga, A., Ben-Yehoshua, S. 1999. Scoparone and scopoletin accumulation and ultraviolet-C-induced resistance to postharvest decay in oranges as influenced by harvest date. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124, 702–707.
- Díaz-Pérez, J.C., Muy-Rangel, M.D., Mascorro, A.G. 2007. Fruit size and stage of ripeness affect postharvest water loss in bell pepper fruit (*Capsicum annuum* L.). *J. Sci. Food Agric.* 87, 68–73.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., Smith, F. 1979. Colorimetric method for the determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* 28, 350-356.
- El-Bassuoni, R., Cantwell, M. 1994. Low temperatures and controlled atmospheres maintain quality of fresh cut bell pepper. *Hort. Sci.* 29, 448.
- El Ghaouth, A., Wilson, C., Callahan, A. 2003. Induction of chitinase, beta-1,3-glucanase, and phenylalanine ammonia lyase in peach fruit by UV-C treatment. *Phytopathol.* 93, 349–55.

- Elgayyar, M., Draughon, F.A., Golden, D.A., Mount, J.R. 2001. Antimicrobial activity of essential oils from plants against selected pathogenic and saprophytic microorganisms. *J. of Food Prot.* 64, 1019-1024.
- Enfors, S.O., Molin, G.1978. The influence of high concentrations of carbon dioxide on the germination of bacterial spores. *J. Appl. Bacteriol.* 45, 279-285.
- Erkan, M., Wang, C.Y., Krizek, D.T. 2001. UV-C irradiation reduces microbial populations and deterioration in Cucurbita pepo fruit tissue. *Env. Exp. Bot.* 45, 1-9.
- Erkan, M., Pekmezci, M., Karaşahin, I., Uslu, H. 2005. Reducing chilling injury and decay in stored 'Clementine' mandarins with hot water and curing treatments. *Eur. J. Hort. Sci.* 70, 183-188.
- Escalona, V.H., Aguayo, E., Artés, F. 2004. Envasado en atmósfera modificada de pimiento de carne gruesa. *Alimentaria* 352, 89-95.
- Escalona, V.H., Verlinden, B.E., Geysen, S., Nicolai, B.M. 2006. Changes in respiration of fresh-cut butterhead lettuce under controlled atmospheres using low and superatmospheric oxygen conditions with different carbon dioxide levels. *Postharvest Biol. Technol.* 39, 48–55.
- Fan, X., Annous, B.A., Beaulieu, J.C., Sites, J.E. 2008. Effect of hot water surface pasteurization of whole fruit on shelf life and quality of fresh-cut cantaloupe. *J. Food Sci.* 73, 91-98.
- Fallik, E., Grinberg, S., Alkalai, S., Lurie, S. 1996. The effectiveness of postharvest hot water dipping of control of grey and black moulds in sweet red pepper (*Capsicum annuum*). *Plant Pathol.* 45, 644-649.
- Fallik, E., Grinberg, S., Alkalai, S., Yekutieli, O., Wiseblum, A., Regev, R., Beres, H., Bar-Lev, E. 1999. A unique rapid hot water treatment to improve storage quality of sweet pepper. *Postharvest Biol. Technol.* 15, 25–32.
- Fallik, E. 2004. Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). *Postharvest Biol. Technol.* 32, 125–134.
- Farber, J.N., Harris, L.J., Parish, M.E., Beuchat, L.R., Suslow, T.V., Gorny, J.R., Garrett, E.H., Busta, F.F. Microbiological safety of controlled and modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut produce. 2003. En: E. Allen Foegeding, E.A. (Ed.). *Compr. Rev. Food Sci. & Food Saf.* pp 142-160.

- Fernández Lozano, J., Liverotti, O., Sánchez, G. 1997. Manejo poscosecha de pimiento. Secretaría de Comercio Interior, Corporación del Mercado Central de Buenos Aires. En: <http://www.mercadocentral.gob.ar/ziptecnicas/pimiento.pdf>.
- Fernández Lozano, J. 2012. La producción de hortalizas en Argentina (Caracterización del sector y zonas de producción). Secretaría de Comercio Interior, Corporación del Mercado Central de Buenos Aires. Acceso 2013. En: http://www.mercadocentral.gob.ar/ziptecnicas/la_produccion_de_hortalizas_en_argentina.pdf
- Fonseca, S.C., Oliveira, S.A.R., Brecht, J.K. 2002. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. J. of Food Eng. 52, 99-119.
- Franck, J., Latorre, B.A., Torres, R., Zoffoli, J.P. 2005. The effect of preharvest fungicide and postharvest sulfur dioxide use on postharvest decay of table grapes caused by *Penicillium expansum*. Postharvest Biol. Technol. 37, 20–30.
- Franco, D. 2012. Conservas vegetales. Publicación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Informe Sectorial N° 11. Acceso 2014 en: <http://www.alimentosargentinos.gob.ar/conservas>
- Franco, D. 2013. Hortalizas congeladas. Publicación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Acceso en 2013. En: http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/sectores/conservas/productos/HortalizasCongeladas_2013_08Ago.pdf
- Fredericks, I.N, du Toit, M., Krugel, M. 2011. Efficacy of ultraviolet radiation as an alternative to inactivate microorganisms in grape juice and wines. Food Microbiol. 28, 510-517.
- Gil, M.I., Selma, M.V., López-Gálvez, F., Allende, A. 2009. Fresh-cut product sanitation and wash water disinfection: problems and solutions. Int. J. Food Microbiol. 134, 37–45.
- Goites, E.D. 2008. Manual de cultivos para la huerta orgánica familiar. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de la República Argentina. Acceso en 2013. En: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210764.pdf>.
- Goodburn, C., Wallace, C.A. 2013. The microbiological efficacy of decontamination methodologies for fresh produce: A review. Food Control 32, 418-427.

- Gómez-López, V.M., Rajkovic, A., Ragaert, P., Smigic, N., Devlieghere, F. 2009. Chlorine dioxide for minimally processed produce preservation: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 20, 17-26.
- González-Aguilar, G.A., Cruz, R., Baez, R. 1998. Storage quality of bell peppers pretreated with hot water and polyethylene packaging. *J. Food Qual.* 22, 287-299.
- González-Aguilar, G.A., Gayosso, L., Cruz, R., Fortiz, J., Báez, R., Wang, C.Y. 2000. Polyamines induced by hot water treatments reduce chilling injury and decay in pepper fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 18, 19–26.
- González-Aguilar, G.A., Wang, C.Y., Buta, J.G., Krizek, D.T. 2001. Use of UV-C irradiation to prevent decay and maintain postharvest quality of ripe 'Tommy Atkins' mangoes. *Int. J. Food Sci. Technol.* 36, 767-773.
- González-Aguilar, G.A., Ayala-Zavala, J.F, Ruiz-Cruz, S., Acedo-Félix, E., Díaz-Cinco, M.E. 2004a. Effect of temperature and modified atmosphere packaging on overall quality of fresh-cut bell peppers. *Lebensm. Swiss Soc. Food Sci. Technol.* 37, 817–826.
- González-Aguilar, G.A., Wang, C.Y., Buta, G.J. 2004b. UV-C irradiation reduces breakdown and chilling injury of peaches during cold storage. *J. Sci. Food Agric.* 84, 415-422.
- Gorny, J.R. 2001. A summary of CA and MA requirements and recommendations for fresh-cut (minimally processed) fruits and vegetables. University of California, Davis. *Postharvest Hort. Series 22A*, 95-145.
- Guerrero-Beltrán, J.A., Barbosa-Cánovas, G.V. 2004. Advantages and limitations on processing foods by UV light. *Food Sci. Technol. Int.* 10, 137-147.
- Hardy, J., Parmentier, M., Fanni, J. 1999. Symposium on 'Food technology: Can it alter the functionality of nutrients'. *Functionality of nutrients and thermal treatments of food. Proc. Nutr. Soc.* 58, 579-585.
- He, L.H., Chen, J.Y., Kuang, J.F., Lu, W.J. 2012. Expression of three sHSP genes involved in heat pretreatment-induced chilling tolerance in banana fruit. *J. Sci. Food Agric.* 92, 1924-1930.

- Howard, L.R., Hernandez-Brenes, C. 1997. Antioxidant content and market quality of jalapeno pepper rings as affected by minimal processing and modified atmosphere packaging. *J. Food Qual.* 21, 317-327.
- Howard, L.R., Talcott, S.T., Brenes, C.H., Villalon, B. 2000. Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *J. Agric. Food Chem.* 48, 1713-1720.
- Hübe, S; Flores, S., Balanza, M.E., Ordóñez de Yapur, A.O., Profili, J., Nimo, M., Franco, D. 2010. Guía de buenas prácticas para la elaboración de conservas vegetales. Publicación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Acceso 2013. En: <http://www.alimentosargentinos.gov.ar/conservas>
- Ilic', Z.S., Trajkovic', R., Pavlovic', R., Alkalai-Tuvia, S., Perzelan, Y., Fallik, E. 2012. Effect of heat treatment and individual shrink packaging on quality and nutritional value of bell pepper stored at suboptimal temperature. *International J. Food Sci. Technol.* 47, 83–90.
- INCHEM. Chemical safety information from intergovernmental organizations. Acceso 2013. En: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc160.htm>
- INDEC. 2008. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Ministerio de Economía y Finanzas Públicas de la República Argentina. Censo Nacional Agropecuario Acceso 2008. En: http://www.estadistica.chubut.gov.ar/archivos/cna08_08_09.pdf
- Inkha, S., Boonyakiat, D. 2010. Induction of resistance to *Penicillium digitatum* in tangerine fruit cv. Sai Num Phung flavedo by hot water treatment. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 32, 445-451.
- INTI. 2013. Buenas prácticas de producción de hortalizas frescas y mínimamente procesadas. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Acceso en 2013. En: http://www.inti.gov.ar/certificaciones/pdf/Guia_BPA_Hortalizas.pdf
- James, J.B., Ngarmsak, T. 2011. Processing of fresh-cut tropical fruits and vegetables: A technical guide. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Acceso 2012. En: <http://www.fao.org/docrep/014/i1909e/i1909e00.htm>
- Jen, J.J., Robinson, M.L. 1984. Pectolytic enzymes in sweet bell peppers (*Capsicum annuum* L.). *J. Food Sci.* 49, 1085–1087.

- Kader, A.A. 2007a. Cap. 14, Atmósferas modificadas en el transporte y el almacenamiento. En: Kader, A.A. (Ed). Tecnología poscosecha de cultivos hortofrutícolas, Centro de Información e Investigación en Tecnología Postcosecha División de Agricultura y Recursos Naturales, Universidad de California Davis, California. pp 157-168.
- Kader, A.A. 2007b. Cap. 4, Biología y tecnología poscosecha: un panorama. En: Kader, A.A. (Ed). Tecnología Poscosecha de Cultivos Hortofrutícolas, Centro de Información e Investigación en Tecnología Postcosecha División de Agricultura y Recursos Naturales, Universidad de California Davis, California. pp 43-53.
- Kang, J.S., Lee, D.S. 1997. Susceptibility of minimally processed green pepper and cucumber to chilling injury by apparent respiration rate. *Int J. Food Sci. Technol.* 32, 421–426.
- Karabulut, O.A., Smilanick, J.L., Crisosto, C.H., Palou, L. 2010. Control of brown rot of stone fruits by brief heated water immersion treatments. *Crop Prot.* 29, 903-906.
- Kim, D.M., Smith, N.L., Lee, C.Y. 1993. Apple cultivar variations in response to heat treatment and minimal processing. *J. Food Sci.* 58, 1111-1124.
- Kim, J.G., Yousef, A.E., Dave, S. 1999. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: A review. *J. Food Prot.* 62, 1071–1087.
- Koide, S., Shi, J. 2007. Microbial and quality evaluation of green peppers stored in biodegradable film packaging. *Food Cont.* 18, 1121–1125.
- Kou, L., Luo, Y., Wu, D., Liu, X. 2007. Effects of mild heat treatment on microbial growth and product quality of packaged fresh-cut table grapes. *J. Food Sci.* 72, 567-573.
- Koukounaras, A., Diamantidis, G., Sfakiotakis, E. 2008. The effect of heat treatment on quality retention of fresh-cut peach. *Postharvest Biol. Technol.* 48, 30–36.
- Kumar, A.O., Subba-Tata, S. 2009. Ascorbic acid contents in chili peppers (*Capsicum* L.). *Not. Sci. Biol.* 1, 50–52.
- Kusajima, M., Kwon, S., Nakajima, M., Sato, T., Yamakawa, T., Akutsu, K., Nakashita, H. 2012. Induction of systemic acquired resistance by heat shot treatment in *Arabidopsis*. *Biosci. Biotech. Biochem.* 76, 2301-2306.

-
- Lamikanra, O., Kueneman, D., Ukuku, D., Bett-Garber, K.L. 2005a. Effect of processing under ultraviolet light on the shelf life of fresh-cut cantaloupe melon. *J. Food Sci.* 70, 534–539.
- Lamikanra, O., Bett-garber, K., Ingram, D., Watson, M. 2005b. Use of mild heat pre-treatment for quality retention of fresh-cut cantaloupe melon. *J. Food Sci.* 70, C53-C57.
- Lammertyn, J., Franck, C., Verlinden, B.E., Nicolaï, B.M. 2001. Comparative study of the O₂, CO₂ and temperature effect on respiration between 'Conference' pear cell protoplast in suspension and intact pears. *J. Exp Bot.* 52, 1769-1777.
- Lemoine, M.L., Civello, P.M., Martínez, G.A., Chaves, A.R. 2007. Influence of postharvest UV-C treatment on refrigerated storage of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*) *J. Sci. Food and Agric.* 87, 1132-1139.
- Li, Y., Brackett, R.E., Shewfelt, R.L., Beuchat, L.R. 2001. Changes in appearance and natural microflora on iceberg lettuce treated in warm, chlorinated water and then stored at refrigeration temperature. *Food Microbiol.* 18, 299-308.
- Lin, W.C., Hall, J.W., Saltveit, M.E. 1993. Ripening stage affects the chilling sensitivity of greenhouse-grown peppers. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118, 791-795.
- Liu, J., Sui, Y., Wisniewski, M., Droby, S., Tian, S., Norelli, J., Hershkovitz, V. 2012. Effect of heat treatment on inhibition of *Monilinia fructicola* and induction of disease resistance in peach fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 65, 61–68.
- Loaiza-Velarde, J.G, Saltveit, M.E. 2001. Heat shocks applied either before or after wounding reduce browning of lettuce leaf tissue. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126, 227–234.
- López-Gálvez, G., El-Bassuoni, R., Nie, X., Cantwell, M. 1997. Quality of red and green peppers stored in controlled atmospheres. In: Gorny, J.R. (Ed). *Fresh-cut fruits and vegetables and MAP*, 152-157. Department of pomology, University of California Davis, California.
- Luo, Y., Mikitzel, L.J. 1996. Extension of postharvest life of bell peppers with low oxygen. *J. Sci. Food Agric.* 70, 115-119.
- Lurie, S., Klein, J.D. 1990. Heat treatment of ripening apples: differential effects on physiology and biochemistry. *Physiol Plant* 78, 181–186.

- Lurie, S., Klein, J.D., 1991. Acquisition of low temperature tolerance in tomatoes by exposure to high temperature stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116, 1007–1012.
- Lurie, S. 1998. Postharvest heat treatments. *Postharvest Biol. Technol.* 14, 257–269.
- Maghoubi, M., Gómez, P.A., Artés-Hernández, F., Mostofi, Y., Zamani, Z., Artés, F. 2012. Hot water, UV-C and superatmospheric oxygen packaging as hurdle techniques for maintaining overall quality of fresh-cut pomegranate arils. *J. Sci. Food Agric.* 93, 1162-1168.
- Mahmood, T., Safdar, W., Abbasi, B.H., Naqvi, S.M.S. 2010. An overview on the small heat shock proteins. *Afric. J. Biotechnol.* 9, 927-939.
- Manolopoulou, H., Lambrinos, G., Xanthopoulos, G. 2012. Active modified atmosphere packaging of fresh-cut bell peppers: effect on quality indices. *J. Food Res.* 1, 148-158.
- Marrero, A., Kader, A.A. 2006. Optimal temperature and modified atmosphere for keeping quality of fresh-cut pineapples. *Postharvest Biol. and Technol.* 39, 163–168.
- Martínez, G.A., Civello, P.M. 2008. Effect of heat treatments on gene expression and enzyme activities associated to cell wall degradation in strawberry fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 49, 38–45.
- Mateos, M., Ke, D., Cantwell, M., Kader, A.A. 1993. Phenolic metabolism and ethanolic fermentation of intact and cut lettuce exposed to CO₂-enriched atmospheres. *Postharvest Biol. Technol.* 3, 225–233.
- Maverakis, E., Miyamura, Y., Bowen, M.P., Correa, G., Ono, Y., Goodarzi, H. 2010. Light, including ultraviolet. *J. Autoim.* 34, 247-257.
- Maxin, P., Roland W.S. Weber R.W.S., Pedersen, H.L., Williams, M. 2012a. Control of a wide range of storage rots in naturally infected apples by hot-water dipping and rinsing. *Postharvest Biol. Technol.* 70, 25–31.
- Maxin, P., Weber, R.W.S., Lindhard-Pedersen, H., Williams, M. 2012b. Hot-water dipping of apples to control *Penicillium expansum*, *Neonectria galligena* and *Botrytis cinerea*: effects of temperature on spore germination and fruit rots. *Europ. J. Hort. Sci.* 77, 1-9.
- MCBA. Corporación del mercado central de Buenos Aires. Secretaría de comercio interior. Precios de hortalizas del 27/6/2013. Acceso 2013.

En: <http://www.mercadocentral.gob.ar>

- Meier, S., Rosenberg, I., Aharoni, Z., Grinberg, S., Fallik, E. 1995. Improvement of the postharvest keeping quality and colour development of bell pepper (cv. 'Maor') by packaging with polyethylene bags at a reduced temperature. *Postharvest Biol. Technol.* 5, 303-309.
- Mercado, J.A., Valpuesta, V., Reid, M., Cantwell, M. 1995. Storage of bell peppers in controlled atmospheres at chilling and nonchilling temperatures. *Acta Hort.* 412, 134-142.
- Nafussi, B., Ben-Yehoshua, S., Rodov, V., Peretz, J., Ozer, B.K., D'hallewin, G. 2001. Mode of action of hot-water dip in reducing decay of lemon fruit. *J. Agric. Food Chem.* 49, 107-113.
- Ngarmsak, M., Delaquis, P., Toivonen, P., Ngarmsak, T., Ooraikul, B., Mazza, G. 2006. Microbiology of fresh-cut mangoes prepared from fruit sanitised in hot chlorinated water. *Food Sci. Tech. Int.* 12, 95-103.
- Nishimura, M., Sameshima, N., Joshita, K., Murata, M. 2012. Regulation of enzymatic browning of mung bean sprout by heat-shock treatment. *Food Sci. Technol. Res.* 18, 413-417.
- Obied, H.K., Allen, M.S., Bedgood, Jr D.R., Prenzler, P.D, Robards, K. 2005. Investigation of australian olive mill waste for recovery of biophenols. *J. Agric. Food Chem.* 53, 9911-9920.
- Oms-Oliu, G., Raybaudi-Massilia Martínez, R.M., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O. 2008. Effect of superatmospheric and low oxygen modified atmospheres on shelf-life extension of fresh-cut melon. *Food Cont.* 19, 191–199.
- Ölmez, H., Kretschmar, U., 2009. Potential alternative disinfection methods for organic fresh-cut industry for minimizing water consumption and environmental impact. *LWT- Food Sci. Technol.* 42, 686–693.
- Ornelas-Paz, J.J., Cira-Chávez, L.A., Gardea-Béjar, A.A., Guevara-Arauza, J.C., Sepúlveda, D.R., Reyez-Hernández, J., Ruiz-Cruz, S. 2013. Effect of heat treatment on the content of some bioactive compounds and free radical-scavenging activity in pungent and non-pungent peppers. *Food Res. Int.* 50, 519–525.

- Pan, J., Vicente, A.R., Martinez, G.A., Chaves, A.R., Civello, P.M. 2004. Combined use of UV-C irradiation and heat treatment to improve postharvest life of strawberry fruit. *J. Sci. Food Agric.* 84, 1831-1838.
- Paran, I., Ben-Chaim, A., Kang, B., Jahn, M. 2007. Cap. 7, Capsicums. En: Kole, C., (Ed). *Genome mapping and molecular breeding in plants 5*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp. 209-226.
- Parish M.E., Beuchat L.R., Suslow T.V., Harris L.J., Garrett E.H., Farber J.N., Busta F.F. 2003. Methods to reduce/eliminate pathogens from fresh and fresh-cut produce. *Compr. Rev. Food Sci. & Food Saf.* 2, 161-173.
- Pascual A., Llorca I., Canut A. 2007. Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. *Trends Food Sci. Technol.* 18, 29-35.
- Paull, R.E., Chen, N.J. 2000. Heat treatment and fruit ripening. *Postharvest Biol. Technol.* 21, 21–37.
- PEA. Plan estratégico agroalimentario y agroindustrial participativo y federal 2010-2016. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de La República Argentina. Acceso 2014. En: <http://www.minagri.gob.ar/site/areas/index.php>
- Peña, G.M., Aperte, E.A. Alimentos precocinados. Infoalimentación. Acceso 2013. En: http://www.infoalimentacion.com/documentos/alimentos_precocinados.htm
- Perez-Gago, M.B., Serra, M., Alonso, M., Mateos, M., del Rio, M.A. 2005. Effect of whey protein- and hydroxypropyl methylcellulose- based edible composite coatings on color change of fresh-cut apples. *Postharvest Biol. Technol.* 36, 77–85.
- Piga, A., D'hallewin, G., D'Aquino, S., Aggabio, M. 1997. Influence of film wrapping and UV irradiation on cactus pear quality after storage. *Pack Technol. Sci.* 10, 59–68.
- Porat, R., Pavoncello, D., Peretz, J., Ben-Yehoshua, S., Lurie, S. 2000a. Effects of various heat treatments on the induction of cold tolerance and on the postharvest qualities of 'Star Ruby' grapefruit. *Postharvest Biol. Technol.* 18, 159–165.
- Porat, R., Daus, A., Weiss, B., Cohen, L., Fallik, E., Droby, S. 2000b. Reduction of postharvest decay in organic citrus fruit by a short hot water brushing treatment, *Postharvest Biol. Technol.* 18, 151-157.

- Prieto, P., Pineda, M. Aguilar, M. 1999. Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of Vitamin E. *Anal. Biochem.*, 269, 337-341.
- Raybaudi-Massilia, R.M., Mosqueda-Melgar, J., Martín-Belloso, O. 2008. Edible alginate-based coating as carrier of antimicrobials to improve shelf-life and safety of fresh-cut melon. *Int. J. of Food Microbiol.* 121, 313-327.
- Risse, L., Chun, D. 1987. Influence of various conditioning times and temperatures and intermittent warming on chilling injury and decay of non-wrapped and film wrapped peppers. *Proc. Fla. State Hortic. Soc.* 100, 29-32.
- Ryan-Rivera, S.A., Zoffoli, J.P., Latorre, B.A. 2013. Determination of optimal sulfur dioxide time and concentration product for postharvest control of gray mold of blueberry fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 83, 40–46.
- Rodoni, L., Casadei, N., Concellón, A., Chaves, A.R., Vicente, A.R. 2010. Effect of short-term ozone treatments on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit quality and cell wall degradation. *J. Agric. Food Chem.*, 58, 594–599.
- Rodríguez-Félix, A., Rivera-Domínguez, M., Gonzáles-Aguilar, G. 2005. Uso de atmósferas modificadas y controladas. En: Gonzáles-Aguilar, G.A., Gardea, A.A., Cumea-Navarro, F. (Edd). *Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados* pp. 447-474.
- Rojas-Graü, M.A., Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O. 2009. The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review. *Int. J. Food Sci. Technol.* 44, 875–889.
- Saldivar, X., Wang, Y.J., Chen, P., Mauromoustakos, A. 2010. Effects of blanching and storage conditions on soluble sugar contents in vegetable soybean. *LWT - Food Sci. Technol.* 43, 1368-1372.
- Saltveit, M.E. 2005. Influence of heat shocks on the kinetics of chilling-induced ion leakage from tomato pericarp discs. *Postharvest Biol. Technol.* 36, 87–92.
- Sandhya. 2010. Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *Food Sci. Technol.* 43, 381–392.

- Sapers, G.M., Hicks, K.B., 1989. Inhibition of enzymatic browning in fruits and vegetables. In J.J. Jen (Ed). "Quality factors in fruits and vegetables: chemistry and technology". ACS Symp. Ser. 405, Washington, D.C. pp 29-43.
- Schirra, M., D'hallewin, G., Ben-Yehoshua, S., Fallik, E. 2000. Host-pathogen interactions modulated by heat treatment. *Postharvest Biol. Technol.* 21, 71-85.
- Schroeder, B.K., Toit, J. 2010. Effects of postharvest onion curing parameters on *Enterobacter* bulb decay in storage. *Plant Dis.* 94, 1425-1430.
- Serrano, M., Martínez-Madrid, M.C., Pretel, M.T., Riquelme, F., Remojano, F. 1997. Modified atmosphere packaging minimizes increases in putrescine and abscisic acid levels caused by chilling injury in pepper fruit. *J. Agric. Food Chem.* 45, 1668-1672
- Sgroppo S.C., Avalos Llano, K.R., Chaves, A.R. 2005. Aplicación de tratamientos térmicos a pimientos cherry (*C. annuum*, L. Cv "cherry") cortados. Comunicaciones científicas y tecnológicas. Universidad Nacional del nordeste.
- Sgroppo, S.C., Pereyra, M.V. 2009. Using mild heat treatment to improve the bioactive related compounds on fresh-cut green bell peppers. *Int. J. Food Sci. Technol.* 44, 1793-1801.
- SAGyP. 1992. Resolución 423/92 de la Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca de la República Argentina. Acceso desde:
<http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/valorAr/organicos.php>
- Shao, X., Tu, K., Tu, S., Su, J., Zhao, Y. 2010. Effects of heat treatment on wound healing in Gala and Red Fuji apple fruits. *J. Agric. Food Chem.* 58, 4303-4309.
- Shama, G., Alderson, P. 2005. UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialization. *Trends Food Sci. Technol.* 16, 128-36.
- Silva Oliveira, E., Carnellosi, M.A.G., Jacomino, A.P., Puschmann, R., Soares Ferreira, N.F., Alves, R.E., Mosca, J.L., Filgueiras Cunha, H.A., Bastos Rocha, M.S., Sarria Dussán, S., Yagui, P. Formas de presentación. 2005. Cap 3. En: González-Aguilar, G.A., Gardea, A.A., Cumea-Navarro, F. (Eds). Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados, Centro de investigación en alimentación y desarrollo, Sonora, México. pp 37-47.

- Silveira, A.C., Conesa, A., Aguayo, E., Artes, F. 2008. Alternative sanitizers to chlorine for use on fresh-cut "galia" (*Cucumis melo* var. *catalupensis*) melon. *J. Food Sci.* 73, 405-411.
- Singh, S., Alam, M.S. 2012. Preservation of fresh-cut fruits and vegetables: Current status and emerging technologies. *Stewart Postharvest Rev.* 8, 1-10.
- Sinha, R.P., Häder, D.P. 2002. UV-induced DNA damage and repair: a review. *Photochem. Photobiol. Sci.* 1, 225-236.
- Sivertsvik, M., Jeksrud, W.K., Rosnes, J.T. 2002. A review of modified atmosphere packaging of fish and fishery products—significance of microbial growth, activities and safety. *Int. J. Food Sci. Technol.* 37, 107-127.
- Solenio-Wilches, R. 2012. Aspectos tecnológicos y de mercado en el subsistema hortalizas frescas pre-cortadas de Buenos Aires, Argentina. *Agroalimentaria*, 18, 103-114.
- Solovchenko, A., Merzlyak, M. 2003. Optical properties and contribution of cuticle to UV protection in plants: experiments with apple fruit. *Photochem. Photobiol. Sci.* 2, 861–866.
- Stevens, C., Liu J., Khan, V.A., Lu, J.Y., Kabwe, M.K., Wilson, C.L., Igwegbe, E.C.K., Chalutz, E., Droby, S. 2004. The effects of low-dose ultraviolet light-C treatment on polygalacturonase activity, delay ripening and *Rhizopus* soft rot development of tomatoes. *Crop Prot.* 23, 551-554.
- Stohs, S.J., Miller, M.J.S. 2014. A case study involving allergic reactions to sulfur-containing compounds including, sulfite, taurine, acesulfame potassium and sulfonamides. *Food and Chemical Toxicology* 63, 240-243.
- Su, Y., Wang, Q., Yuzhen, C., Xiaohui, F., Xiaolin, Z. 2011. Effects of heat-shock treatments on storage of fresh-cut cucumbers. *Chinese Soc. of Agric. Eng.* 27, 381-387.
- Tapia, M.S., Rojas-Graü, M.A., Carmona, A., Rodríguez, F.J., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O. 2008. Use of alginate- and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. *J. Food Hydrocol.* 22, 1493-1503.

- Thompson, J.F., Mitchell, F.G., Kasmire, R.F. Enfriamiento de productos hortícolas. 2007. Cap. 11. En: Kader, A.A. (Ed). Tecnología Poscosecha de Cultivos Hortofrutícolas. Centro de Información e Investigación en Tecnología Postcosecha División de Agricultura y Recursos Naturales, Universidad de California Davis, California. pp 111-130.
- Toivonen, P.M.A., Brummell, D.A. 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 48, 1–14.
- USDA. 2014. United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference. Acceso 2014.
En: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list>
- van Wyk, R., Gouws, P.A. 2011. Inactivation of pathogenic and heat resistant microorganisms in milk by a non-thermal UV treatment system. *UIVA News.* 13, 13-16.
- Vicente, A.R., Repice, B., Martínez, G.A., Chaves, A.R., Civello, P.M., Sozzi, G.O. 2004. Maintenance of fresh boysenberry fruit quality with UV-C light and heat treatments combined with low storage temperature. *J. Hort. Sci. Biotech.* 79, 246-251.
- Vicente, A.R., Pineda, C., Lemoine, L., Civello, P.M., Martinez, G.A., Chaves, A.R. 2005. UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper. *Postharvest Biol. Technol.* 35, 69-78.
- Viña, S. 2001. Hortalizas mínimamente procesadas: Producción y conservación. (Boletín Hortícola Nº 9). Departamento de Desarrollo Rural de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (Ed). UNLP, La Plata, pp. 12-19.
- Viteri, M.L. 2006. Mercado Central de Buenos Aires, desafíos institucionales en la era de la globalización. VII Congreso Latino-Americano de Sociología Rural, Grupo Temático 21 (Políticas públicas y desarrollo rural). Quito, Ecuador, 20-24.
- Watada, A.E., Ko, N.P., Minott, D.A. 1996. Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. *Postharvest Biol. Technol.* 9, 115- 125.
- Waters, E.R. 2012. The evolution, function, structure, and expression of the plant sHSPs. *J. Exp. Bot. Publicado en internet: doi:10.1093/jxb/ers355.*

- Watkins, C.B., Kupferman, E., Rosenberger, D.A. 2004. Apple. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks, USDA, U.S. Acceso 2014. En: <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/>
- WHO. World Health Organization. Acceso 2013.
En: http://www.who.int/uv/uv_and_health/en/
- WHO/FAO. 2004. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. WHO technical report Series 916. Acceso 2014. En: http://whqlibdoc.who.int/trs/who_trs_916.pdf
- Yang, Z., Zheng, Y., Cao, S. 2009. Effect of high oxygen atmosphere storage on quality, antioxidant enzymes, and DPPH-radical scavenging activity of chinese bayberry. *Fruit. J. Agric. Food Chem.* 57, 176–181.
- Yemm E.W., Willis A.J., 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochem. J.* 57, 508–514.
- Zhu, S., Zhou, J. 2007. Effect of nitric oxide on ethylene production in strawberry fruit during storage. *Food Chem.* 100, 1517–1522.