



Universidad Nacional del Nordeste
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura

VEGETALES FRESCOS CORTADOS

Karina Roxana Avalos Llano

Tesis Doctoral

2010

El presente trabajo de Tesis Doctoral, para optar al grado académico de Doctor de la Universidad Nacional del Nordeste, Especialidad Química, fue realizado en el Laboratorio de Tecnología Química de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, UNNE y en el Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA), Facultad de Ciencias Exactas, UNLP, bajo la dirección de la Dra. Alicia R. Chaves y la codirección de la Dra. Sonia C. Sgroppo.

A mis padres por el
infinito apoyo brindado

Agradecimientos

-Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y a la Secretaría General de Ciencia y Técnica de la UNNE, por las becas que me permitieron concretar este trabajo de tesis.

-A la UNNE, a través de la Subsecretaría de Postgrado, de la Secretaría de Desarrollo Académico de la FaCENA y demás autoridades.

-A mi Directora Alicia R. Chaves, por su calidad humana, por guiarme y brindarme su experiencia y comprensión; por sus sugerencias, aportes y consejos siempre permitiéndome trabajar con total libertad pero con un apoyo constante.

-A mi Co-directora Sonia C. Sgroppo por introducirme en el área de los alimentos, por haberme dirigido desde el pre-grado, por su ayuda incondicional, por sus aportes y sugerencias, por su comprensión tanto en el aspecto laboral como humano. También a su familia, por tantas atenciones recibidas.

-Al Dr. Avanza que junto con Sonia me dieron la oportunidad de iniciarme en la investigación y que aunque no pueda leer esto indudablemente estará feliz por el crecimiento de los integrantes del laboratorio.

-Al Cr. P. Hermosilla por haberme facilitado los frutos y a Lidia por su colaboración desinteresada.

-A Olga, María y Mario, a Chiqui, Laura, Ana T., Gabriela, Hugo, Mabel, Marilé, Tono Vazquez y al Prof. Hamilton por estar siempre dispuestos a colaborar desinteresadamente con lo que sea necesario, desde consejos, sugerencias hasta con reactivos e instrumental.

-A mis compañeros del Laboratorio de Tecnología Química por su apoyo incondicional. A Guada por estar siempre y por sus valiosos consejos. A Belén por alegrar el trabajo de cada día con su sonrisa y compañerismo. A Pinty por su buena predisposición en todo momento. A Victoria por su ayuda con el procesamiento mínimo en los primeros años y por sus ocurrencias tan divertidas. A Adriana por sus cantos que hacen más llevaderas las horas de trabajo. A Gonzalo y Maida por incorporarse al grupo y compartir el trabajo de cada día.

-A Marina por su compañerismo y por sus buenas palabras en el momento justo. A Carola por su grata compañía y buen humor.

-Al personal del CIDCA que a lo largo de estos años me han brindado su colaboración permitiéndome trabajar en un ambiente ameno. A Alicia B. y a Mabel por su buena predisposición. A Lau por su ayuda constante durante todos estos años, por sus consejos y apoyo, por su amistad. A Ana por ayudarme tanto y tan desinteresadamente, por sus sugerencias y su buena disposición. A Ariel R. por sus valiosos aportes. A Joaquín H. por su buen humor, por estar siempre atento ante cualquier necesidad. A Jime por ser tan buena anfitriona, por su simpatía; a Dario porque yendo “contra las costumbres bonaerenses” me hizo sentir como en mi tierra natal; a Vane por su inmensa generosidad; a todos ellos por los momentos compartidos haciendo mis estadías sumamente gratas.

-A Majó por su ayuda incondicional en todo momento y por su aliento desde la mitad del mundo. A Joaquín F. por estar en el momento oportuno con la palabra justa a pesar de la distancia.

-A Pedro por su ejemplo de constancia y fortaleza; a Heraldó por sus palabras de aliento; y a ambos, por sus oraciones y acompañamiento.

-A Ma de los Ángeles y demás Clarisas por sus oraciones.

-A mis ahijados Edu, Anto, Noe; a mis padrinos Jorge y Reyna y a mi gran familia.

-A Adrián por estar siempre, por sus consejos, su ejemplo, por su capacidad para encender la luz cuando todo parecía estar en penumbras. A Ana por su acompañamiento todos estos años y por hacerme más gratas mis estadías bonaerenses.

-A mis padres por su apoyo incondicional, por creer en mí, por acompañarme y ayudarme en cada momento, pero principalmente por su ejemplo y por su amor.

-A mis abuelas y abuelos; a Huevito, José Luis S., José D. B. y Francisca, quienes aunque ya no puedan acompañarme con su presencia, seguro estarán felices.

-A María por acompañarme siempre; a Dios para quién todo es posible.

INDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN GENERAL	3
I. Vegetales frescos cortados	3
II. Tratamientos térmicos	6
II.1. Tipos de tratamiento térmico	6
II.2. Efectos del tratamiento térmico	8
III. Generalidades del pimiento	11
IV. Pimientos Cherry	17
OBJETIVOS	20
MATERIALES Y MÉTODOS	21
I. Material vegetal	21
II. Estudio de las características fisicoquímicas de la materia prima	21
III. Incidencia del daño mecánico o corte	21
IV. Aplicación de tratamientos térmicos	22
IV.1. Selección de las condiciones de temperatura y tiempo	22
IV.2. Selección del modo de aplicación del tratamiento térmico	23
IV.3. Efecto del tratamiento durante el almacenamiento refrigerado	24
V. Determinaciones	25
V.1. Calidad organoléptica	25
V.2. Pérdida de peso	26
V.3. Color	26
V.4. Actividad respiratoria	26
V.5. Firmeza	26
V.6. Acidez titulable y pH	27
V.7. Azúcares totales	27
V.8. Carotenoides totales	27
V.9. Compuestos fenólicos	28
V.9.1. Fenoles totales	28
V.9.2. Compuestos fenólicos por HPLC	28
V.10. Flavonoides Totales	29
V.11. Ácido ascórbico	29
V.11.1. Método A	29
V.11.2. Método B	30
V.12. Actividad antirradical	31
V.13. Determinaciones enzimáticas	31
V.13.1. Fenilalanina-amonió-liasa (PAL)	31
V.13.2. Polifenoloxidasas (PPO)	32

V.13.3. Peroxidasa (POX)	33
V.13.4. Contenido de proteína soluble	33
V.14. Análisis estadístico	33
CAPÍTULO I: Caracterización de los pimientos Cherry	
I.1. Introducción	34
I.2. Objetivo	37
I.3. Resultados y discusión	38
I.4. Conclusiones	50
CAPÍTULO II: Estudio del efecto del estrés por corte	
II.1. Introducción	51
II.2. Objetivo	55
II.3. Resultados y discusión	56
II.3.1. Selección del tipo de corte	56
II.3.2. Estrés por corte. Calidad.	57
II.3.3. Estrés por corte. Actividad de enzimas.	66
II.4. Conclusiones	68
CAPÍTULO III: Efecto del tratamiento térmico	
CAPÍTULO III PARTE 1: Efecto del tratamiento térmico sobre la calidad de pimientos Cherry almacenados a 10 °C	
III.1.1. Introducción	69
III.1.2. Objetivo	71
III.1.3. Resultados y discusión	72
III.1.3.1. Selección del tratamiento térmico a aplicar	72
III.1.3.1.1. Selección de las condiciones de temperatura y tiempo	72
III.1.3.1.2. Selección del modo de aplicación del tratamiento térmico	75
III.1.3.2. Efecto del tratamiento térmico 55 °C/60 s sobre la calidad de pimientos Cherry almacenados a 10 °C	76
III.1.3.2.1. Calidad sensorial	76
III.1.3.2.2. Pérdida de peso	78
III.1.3.2.3. Color	79
III.1.3.2.4. Actividad respiratoria	80
III.1.3.2.5. Textura	82
III.1.3.2.6. Acidez titulable y pH	83
III.1.3.2.7. Azúcares totales	84
III.1.4. Conclusiones	87
CAPÍTULO III PARTE 2: Efecto del tratamiento térmico sobre los componentes de los pimientos Cherry durante el almacenamiento a 10 °C	
III.2.1. Introducción	88
III.2.2. Objetivo	96
III.2.3. Resultados y discusión	97
III.2.3.1. Carotenoides totales	97

III.2.3.2. Efecto del tratamiento térmico. Variación de los compuestos fenólicos	99
III.2.3.2.1. Fenoles totales	99
III.2.3.2.2. Flavonoides totales	104
III.2.3.2.3. Compuestos fenólicos determinados por HPLC	108
III.2.3.3. Ácido ascórbico (ASA) y ácido deshidroascórbico (ADA)	117
III.2.3.4. Poder antirradical	125
III.2.4. Conclusiones	131
CAPÍTULO III PARTE 3: Efecto del tratamiento térmico sobre las enzimas involucradas en el metabolismo fenólico en pimientos Cherry almacenados a 10 °C	
III.3.1. Introducción	132
III.3.2. Objetivo	135
III.3.3. Resultados y discusión	136
III.3.3.1. Actividad fenilalanina-amonioliasa (PAL)	136
III.3.3.2. Actividad polifenoloxidasa (PPO)	141
III.3.3.3. Actividad peroxidasa (POX)	144
III.3.3.4. Análisis de la evolución de enzimas del metabolismo fenólico y compuestos antioxidantes durante el almacenamiento refrigerado de los pimientos Cherry	149
III.3.4. Conclusiones	154
CONCLUSIONES GENERALES	155
BIBLIOGRAFÍA	157

RESUMEN

RESUMEN

El pimiento Cherry (*Capsicum annuum*, L. cv. Cherry) es un fruto de reciente producción en la provincia de Corrientes, Argentina y tiene un tamaño pequeño, forma de cereza, color agradable y sabor similar al pimiento morrón. Los frutos alojan una gran cantidad de semillas en su interior lo que dificulta su preparación, inconveniente que puede ser subsanado al presentarlos como vegetales frescos cortados. Las diferentes operaciones previas a la preparación de los vegetales mínimamente procesados (corte, lavado, etc.) y las condiciones de envasado y almacenamiento tienen gran influencia en la calidad organoléptica, microbiológica y nutricional del producto, la cual puede ser preservada por medio de la aplicación de tratamientos térmicos suaves.

En el presente Trabajo de Tesis se determinaron las principales características fisicoquímicas de los frutos, encontrando que sus valores están en el orden de los presentados por pimientos de otros cultivares. Posteriormente, se estudiaron los cambios de la calidad organoléptica de pimientos enteros y cortados, conservados a 10 °C durante 10 días en bandejas PET cubiertas con film de PVC. Durante ese periodo se detectaron dos principales tipos de daños, el desarrollo de hongos y/o podredumbres y una ligera deshidratación en la zona del cáliz en los frutos enteros y en el área de corte en los pimientos cortados. Al ensayar diferentes tipos de corte, se encontró que los frutos descorazonados tuvieron una mejor apariencia general y menor deterioro respecto de los pimientos cortados en mitades, entonces se seleccionó el tipo de corte descorazonado para estudiar el análisis de las variaciones de la calidad nutricional. Inmediatamente después del corte y a lo largo del almacenamiento, se notó un incremento de la actividad respiratoria. El color superficial prácticamente no varió y se observó una ligera pérdida de firmeza, aunque no se detectaron diferencias significativas entre frutos enteros y descorazonados en los contenidos de acidez, azúcares totales y carotenoides. En pimientos enteros y descorazonados los contenidos de fenoles totales, ácido ascórbico y capacidad antirradical, no cambiaron notoriamente durante el almacenamiento. Sin embargo al finalizar la experiencia (10 días), los frutos enteros presentaron una apariencia general buena y mayor calidad global que los pimientos descorazonados, por lo que el pimiento Cherry podría comercializarse como

pimiento fresco cortado en la forma descorazonada, aunque el período de almacenamiento no superaría los 7 días a 10 °C. Por este motivo, se evaluó el efecto de la aplicación de tratamientos térmicos de inmersión en agua sobre la calidad y las propiedades antioxidantes durante el almacenamiento a 10 °C. Se aplicaron diferentes tratamientos post-procesamiento, analizando la evolución de la calidad a fin de seleccionar la tecnología que mantuviera mejor la calidad original de los pimientos descorazonados. El tratamiento más efectivo fue la inmersión de los frutos enteros en agua a 55 °C durante 60 segundos, previo al corte. Tanto en frutos enteros como en descorazonados, los principales efectos hallados por la aplicación del tratamiento fueron el aumento del tiempo de almacenamiento debido a la reducción del ataque por hongos y/o podredumbres y la retención del color. Además, los frutos enteros tratados mantuvieron su firmeza, aunque en los frutos descorazonados disminuyó ligeramente. Por otra parte, no se detectaron cambios en los componentes relacionados con el sabor, y se retardó la acumulación de pigmentos carotenoides. Asimismo, se analizó la influencia del tratamiento aplicado dentro de las primeras horas de almacenamiento y durante tiempos más prolongados sobre los componentes fenólicos, el ácido ascórbico (ASA), el poder antirradical y las enzimas del metabolismo fenólico. Tanto en frutos enteros como en descorazonados se encontró que durante las primeras horas de almacenamiento los compuestos fenólicos no fueron afectados por el tratamiento térmico, mientras que incrementó el contenido de ASA luego de las 10 horas. Además redujo la caída de la actividad antirradical en los pimientos descorazonados.

Durante el almacenamiento prolongado el tratamiento térmico permitió retener un 85% o más los compuestos fenólicos y el ASA, y una proporción similar del poder antirradical, tanto en frutos enteros como en descorazonados. Además, mantuvo menores niveles de actividad de las enzimas fenilalanina-amonioliasa (PAL) y polifenoloxidasas (PPO) e indujo la peroxidasa (POX) en ambos frutos en todos los tiempos de ensayo.

Los resultados sugieren que los pimientos Cherry pueden adaptarse al procesamiento mínimo y que el tratamiento térmico por inmersión en agua a 55 °C durante 60 segundos es efectivo en mantener la calidad sensorial y nutricional de pimientos Cherry frescos enteros y descorazonados durante el almacenamiento a 10 °C.

INTRODUCCIÓN

GENERAL

INTRODUCCIÓN GENERAL

I. VEGETALES FRESCOS CORTADOS

A partir de los años 80, la población mundial empezó a concientizarse acerca de la relevancia que tiene la ingesta de frutas y hortalizas frescas para la alimentación, situación que ha ido provocando modificaciones graduales en los hábitos alimentarios.

Además, entre otros fenómenos socioeconómicos que han ocurrido últimamente, se observa que en ciertos sectores de la población se ha reducido el número de integrantes de la familia, ha aumentado la cantidad de personas que viven solas y de hogares en donde ambos integrantes de la pareja trabajan fuera del mismo, lo cual ha provocado un cambio en el estilo de vida y en las preferencias alimentarias.

El ritmo de vida actual de determinados segmentos de la población, los cuales tienen un nivel de actividad y ocupación alto, evidencian una menor disponibilidad de tiempo para las tareas domésticas, por lo que se tiende a utilizar alimentos preparados, precocidos, etc.

Entre las alternativas que se pueden ofrecer para satisfacer las necesidades de estos consumidores, figuran los vegetales mínimamente procesados, productos con potencial mercado en nuestro país. Este mercado se está expandiendo gradualmente, principalmente en las regiones de mayor densidad poblacional. El nordeste argentino (NEA) se dedica fundamentalmente a la comercialización de frutas y hortalizas enteras dirigida al mercado regional y hacia el resto del país, demandando este último la provisión de productos en carácter de primicia. Existe escasa oferta de vegetales frescos cortados en las provincias de Corrientes y Chaco, aunque cada vez es más frecuente encontrar en las estanterías de los supermercados bandejas, bolsas o tarrinas de vegetales cortados. Por lo general, este tipo de productos es preparado en forma casi artesanal por el mismo productor o los distribuidores minoristas. Aunque en los hipermercados generalmente se expenden productos elaborados por empresas nacionales.

Si bien la industria del procesamiento mínimo empezó como una operación de

salvamento para utilizar productos cosechados de segunda calidad y fuera de normas, pronto se reconoció que se requería de materiales crudos de alta calidad, debido al incremento de la perecibilidad causado por la preparación del producto (Cantwell y Suslow, 2007).

Los vegetales frescos cortados, son frutas y hortalizas procesadas para aumentar su funcionalidad sin cambiar de forma apreciable sus propiedades originales (Salunkhe y Desai, 1991). En su preparación se utilizan bandejas de poliestireno expandido o bandejas PET cristalinas recubiertas con un film de PVC, envolturas o bolsas de película plástica de polietileno u otros materiales plásticos, ofreciendo para la venta productos frescos cortados tales como radicheta, zanahoria rallada, zapallo, repollo blanco, cerezas, manzanas entre otras. El mismo sistema de envasado se aplica también a hortalizas enteras, espárragos, maíz dulce sin chalas, hongos, brotes de soja, etc. (Barés, 1997). A través de esta tecnología se ofrecen productos listos para usar, frescos, livianos, ricos en nutrientes, de fácil almacenamiento y que requieren poca manipulación posterior lo cual incrementa su sanidad e higiene (Garret, 2002).

El manejo de los vegetales frescos cortados tiene una problemática particular dado que se trata de tejidos “vivos” que siguen respirando y manteniendo su actividad metabólica (Toivonen y DeEll, 2002). Son productos muy susceptibles a alteraciones fisicoquímicas y biológicas, por lo que tienen una corta vida útil, limitada a 15-20 días para tejidos vegetativos, inflorescencias, raíces y tallos y alrededor de 5 a 7 días para los frutos.

Durante su preparación se llevan a cabo diferentes operaciones unitarias que incluyen: selección, lavado, corte, separación de las semillas, secado y envasado, las cuales tienen gran influencia en las características organolépticas, nutricionales y microbiológicas del producto final (Ahvenainen, 1996). Se los prepara mediante apropiadas operaciones de lavado, pelado, desemillado, corte, rebanado. Se utilizan agentes sanitizantes, antiparadeantes, leves tratamientos térmicos, control de pH, y se los mantiene a temperaturas ligeramente por encima del punto de congelación envasados en atmósferas modificadas (Watada et al., 1996). Tienen la ventaja de ser productos de fácil almacenado y transporte, uniformidad en la calidad organoléptica y seguridad higiénico-sanitaria. Por otra parte, están listos para el consumo (“ready to use”) y pueden ser ofrecidos tanto para la venta al detalle como mayorista (mercado institucional) con un

mayor valor agregado que los vegetales enteros. Estos productos se caracterizan por una rápida pérdida de la calidad y una reducida vida media en comparación con las frutas y vegetales enteros (Conesa et al., 2007 a).

Dentro de las principales alteraciones que pueden sufrir los vegetales frescos cortados se encuentran la pérdida de agua, el pardeamiento enzimático, el ablandamiento de los tejidos, el aumento de la actividad respiratoria, la presencia de sabores y olores desagradables y desarrollo microbiano. Varios autores estudiaron las variaciones de los parámetros de calidad microbiológica y sensorial en vegetales mínimamente procesados (Guerzoni et al., 1996). Jacxsens et al. (2002, 2003), Gonzalez-Aguilar et al. (2004) lo hicieron para pimientos dulces, Rocha et al. (1995) para naranjas, Uyttendaele et al. (2004) con zanahorias, lechuga, etc, aunque aún es relativamente escasa la información sobre los componentes nutricionales de estos productos (Soliva-Fortuny y Martín Belloso, 2003).

El principal inconveniente de estos productos es su corta vida de almacenamiento. Existen diversas tecnologías que pueden aplicarse a los fines de provocar la inactivación de enzimas y microorganismos, mantener o potenciar las características sensoriales y saludables del producto mínimamente procesado. La refrigeración y el uso de atmósferas modificadas o controladas son los métodos tradicionalmente utilizados para preservar la vida útil de los vegetales frescos cortados, además, se han realizado numerosos estudios del efecto de la aplicación de métodos alternativos de conservación para prolongar su vida útil. Entre los métodos físicos que permiten optimizar el manejo post-cosecha de frutihortícolas, los tratamientos térmicos y la exposición a radiaciones de luz UV-C o ionizantes (Sgroppo y Chaves, 2009) deben ser mencionados. Estos métodos tienen la ventaja de ser inocuos para el consumidor y el medio ambiente, son efectivos para el control de hongos e insectos, retardan la maduración, disminuyen los desórdenes fisiológicos y pueden combinarse con otros tratamientos (físicos o químicos) para aumentar su eficacia.

II. TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Este tipo de tratamiento físico surgió como método alternativo contra el ataque de patógenos e insectos en reemplazo de las sustancias químicas aplicadas durante la postcosecha de vegetales (Lurie, 1998). Pero la razón fundamental del uso de los tratamientos térmicos es que pueden desencadenar respuestas fisiológicas en el tejido que le permiten enfrentarse en mejores condiciones a nuevas situaciones de estrés (Gómez et al., 2008) (ataque por patógenos, por sustancias reactivas al oxígeno, etc.), permitiendo atenuar y/o retrasar los cambios fisiológicos que ocurren durante el almacenamiento. Los tratamientos tienen efectos positivos en la reducción de los niveles de patógenos, desarrollo de enfermedades post-cosecha, control de insectos y en la calidad organoléptica. Una forma en que esto ocurre es a través de efectos físicos de calentamiento de la superficie de los frutos y de la inducción de mecanismos de defensa (Ferguson et al., 2000). Es indispensable determinar para cada producto las mejores condiciones de temperatura, tiempo y forma de exposición.

II.1. Tipos de tratamiento térmico

El calor puede ser aplicado como gotas de agua caliente, vapor o aire seco (Couey, 1989). Pueden distinguirse los siguientes métodos:

- Inmersión en agua caliente o aspersión

El agua caliente se ha utilizado para el control de hongos y de insectos. La efectividad sobre los hongos radica en que sus estadios de desarrollo se encuentran sobre la superficie o sobre las primeras capas de la piel de las frutas y hortalizas. Generalmente, estos tratamientos se llevan a cabo durante pocos minutos a temperaturas mayores que las necesarias para destruir a los patógenos. La mayoría de las frutas y vegetales toleran temperaturas de 50 a 60 °C por más de 10 minutos. Por otra parte, para el control de insectos se requieren mayores tiempos de exposición (1 hora o más) a temperaturas menores de 50 °C ya que todo el fruto, y no solamente su superficie, debe alcanzar la

temperatura apropiada. El agua caliente es mejor transmisor de calor que el aire y cuando existe una apropiada circulación a través de los productos, puede establecerse un perfil uniforme de temperatura en el baño (Lurie, 1998). Dada su elevada conductividad térmica, el producto alcanza en poco tiempo la temperatura deseada.

Fallik et al. (1999) ensayaron en pimientos dulces rojos un método de lavado y desinfección utilizando una máquina de asperjado de agua caliente (50-60 °C) con tiempos de exposición menores que 30 segundos, buscando el tratamiento óptimo para mantener la calidad durante el almacenamiento prolongado.

- Aire saturado con vapor

El tratamiento térmico con vapor fue desarrollado específicamente para el control de insectos. Es un método que consiste en calentar los frutos a 40-50 °C con aire saturado con vapor de agua para eliminar huevos y larvas de insectos. La transferencia de calor se da por la condensación del vapor de agua sobre la superficie del fruto. Se puede aplicar en cámaras con o sin aire forzado. El tratamiento consta de un periodo de calentamiento que depende de la sensibilidad del material a las altas temperaturas y de un posterior periodo de enfriamiento (con aire o hidrogenofriamiento). En el interior del fruto se debe alcanzar una determinada temperatura que debe ser mantenida durante un cierto tiempo para lograr la eliminación del insecto. Es necesario encontrar la combinación de condiciones de tratamiento más efectiva que logre el control de insectos sin dañar el producto (Lurie, 1998).

-Aire caliente

El tratamiento térmico con aire caliente se ha utilizado para el control de hongos e insectos y para estudiar la respuesta de los productos a la alta temperatura. Se puede realizar en cámaras de calentamiento con o sin aire forzado y además puede o no tener control de humedad. El calentamiento con aire es un proceso más lento que el efectuado por inmersión en agua o con vapor de agua forzado, requiriéndose temperaturas menores de 50 °C y tiempos prolongados de exposición. A los fines de evitar el daño del fruto puede realizarse un rápido enfriamiento posterior al tratamiento térmico (Lurie, 1998).

El tratamiento con aire forzado es una versión modificada del vapor caliente con mayor

flujo de aire para acelerar el calentamiento y bajar los niveles de humedad relativa a fin de evitar daños del producto (Mitcham et al., 2007).

II.2. Efectos del tratamiento térmico

Control de hongos y bacterias

En pimientos rojos, Fallik et al. (1996, 1999), informaron que los tratamientos con agua caliente inhibieron o redujeron el deterioro causado por *Botrytis cinerea* y *Alternaria alternata*, respectivamente. Vicente et al. (2002) encontraron en frutillas que el tratamiento con aire caliente redujo la población inicial de bacterias sin modificar la de hongos, aunque disminuyó la viabilidad de ambos durante el almacenamiento refrigerado. Por otra parte, en pimientos verdes cortados, el tratamiento por inmersión (60 °C/180 s) no afectó la población inicial de mohos y levaduras aunque inhibió su desarrollo al final del almacenamiento a 4 °C (Sgroppo y Pereyra, 2009).

Retraso de la maduración

Se han utilizado aplicaciones de agua caliente para inhibir la maduración de muchas frutas y hortalizas, disminuir los desórdenes fisiológicos y mantener la calidad de las frutas durante periodos prolongados de almacenamiento (Klein y Lurie, 1992).

Se ha informado que el tratamiento térmico provoca cambios en la maduración, inhibe la producción de etileno, afecta la respiración. Además, ayuda a mantener los parámetros de color y la textura por más tiempo (Rico et al., 2007), inhibe la síntesis de algunos pigmentos y la degradación de otros. El tratamiento con aire caliente redujo el incremento de la actividad respiratoria (Vicente et al., 2006), retrasó el desarrollo de color rojo, indujo un menor contenido de antocianinas y disminuyó el ablandamiento de frutillas enteras (Vicente et al., 2003), provocando una disminución de la actividad de las enzimas de degradación de la pared celular (Vicente et al., 2005 a), mientras que el tratamiento por inmersión en agua redujo la degradación de clorofila en hojas de espinaca (Gómez et al., 2008). Martinez y Civello (2008) sugirieron que el tratamiento

térmico retrasó el ablandamiento de frutillas por inhibición momentánea de la transcripción de genes que codifican enzimas involucradas en la degradación de la pared celular.

En vegetales mínimamente procesados, el tratamiento térmico retuvo la calidad, mejoró la textura y controló el desarrollo de pardeamiento (Saltveit, 2000; Loaiza-Velarde et al., 2003; Viña y Chaves, 2008).

Por otra parte, se ha informado que el tratamiento térmico puede afectar las características de sabor y aroma, modificando o no la acidez, previniendo la pérdida de azúcares (Lurie, 1998). En pimientos verdes enteros, se ha reportado que el tratamiento térmico por inmersión en agua no afectó el pH ni la acidez titulable y redujo los sólidos solubles durante el almacenamiento refrigerado (González-Aguilar et al., 1999), mientras que en los pimientos cortados se detectó un incremento de la acidez y una disminución del pH y los azúcares totales (Sgroppo y Montiel, 2004).

Termotolerancia

Se ha demostrado que la exposición a temperaturas elevadas subletales induce termotolerancia que protege de una segunda exposición a temperaturas normalmente letales (Lurie, 1998).

El tratamiento térmico afecta temporalmente la síntesis de proteínas, cambiando no solo la magnitud sino también la calidad de las mismas ya que se dirige hacia la producción de proteínas de respuesta a estrés térmico (HSP). Las HSP protegen a otras proteínas de los cambios inducidos por las altas temperaturas (ej., desnaturalización).

El desarrollo de termotolerancia depende de la temperatura de exposición, la cual debe ser lo suficientemente alta como para inducir la síntesis de la HSP y que no sea inhibida su transcripción y traducción. Las temperaturas efectivas son de 35-40 °C según el producto, aunque estas proteínas son inducidas a menores temperaturas (Ferguson et al., 2000).

Además de la acumulación de HSPs, otras respuestas fisiológicas son desencadenadas por el tratamiento térmico los que podrían estar implicados en la adquisición de termotolerancia (Gómez et al., 2008).

Reducción del daño por frío

El tratamiento térmico de altas temperaturas aplicadas por un corto tiempo permite disminuir el daño por frío. Se ha sugerido que la estimulación de la síntesis de poliaminas induciría dicha tolerancia (González-Aguilar et al., 2000; Mirdehghan et al., 2007). González-Aguilar et al. (1999, 2000) encontraron que el tratamiento térmico por inmersión en agua mejoró la calidad de pimientos verdes enteros aliviando el daño por frío durante el almacenamiento a 8 °C. Por su parte, Raffo et al. (2008) no observaron síntomas de daño por frío en pimientos rojos cortados almacenados a 4° y 8 °C.

III. GENERALIDADES DEL PIMIENTO

El pimiento es un fruto originario de América tropical (probablemente de la parte norte de Latinoamérica), fue sembrado en diversos lugares del sur del continente antes del descubrimiento de América. Su cultivo se domesticó en México y es donde se encuentra su centro de diversificación.

El fruto según las variedades y países, se llama pimiento, p  prika, chile, aj  , guindilla, etc. En Argentina, a los pimientos dulces, grandes de forma prismáticas se los llama morrones y a los frutos picantes se los denomina ajíes (Sarli, 1958).

Botánica

El pimiento es un fruto perteneciente a la familia de las Solanáceas, correspondiente al género *Capsicum*. En América se cultivan principalmente dos especies: *C. annuum* y *C. frutescens*.

Algunos cultivares de *C. annuum* son: Cayena, Ruby Giant, Corazón, Cherry. De *C. frutescens* se cultivan muy pocas variedades en el mundo, una de ellas es Tabasco (Sarli, 1958).

La especie *C. annuum* se caracteriza por su gran variabilidad y heterogeneidad de formas, tamaños, colores, sabores y usos.

Producción

El pimiento, *C. annuum*, L., es una hortaliza de importancia económica que se cultiva en diversas zonas de climas tropicales y templados de todo el mundo. En América, es importante en México, Estados Unidos y Argentina (FAO, 2006).

En Argentina se cultivan unas 13000 Ha que implican unas 65000 Tn. Las producciones de pimiento temprano se localizan en Salta, Jujuy y Corrientes, mientras que las de frutos de época incluyen a Tucumán, Mendoza y Buenos Aires. La producción de pimiento para pimentón abarca Catamarca y Salta (INTA, 2000).

La región del Nordeste argentino es la principal productora de estos frutos en épocas de

alta demanda (Sgroppo et al., 2005). Se comercializa principalmente en Buenos Aires, Rosario, Córdoba y, el resto, en la zona (Ishikawa, 2003).

Descripción

Es un pequeño arbusto anual de 0,75 a 1 m de alto que tiene un tallo frágil, erecto y verde. Sus hojas son grandes y de color verde intenso brillante, de forma oblonga, lanceolada o globosa. Sus flores son de color blanco o blanco amarillentas. Su propagación se realiza por semillas.

De manera general se puede decir que el pimiento es una baya que puede llegar a medir entre 1 y 30 cm de largo, de color verde y a medida que va madurando se vuelve amarillo, anaranjado o rojo. Presenta variadas formas, cónica, cilíndrica, globular o prismática. La pared del fruto puede ser carnosa, mediana o delgada (Sarli, 1958). Se conocen dos tipos de pimientos: dulces y picantes. La pungencia de los frutos es debida a la capsaicina (Salunkhe y Desai, 1984). En algunos tipos es abundante, en otros escasa (FAO, 2006).

Composición

Los frutos presentan un elevado contenido de agua y fibra. Como es sabido los pimientos dulces deben principalmente su sabor a los azúcares y ácidos orgánicos presentes en ellos (Raffo et al., 2007). Por otra parte, los pimientos (*Capsicum annuum*, L.) se caracterizan por presentar componentes bioactivos con características antioxidantes (Howard et al., 2000; Navarro et al., 2006) que le confieren propiedades promotoras de la salud (Raffo et al., 2007). Los frutos contienen pigmentos carotenoides, como ser capsantina, capsorubina y capsantina 5,6-epóxido, que son exclusivos del género *Capsicum* y responsables del color rojo final de los frutos (Davies et al., 1970). Su contenido en β -carotenos es muy alto, inferior a la zanahoria, pero superior a la mayoría de los frutos, también contienen licopeno. Además presentan compuestos fenólicos (quercetina, luteolina, ácidos fenólicos, etc.) y, especialmente los pimientos rojos maduros, constituyen una fuente excelente de vitamina C, superando a los cítricos.

También contienen vitaminas A y E (Martínez, 2007).

En la Tabla 1. se presenta la composición nutricional de los pimientos dulces verdes y rojos.

Tabla 1. Composición nutricional del pimiento dulce expresada por cada 100 g de parte comestible. (USDA, 2007).

Componente	Unidad	Verde	Rojo
Agua	g	93,89	92,21
Energía	kcal	20	31
Proteína	g	0,86	0,99
Lípidos totales	g	0,17	0,30
Cenizas	g	0,43	0,47
Fibra	g	1,7	2,1
Azúcares totales	g	2,4	4,2
Sacarosa	g	0,11	0
Glucosa	g	1,16	1,94
Fructosa	g	1,12	2,26
β -caroteno	μg	208	1624
α -caroteno	μg	21	20
β -criptoxantina	μg	7	490
Licopeno	μg	0	308
Luteína + zeaxantina	μg	341	51
Vitamina C	mg	80,4	127,7
Tiamina	mg	0,057	0,054
Riboflavina	mg	0,028	0,085
Niacina	mg	0,48	0,98
Vitamina A	UI	370	3131
Vitamina E	mg	0,37	1,58
Vitamina K	μg	7,4	4,9
Ca	mg	10	7
Fe	mg	0,34	0,43
Mg	mg	10	12
P	mg	20	26
K	mg	175	211
Na	mg	3	4

Usos

El fruto dulce puede ser consumido en forma fresca, cruda, cocida o asada. Se utiliza

para preparar ensaladas, salsas y también se usa como condimento. El pimientón procesado se presenta como: encurtidos, envasado al natural deshidratado y en salsas. Con la carne seca molida del pimientón dulce se elabora el Pimentón. El pimientón picante se lo puede consumir como fruto fresco y también procesado (encurtido, envasado al natural, deshidratado y molido) (FAO, 2006).

Generalidades del cultivo

Se adaptan bien a climas cálidos y resisten a la sequía aunque presentan un periodo crítico de requerimiento de riego que transcurre desde el inicio de la floración hasta que comienzan a madurar los frutos. Si la temperatura es elevada, conviene que haya bastante humedad en la tierra a fin de evitar que la planta pierda agua por exceso de transpiración. Necesitan una precipitación de 1000 mm. Donde la precipitación es poco abundante, es necesario regar varias veces pero regulando muy bien el suministro de agua para evitar que las plantas enfermen. No toleran las heladas. La temperatura para su mejor desarrollo oscila entre 21 y 26 °C. Si la temperatura es menor de 15 °C, las plantas no florecen. Es una especie indiferente al fotoperiodo y, por lo tanto, la fase reproductiva no es afectada por la amplitud del día. Prefiere suelos de mediana textura, ricos en fósforo y nitrógeno, con un pH de 6-6,5 (Sarli, 1958; FAO, 2006).

Cosecha

Se inicia aproximadamente a los 130 días del trasplante; o 10-15 días después cuando se cosechan rojos. Comúnmente el periodo de cosecha se extiende hasta que comienzan las heladas.

Los frutos se cortan con la mano, dejándoles un trozo de pedúnculo

En la provincia de Corrientes, la producción comercial de pimientón se realiza solamente bajo invernadero. La época de plantación es durante los meses de enero-abril. La cosecha se prolonga hasta el mes de diciembre independientemente del mes de plantación. El híbrido más utilizado para el mes de enero-febrero es Margarita, en los otros meses se utiliza el Festos (Ishikawa, 2003).

Manejo postcosecha del pimiento

Indicadores

Se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones para mantener la calidad postcosecha de pimientos:

-Temperatura y humedad relativa

Los pimientos se deben enfriar lo más rápido posible y mantenerse a una humedad relativa adecuada, para reducir las pérdidas de agua. Las condiciones óptimas para el almacenamiento a corto plazo y transporte de pimientos dulces son: temperaturas de 5° a 7,5 °C y humedad relativa mayor al 95%.

Los pimientos almacenados a temperaturas mayores a 7,5 °C son más susceptibles a la deshidratación. Los frutos almacenados a 7,5 °C presentan una vida útil de 3-5 semanas. También se pueden almacenar por dos semanas a 5 °C, lo que reduce pérdidas de agua pero conlleva a la manifestación de daño por frío tras ese período. Los pimientos maduros o que ya lograron su color son menos sensibles al daño por frío que los pimientos verdes (Cantwell, 2002).

-Actividad respiratoria

La tasa respiratoria de los frutos rojos y verdes es parecida. A 10 °C presentan valores de 5-8 mL CO₂/Kg h, mientras que a 5 °C es de 3-4 mL CO₂/Kg h (Cantwell, 2002).

-Efectos de las Atmósferas Controladas

Por lo general, no hay efecto de la AC en el pimiento. Las atmósferas que sólo tienen una concentración baja de O₂ (2-5% O₂) tienen poco efecto en la calidad del fruto, y las atmósferas con una alta concentración de CO₂ (>5%) pueden dañar a los pimientos (picado, coloración anormal, ablandamiento), especialmente si se almacenan a menos de 10 °C. Atmósferas con un 3% O₂+ 5% CO₂ fueron más benéficos para los pimientos rojos que para los verdes, cuando éstos se almacenaron a 5-10 °C por 3-4 semanas. (Cantwell, 2002).

Defectos postcosechas

-Fisiopatías y enfermedades

Las fisiopatías y enfermedades reducen la calidad del fruto. Entre las primeras se tiene: Pudrición apical: este defecto aparece ya sea como una leve coloración atípica o como una herida más grave, oscura y hundida, en la punta del fruto. Se debe a insuficiencias transitorias de agua y calcio, y puede suceder bajo temperaturas más altas cuando los pimientos están creciendo con rapidez.

Moteado: se manifiesta como heridas pecosas que penetran la pared del fruto. Se desconoce la causa que lo provoca. Algunas variedades son más susceptibles que otras.

Daño por frío: entre los síntomas del daño por frío están el picado en la superficie de la fruta, zonas acuosas, pudrición (especialmente por *Alternaria*), ablandamiento sin pérdida de agua y una coloración anormal de la cavidad interna.

Las principales enfermedades causantes de pérdida postcosecha son:

Pudrición por *Botrytis* o Moho Gris: Se puede reducir su presencia manteniendo la sanidad del campo y evitando las heridas en el fruto. *Botrytis* crece a las temperaturas de almacenamiento recomendadas. Los niveles altos de CO₂ (>10%), que ayudarían a controlarlo, dañan a los pimientos.

Pudrición negra por *Alternaria*: su presencia, especialmente en la punta del pimiento, es síntoma de daño por frío. La mejor forma de control es almacenar los frutos a 7,2°C.

Pudrición bacteriana blanda: Hay varias bacterias que atacan tejidos dañados que pueden causar zonas de pudrición blanda. Las pudriciones blandas también pueden encontrarse comúnmente en pimientos lavados o enfriados con agua, cuando el agua utilizada no ha sido tratada (Cantwell, 2002).

-Daño mecánico

El daño físico (aplastamiento, perforaciones causadas por ramas, grietas, etc.) es muy común en el pimiento; no sólo afecta su calidad visual sino que también lleva a una mayor pérdida de peso y pudriciones (Cantwell, 2002).

IV. PIMIENTOS CHERRY

El pimiento Cherry es uno de los cultivares precolombinos.

Algunos cultivares tipo Cherry son: Bird Cherry, Bird's Eye, Bolita, Cascabel, Cerise, Cherry (dulce y picante), Cherry Jubilee, Christmas Cherry, Creole, Holiday Cheer, Japanese Miniature, Red Giant y Tom Thumb.

La planta es anual y bienal, llega a medir hasta 0,8 m, su tronco es leñoso, las hojas verdes perennes.

Como se observa en la Fig. 1., los frutos nacen de largos, delgados y rectos pedicelos (uno por axila), que sostienen el fruto más o menos encima del follaje.



Fig. 1. Planta de pimiento Cherry.

Las flores son solitarias, blancas con sépalos revolutos (Fig. 2.). Las bayas son de color anaranjado a rojo intenso, aisladas, con tres a cuatro lóbulos.



Fig. 2. Flor de pimiento Cherry.

Los pimientos Cherry (*Capsicum annuum*, L. cv. Cherry), son una variedad de frutos pequeños, con un diámetro de 26 a 32 mm, que deben su nombre a su forma globosa, similar a la de una cereza (Fig. 3.). Alojjan un gran número de semillas en su cavidad interior. Su color es rojo brillante y tienen mayor valor económico que los pimientos morrones.



Fig. 3. Frutos de pimiento Cherry verde y rojo.

Los hay dulces y picantes. Se los consume cocidos (reellenos con queso, atún, etc.), al escabeche y son utilizados como condimento.

Los pimientos Cherry son muy agradables a la vista por su forma y color por lo que sería interesante ver su factibilidad para adaptarse al procesamiento mínimo a los fines de disponer de un producto libre de semillas y listo para su uso

Hasta la fecha no se cuenta con información referida a los pimientos Cherry cultivados en la zona, acerca del comportamiento post-cosecha de esta variedad así como tampoco del efecto de las operaciones realizadas para su presentación ya sea como vegetales frescos enteros y/o cortados, y mucho menos de la evolución de los parámetros físicos y composicionales de pimientos Cherry cortados durante su almacenamiento refrigerado y frente a la aplicación de un tratamiento térmico postcosecha. Se han realizado estudios acerca de los efectos del tratamiento térmico para otros cultivares de *Capsicum annum* rojos enteros y cortados durante su almacenamiento refrigerado (Fallik et al., 1999; Raffo et al., 2007, 2008), mientras que aún no se dispone de información referente a los pimientos Cherry.

OBJETIVOS

OBJETIVOS

Objetivo general:

Determinar las condiciones óptimas de preparación y almacenamiento de pimientos Cherry frescos cortados.

Objetivos particulares:

-Realizar la caracterización físico-química de los pimientos Cherry producidos en la zona.

-Determinar los cambios producidos en los principales componentes de pimientos Cherry enteros durante el almacenamiento refrigerado.

-Analizar el efecto del corte en los parámetros fisicoquímicos y la actividad de enzimas relacionadas con los compuestos fenólicos de los frutos.

-Estudiar el efecto de la aplicación de tratamientos térmicos a pimientos Cherry enteros y trozados.

-Determinar las variaciones durante el almacenamiento de los componentes en frutos tratados térmicamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES Y MÉTODOS

I. Material vegetal

Se trabajó con pimientos Cherry (*Capsicum annum*, L. cv Cherry) dulces clasificados en dos estadios de madurez según la intensidad del color superficial percibida visualmente: rojo-naranja (90% rojo) y rojo-rojo intenso (100% rojo), que fueron cosechados durante el período comprendido entre los meses de diciembre del 2004 y mayo del 2009, en quintas cercanas a la ciudad de Corrientes (Laguna Pampín, Ramada Paso, Caá Catí). Los pimientos se procesaron dentro de las 24 horas de haber sido cosechados, seleccionando para su estudio frutos libres de daños y de tamaño y color uniforme. Los frutos fueron pesados y se tomaron las medidas de sus ejes transversales y longitudinales con un calibre.

II. Estudio de las características fisicoquímicas de la materia prima

Los pimientos Cherry se caracterizaron a través de las determinaciones de: peso, dimensiones, color superficial, actividad respiratoria, textura, acidez titulable y pH, contenido de azúcares totales, carotenoides totales, polifenoles, flavonoides, ácido ascórbico, ácido dehidroascórbico y actividad antirradical, como se detalla más adelante.

Las determinaciones se realizaron por triplicado sobre un lote de 40 frutos de cada una de las procedencias ensayadas. La experiencia completa se realizó al menos 3 veces para cada procedencia.

III. Incidencia del daño mecánico o corte

A los fines de seleccionar el tipo de corte, los pimientos 100% rojos se sanitizaron por inmersión en agua clorada (100 ppm, 20 segundos). Una vez lavados se dejaron

escurrir unos 5 min y se los dividió en tres lotes. A los frutos de uno de los lotes se les quitó un área pequeña de tejido alrededor del pedúnculo con un sacabocados de 13 mm de diámetro con bordes afilados, se retiraron las semillas y el tejido placentario (descorazonados). A los del segundo lote se los partió en mitades (también se les retiraron las semillas) y a los del tercer lote se los dejó enteros. Posteriormente, los frutos de los tres lotes, se colocaron en bandejas de PET cristalinas (7,5 x 6,5 x 4 cm) y se las recubrió con film de PVC. Se prepararon 12 bandejas para cada tipo de corte y para los frutos control, conteniendo cada una aproximadamente 70 g (7 frutos). Las bandejas se almacenaron durante 10 días a 10 °C y 90 ± 5 % HR. Se tomaron muestras al día 0 y a tiempos prefijados a lo largo del almacenamiento se retiraron 3 bandejas por tipo de corte y tiempo de almacenamiento, para analizar su contenido en el momento o congelarlo a -20 °C hasta el momento del análisis. La experiencia completa se repitió al menos tres veces.

Se estudió el efecto del corte en los siguientes parámetros: calidad organoléptica, color superficial, actividad respiratoria, textura, contenido de azúcares totales, carotenoides totales, polifenoles, flavonoides, ácido ascórbico y capacidad antirradical. También se determinaron las actividades de las enzimas fenilalanina-amonioliasa (PAL), peroxidasa (POX) y polifenoloxidasas (PPO). Las determinaciones se realizaron por triplicado inmediatamente después del corte y durante el almacenamiento a 10 °C sobre el material vegetal correspondiente a las diferentes combinaciones tipo de corte/tiempo de almacenamiento.

IV. Aplicación de tratamientos térmicos

IV.1. Selección de las condiciones de temperatura y tiempo del tratamiento térmico

Para seleccionar el tratamiento térmico (condiciones de temperatura/tiempo de aplicación), se utilizaron pimientos Cherry libres de daños y de tamaño y color uniformes. Los frutos se sanitizaron y escurrieron como se describió en la sección III. Una vez secos, los pimientos fueron divididos en seis lotes y luego se trataron

térmicamente por inmersión en agua a las temperaturas y tiempos que se indican a continuación:

-50 °C/60 s

-55 °C/60 s

-55 °C/120 s

-55 °C/180 s

-60 °C/60 s

Un lote fue dejado sin tratar como control.

Cada lote, posteriormente, se dividió en dos grupos. Los pimientos de uno de los grupos fueron descorazonados como se indicó anteriormente en la sección III, y los frutos del otro grupo se dejaron enteros.

A continuación, los frutos se envasaron en las bandejas conteniendo cada una aproximadamente 70 g. Se prepararon 9 bandejas para cada tipo de corte y tratamiento. Las bandejas se almacenaron a 10 ± 2 °C y 90 ± 5 % HR durante 16 días y se tomaron muestras a los días 0, 12 y 16 durante el almacenamiento (3 bandejas por tipo de corte, tratamiento y tiempo de almacenamiento) que fueron analizadas en el momento para establecer el Índice de apariencia general como se describe en V.1. y el porcentaje de frutos afectados por crecimiento macroscópico de hongos y/o podredumbres. Además, al inicio del ensayo se efectuó la determinación del contenido de carotenoides totales de los frutos empleados. La experiencia completa se repitió al menos dos veces.

IV.2. Selección del modo de aplicación del tratamiento térmico

Con el objetivo de establecer el método más apropiado para realizar el tratamiento térmico, se utilizaron pimientos Cherry 100% rojos, libres de daños y de tamaño y color uniformes. Los frutos se sanitizaron y escurrieron como se describió en el punto III. Una vez secos, los pimientos fueron divididos en tres lotes. A los frutos enteros de un lote se los trató por inmersión en un baño de agua a 55 °C/60 s y luego se los descorazonó (pimientos tratados-descorazonados). Los frutos de un segundo lote se descorazonaron y posteriormente se trataron térmicamente a 55 °C/60 s (pimientos descorazonados-tratados). Los frutos del grupo restante fueron descorazonados y se los dejó como controles (sin tratamiento térmico).

A continuación, los frutos tratados y controles se envasaron colocándolos en las bandejas PET y cubriéndolos con film de PVC. Se prepararon 15 bandejas para cada tipo de tratamiento, conteniendo cada una aproximadamente 70 g. Las bandejas se almacenaron a 10 ± 2 °C y 90 ± 5 % HR durante 14 días y se tomaron muestras al día 0 y a lo largo del almacenamiento (3 bandejas por cada tipo tratamiento y tiempo de almacenamiento) que fueron analizadas en el momento para establecer el Índice de apariencia general como se describe en V.1. y el porcentaje de frutos afectados por crecimiento macroscópico de hongos y/o podredumbres. La experiencia completa se repitió tres veces.

IV.3. Efecto del tratamiento seleccionado durante el almacenamiento refrigerado

Una vez seleccionado el tratamiento térmico óptimo y su modo de aplicación se llevaron a cabo las experiencias bajo dos modalidades, a los fines de determinar el efecto del tratamiento térmico combinado con almacenamiento a 10 °C. En una de ellas, el almacenamiento refrigerado se realizó durante tiempos largos, entre 14 y 16 días y la segunda experiencia se efectuó a tiempos cortos, entre 10 a 48 horas.

Para ambas experiencias, una vez sanitizados y escurridos los pimientos fueron divididos en dos lotes. Uno de los lotes se subdividió en dos grupos, a los frutos de uno de ellos se los descorazonó (DC: descorazonados controles). A los del segundo grupo se los dejó enteros (EC: enteros control). A los pimientos del otro lote se los sometió a un tratamiento térmico por inmersión en agua a 55 °C durante 60 segundos y, posteriormente, se lo dividió en dos grupos. Los pimientos de uno de ellos fueron descorazonados (DT: descorazonados tratados) y el resto fue dejado en forma entera (ET: enteros tratados). Posteriormente, los frutos de las cuatro presentaciones, se colocaron en las bandejas de PET cristalinas y se las recubrió con film de PVC.

Para cada una de las experiencias (tiempos largos y tiempos cortos) se prepararon 15 bandejas para cada tipo de corte y tratamiento, conteniendo cada una 70 g. Las bandejas se almacenaron a 10 ± 2 °C y 90 ± 5 % HR durante 14-16 días (experiencia de tiempos largos) o 48 horas (experiencia de tiempos cortos) y se tomaron muestras al día cero y a tiempos prefijados a lo largo del almacenamiento. Las muestras fueron analizadas en el momento o congeladas a -20 °C para su posterior análisis.

En el momento de muestreo se evaluaron los parámetros: calidad organoléptica, color superficial, actividad respiratoria, textura y pérdida de peso. Posteriormente, sobre el tejido congelado se determinaron: acidez titulable y pH, contenido de azúcares totales, de carotenoides totales, fenoles totales, flavonoides totales, ácido ascórbico, ácido dehidroascórbico y actividad antirradical. Además, se analizó el perfil de polifenoles durante el almacenamiento refrigerado, en los pimientos Cherry enteros y descorazonados, controles y tratados. También se determinó la actividad de las enzimas fenilalanina-amonioliasa (PAL), polifenoloxidasas (PPO) y peroxidasas (POX). Cada experiencia completa se repitió tres veces. Las determinaciones se realizaron por triplicado sobre el material vegetal correspondiente a las diferentes combinaciones tipo de corte/tratamiento/tiempo de almacenamiento.

V. Determinaciones

V.1. Calidad organoléptica

Se realizó la evaluación subjetiva de los frutos enteros o cortados, para cada tratamiento y tiempo de almacenamiento, examinando visualmente la apariencia general, considerando los atributos color, brillo, firmeza y grado de deshidratación. También se evaluó visualmente el porcentaje de frutos que presentaban desarrollo de hongos y/o podredumbres.

Para evaluar la apariencia general se utilizó la siguiente escala: 1= muy buena o apariencia de fresco; 2 = buena; 3 = regular; 4 = mala. Se calculó el índice de apariencia general (I), mediante la ecuación:

$$I = \frac{1n + 2n + 3n + 4n}{N}$$

siendo:

n : número de frutos o trozos en esa categoría.

N: número total de frutos o trozos examinados para cada tipo de corte, tratamiento y tiempo de almacenamiento.

Se fijó como límite de la calidad comercial de los frutos cuando el valor de $I \leq 2$. Cuanto menor fue el índice, mayor fue la calidad organoléptica.

V.2. Pérdida de peso

Se pesaron las bandejas de cada combinación tipo de corte/tratamiento/tiempo de almacenamiento al inicio del ensayo y a los diferentes tiempos de muestreo. Se expresaron los resultados como porcentaje de pérdida de peso respecto a la masa inicial.

V.3. Color

Se evaluó el color de los frutos con un colorímetro (Minolta, Model CR-300) obteniéndose los parámetros L^* , a^* y b^* en tres zonas de cada fruto. El ángulo Hue (h°) fue calculado como $h^\circ = \tan^{-1} (b^* / a^*)$. Mientras que el Croma se obtuvo como $C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$. Se analizaron diez frutos por cada tipo de corte, tratamiento y tiempo de almacenamiento.

V.4. Actividad respiratoria

Se colocaron diez frutos en un frasco hermético y se determinó el CO_2 producido durante 1 hora, realizando mediciones periódicas cada 5 min, empleando un sensor IR (Alnor Compu Flow® Model 8650). Los resultados se expresaron como μL de CO_2 producidos por g de fruto fresco por hora ($\mu\text{L CO}_2/\text{g. h}$).

V.5. Firmeza

Para medir la firmeza de los frutos, se registró la fuerza máxima de penetración utilizando un equipo Texture Analyzer (TA-XTE). Se midió la firmeza en la zona ecuatorial del fruto, tomando las medidas en el tejido interno del mismo con un émbolo de 3 mm de diámetro. Se fijó una distancia de 3 mm de penetración del émbolo a una

velocidad de 0,5 mm/s. Se usaron quince frutos de similar tamaño, cortados en octavos, para cada tipo de corte, tratamiento y tiempo de almacenamiento. Se realizaron 8 determinaciones en cada fruto.

V.6. Acidez titulable y pH

Se trituraron 5g de muestra con 50 ml de agua destilada. Se determinó el pH con un pHmetro Metrohm 692 y luego se tituló con hidróxido de sodio 0,1 N hasta un pH 8,1. Los resultados se expresaron en g ácido cítrico/100 g tejido fresco (AOAC 1990).

V.7. Azúcares totales

Las muestras de pimientos congelados se trituraron con una Minipimer® professional y 10 g de tejido triturado obtenido se homogeneizaron en 30 mL de etanol. Se agitó 15 minutos en frío y el homogenato se centrifugó a 5000 x g por 10 min. Sobre el sobrenadante se determinó el contenido de azúcares totales por el método espectrofotométrico de la antrona (Southgate, 1976). Para ello, se colocaron en un tubo de vidrio 20 µL de extracto etanólico y el volumen de etanol correspondiente para completar 2 mL. Luego se adicionaron 4 mL de antrona (0,5 g/L H₂SO₄ 66%) y se calentó la mezcla de reacción en baño de agua a ebullición durante 15 min. Se enfrió en baño de hielo y en oscuridad hasta que alcanzó temperatura ambiente y posteriormente se dejó en reposo a dicha temperatura. Después de 15 min, fue leída la absorbancia a 620 nm en un espectrofotómetro Metrolab 1700. Se realizó un blanco de extracto, consistente en la mezcla de reacción sin extracto. La concentración fue calculada usando glucosa como estándar, con una curva de calibración de 0 a 26 µg glucosa/mL. Los resultados se expresaron como g de glucosa/100g tejido fresco.

V.8. Carotenoides totales

Los carotenoides totales fueron cuantificados por espectrofotometría visible. Se trituraron las muestras de pimientos congelados y 5 g del tejido triturado fueron homogeneizados con 35 mL de acetona durante 20 minutos. El homogenato fue filtrado al vacío, lavando el residuo con acetona hasta desaparición total del color y se midió el

volumen del extracto acetónico obtenido. Una alícuota de 25mL del extracto fue colocado en ampolla de decantación y se extrajeron los carotenoides con igual volumen de éter de petróleo 35-60 bp. Se midió el volumen del extracto etéreo obtenido y se determinó su absorbancia a 450 nm en un espectrofotómetro Metrolab 1700 utilizando como blanco éter de petróleo 35-60 bp. El coeficiente de extinción fue 2500×10^2 mL/g cm (Davies et al., 1970). Los resultados se expresaron como μg de β -caroteno/g de tejido fresco.

V.9. Compuestos fenólicos

V.9.1. Fenoles totales

Los fenoles totales fueron determinados utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteau (Singleton et al., 1999) sobre una alícuota del extracto alcohólico preparado según se describió anteriormente en V.7. Se adicionaron 100 μL de extracto a 4,7 mL de agua y 200 μL de reactivo de Folin-Ciocalteau 2 N. Después de 3 minutos se agregó 1 mL de solución saturada de Na_2CO_3 . La mezcla de reacción se incubó por una hora a temperatura ambiente y se midió la absorbancia a 760 nm en un espectrofotómetro Metrolab 1700. El contenido de fenoles totales fue calculado empleando ácido clorogénico como estándar, con una curva de calibración de 0 a 14 μg ácido clorogénico/mL. Los resultados se expresaron en mg ácido clorogénico/g tejido fresco.

V.9.2. Compuestos fenólicos por HPLC

Los compuestos fenólicos de los pimientos se cuantificaron por HPLC utilizando un equipo Shimadzu LC-10AT, con un detector UV-visible Shimadzu SPD-10A. Se trituraron las muestras de pimientos congelados. Posteriormente, se le adicionaron 30 mg de BHT (2,[6]-di-tert-butyl-p-cresol) (Sigma Chemicals) a 5 g del tejido triturado obtenido y se homogeneizaron en 20 mL de metanol. Se agitó 10 min en frío y el homogenato se centrifugó a $5000 \times g$ por 10 min. El sobrenadante fue evaporado a sequedad en evaporador rotatorio a 40°C y el residuo se disolvió en metanol/agua 70:30 a un volumen de 5 mL. Se filtró la muestra previo a la inyección en el cromatógrafo, a través de membranas de nylon de $0,45 \mu\text{m}$. La columna cromatográfica utilizada fue ZORBAX SB-C8 ($5 \mu\text{m}$, $4,6 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$). Se empleó como fase móvil la mezcla de

solventes sugerida por Marín et al. (2004) con modificaciones en el gradiente: de 0 a 25 min solución de ácido fórmico 5%:metanol (80:20), de 25 a 55 min ácido fórmico 5%:metanol (30:70) y de 55 a 60 min ácido fórmico 5%:metanol (80:20). Se utilizó un flujo de 0,8 mL/min y el volumen inyectado fue de 20 µL. La detección se realizó a una longitud de onda de 340 nm. Los resultados se expresaron en mg/g tejido fresco.

V.10. Flavonoides Totales

Las muestras de pimientos congelados fueron trituradas y 10 g del tejido triturado obtenido se homogeneizaron en 30 mL de etanol. Se agitó 15 min en frío y el homogenato se centrifugó a 5000 \times g por 10 min. Sobre una alícuota del extracto alcohólico se determinó el contenido total de flavonoides según Kim et al. (2003) con ligeras modificaciones. Una alícuota de 400 µL de extracto se adicionó a un tubo que contenía 1900 µL agua destilada. Al tiempo cero se agregaron 80 µL de NaNO₂ 5% (P/V). A los 5 min se añadieron 80 µL de AlCl₃ 10% P/V y a los 11 min se agregaron 540 µL de NaOH mol/L. La absorbancia de la mezcla a 510 nm fue medida inmediatamente en un espectrofotómetro Metrolab 1700 utilizando un blanco de agua. El contenido de flavonoides totales fue calculado empleando catequina como estándar, con una curva de calibración de 0 a 24 µg catequina/mL. Los resultados se expresaron como mg catequina/100 g de tejido fresco.

V.11. Ácido ascórbico

V.11.1. Método A

El contenido en ácido ascórbico (ASA) de los pimientos se cuantificó por HPLC utilizando un equipo Shimadzu LC-10AT, con un detector UV-visible Shimadzu SPD-10A. Se preparó un extracto homogeneizando 10 g de muestra con H₃PO₄ 0,05N (Nisperos-Carriedo et al., 1992), se filtró, centrifugó (10000 \times g durante 20 min a 4 °C) y filtró la muestra previo a la inyección en el cromatógrafo, a través de membranas de nylon de 0,45µm. La fase móvil fue metanol:H₂O (30:70) pH 2,8 (con H₃PO₄ 0,05N) con un flujo de 1mL/min y la columna cromatográfica utilizada fue Supelcosil LC-18 (5 µm, 4,6 mm x 250 mm), realizando las lecturas a una longitud de onda de 260 nm. Para

la identificación y cuantificación se utilizó una solución patrón de ácido ascórbico de $1,53 \times 10^{-3}$ mol/L. Los resultados se expresaron en mg de ácido ascórbico/100 g tejido fresco.

V.11.2. Método B

Las muestras de pimientos congelados se trituraron y 4 g del tejido triturado obtenido se homogeneizaron en 10 mL de ácido tricloroacético 6 % (P/V). Se agitó 30 min en frío, se filtró por tela y centrifugó ($2000 \times g$ durante 15 min). Sobre el sobrenadante se determinó el contenido de ácido ascórbico por el método descrito por Kampfenkel, Van Montagu e Inzé (1995), basado en la reducción del Fe^{3+} por el ácido ascórbico y la detección espectrofotométrica del complejo formado por el Fe^{2+} con el 2,2'-dipiridilo. El ácido deshidroascórbico (ADA) es reducido a ácido ascórbico por preincubación de la muestra con ditioneitol (DTT). Posteriormente, el exceso de DTT es removido con N-etilmaleimida (NEM) y entonces la concentración de ASA total es determinada por el método del 2,2'-dipiridilo. La concentración de ADA es calculada como la diferencia de ASA total (con preincubación con DTT) menos ASA (sin preincubación con DTT). La determinación se llevó a cabo como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Determinación de ASA y ASA total por el método del 2,2'-dipiridilo.

Componentes de la mezcla (mL)	ASA		ASA total	
	Muestra	Blanco	Muestra	Blanco
Patrón o muestra	0,2	-	0,2	-
DTT 10 mM	-	-	0,2	0,2
TCA 6%	-	0,2	-	0,2
Buffer fosfato 0,2 M (pH = 7,4)	0,6	0,6	0,4 ^a	0,4 ^a
NEM 0,5 %	-	-	0,2 ^b	0,2 ^b
Agua bidestilada	0,2	0,2	-	-
TCA 10%	1,0	1,0	1,0	1,0
H ₃ PO ₄ 42%	0,8	0,8	0,8	0,8
2,2'-dipiridilo 4%	0,8	0,8	0,8	0,8
FeCl ₃ 3%	0,4 ^c	0,4 ^c	0,4 ^c	0,4 ^c

a. Se incubó 15 min a 42 °C en baño de agua.

b. Se incubó 1 min a temperatura ambiente.

c. Se incubó 40 min a 42 °C y se leyó la absorbancia.

La absorbancia de la mezcla de reacción fue medida a 525 nm en un espectrofotómetro Metrolab 1700. Se calculó la concentración de ASA y ASA total empleando ácido ascórbico como estándar, con una curva de calibración de 0 a 12 µg ácido ascórbico/mL ácido tricloroacético 6 % (P/V). Los resultados se expresaron en mg de ácido ascórbico/100g tejido fresco.

V.12. Actividad antirradical

Para determinar la actividad antioxidante de los frutos se utilizó el radical cromógeno 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH•) en solución metanólica (Brand-Williams et al., 1995). Las muestras de pimientos congelados se trituraron y 10 g del tejido triturado obtenido se homogeneizaron en 30 mL de etanol. Se agitó 15 min en frío y el homogenato se centrifugó a 5000 x g por 10 min. Se tomaron diferentes alícuotas del sobrenadante (0-600 µL) y se le adicionaron 3,4mL de la solución de DPPH• $7,61 \times 10^{-5}$ mol/L preparada diariamente (volumen final de reacción: 4 mL). Se determinó la absorbancia a 517 nm con un espectrofotómetro Metrolab 1700 a diferentes tiempos de reacción hasta alcanzar el estado estacionario. Luego, se graficó el porcentaje de DPPH• remanente en función del volumen de extracto adicionado y se calculó la cantidad de muestra necesaria para disminuir la concentración inicial de DPPH• al 50%, que se define como EC₅₀. Los resultados se expresaron como EC₅₀⁻¹ (1/g tejido fresco).

V.13. Determinaciones enzimáticas

V.13.1. Fenilalanina-amonio-liasa (PAL)

Se tomaron aproximadamente 3 g de tejido congelado (-20 °C) y se adicionaron 20 mL de buffer de extracción conteniendo Na₂B₄O₇.10H₂O 0,1 M; mercaptoetanol 5 mM; EDTA 2 mM; polivinilpolipirrolidona (PVPP) 6 g/L; pH 8,8. La suspensión resultante se filtró al vacío y el filtrado fue centrifugado a 10000 x g durante 20 min a 4 °C. Se separó el sobrenadante y se lo filtró a través de membranas de nylon de 0,45 µm. El filtrado obtenido se utilizó para ensayar la actividad PAL.

Se preparó una mezcla de reacción con 1,1 mL $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0,03 M pH 8,8; 0,15 mL L-fenilalanina 0,01 M y 0,25 mL de extracto enzimático hasta un volumen final de 1,5 mL. Se incubó la mezcla a 37 °C. Se tomaron 400 μL de la mezcla de reacción a tiempos prefijados (0-30 horas de reacción) y se detuvo la reacción adicionando 400 μL de HCl 5 M colocando la mezcla rápidamente en hielo. Se centrifugó y midió la absorbancia a 290 nm en un espectrofotómetro Metrolab 1700. Se realizaron además blancos de sustrato (mezcla de reacción sin fenilalanina) y blanco de extracto (mezcla de reacción sin extracto). Una unidad de actividad de PAL fue definida como el cambio en una unidad de la densidad óptica por hora por g proteína ($\Delta\text{DO}/\text{h.g}$).

V.13.2. Polifenoloxidasa (PPO)

Se tomaron aproximadamente 3 g de tejido congelado (-20 °C) y se adicionaron 20 mL de buffer fosfato (KH_2PO_4 0,1M, Na_2HPO_4 0,1M, pH 7,0) conteniendo PMSF 1 mM, EDTA 0,1 mM, Tritón X-100 0,1% v/v y PVPP 6 g/L. Se trituroó durante 10 minutos en frío. La suspensión resultante se filtró al vacío y el filtrado fue centrifugado a 10000 $\times g$ durante 20 minutos a 4 °C. Se separó el sobrenadante y se lo filtró a través de membranas de nylon de 0,45 μm . El filtrado obtenido se utilizó para ensayar la actividad enzimática.

La mezcla de reacción se preparó del siguiente modo: buffer fosfato 100 mM pH 6,0; pirocatecol 20 mM, y 300 μL de extracto en un volumen total de 3 mL. La mezcla se incubó a 30 °C y la actividad se determinó espectrofotométricamente a 410 nm. Se realizaron blancos de extracto (mezcla de reacción sin extracto) y blanco con extracto hervido (mezclas de reacción con extracto hervido).

Una unidad de actividad de POX fue definida como el cambio de absorbancia en un minuto ($\Delta\text{DO}/\text{min}$) y fue expresada como el cambio en la densidad óptica por minuto por gramo de proteína ($\Delta\text{DO}/\text{min g}$).

Se prepararon 2 extractos para cada tratamiento y tiempo de almacenamiento analizado y las determinaciones se realizaron por duplicado.

V.13.3. Peroxidasa (POX)

El extracto enzimático fue preparado siguiendo la metodología indicada en V.13.2. La actividad POX fue estimada por la medida del incremento de la absorbancia por la

formación del producto de dehidrogenación del guayacol a 470 nm, durante 5 min, según el método de Flurkey y Jen (1978) con ligeras modificaciones. La mezcla de reacción contenía 1280 µL de buffer (KH_2PO_4 0,1M, Na_2HPO_4 0,1M, pH 7,0), 60 µL de extracto enzimático, 500 µL guayacol 0,25% (v/v), 160 µL de H_2O_2 8 mM, para un volumen final de 2 mL. Se realizó un blanco de extracto (mezcla de reacción sin extracto).

Una unidad de actividad de POX fue definida como el cambio de absorbancia en un minuto ($\Delta\text{DO}/\text{min}$) y fue expresada como el cambio en la densidad óptica por minuto por gramo de proteína ($\Delta\text{DO}/\text{min g}$).

Se prepararon 2 extractos para cada tratamiento y tiempo de almacenamiento realizando los análisis por duplicado.

V.13.4. Contenido de proteína soluble

El contenido de proteína soluble de cada extracto obtenido para la determinación de las actividades enzimáticas fue determinado según el método de Bradford (1976). La mezcla de reacción contenía 20 µL de extracto enzimático, 250 µL de reactivo de Bradford y el volumen del buffer correspondiente hasta completar 1500 µL finales.

La absorbancia de las muestras se midió a 595 nm en un espectrofotómetro Metrolab 1700 y la concentración de proteína fue calculada usando albúmina sérica bovina (BSA) como estándar proteico, con una curva de calibración de 0 a 14 µg BSA/mL. Los resultados se expresaron como mg proteína/g de tejido fresco.

V.14. Análisis estadístico

Las experiencias se llevaron a cabo de acuerdo a un diseño factorial, siendo los factores el tipo de corte, tratamiento y el tiempo de almacenamiento. Los resultados fueron analizados estadísticamente por medio de un análisis de varianza (ANOVA), y las medias fueron comparadas mediante el test de LSD con $P < 0,05$ (InfoStat, 2002).

CAPÍTULO I

Caracterización de los pimientos

Cherry

I.1. INTRODUCCIÓN

Las plantas de pimientos Cherry (*Capsicum annuum*, L. cv. Cherry), se han utilizado tradicionalmente para ornamentación en la región del Nordeste de Argentina, y dadas las características particulares de sus frutos (Fig. I.1.), el reducido tamaño, color y sabor han atraído la atención de especialistas de la cocina “gourmet”.



Fig. I.1. Fruto de pimiento Cherry (*Capsicum annuum*, L. cv. Cherry).

Desde el año 2004, se está produciendo esta variedad de pimientos en quintas próximas a la ciudad de Corrientes con fines de comercialización y con expectativas de exportación, en una cantidad estimada de 2,5 toneladas anuales. La planta se desarrolla aceptablemente bajo las condiciones climáticas existentes en el Nordeste Argentino. Es de periodo estival, requiriendo para su crecimiento un rango de temperatura de 25-35 °C y bajos valores de humedad relativa (30-65%), siendo sensible al exceso de lluvia y al frío. El fruto puede soportar radiaciones solares fuertes pero no una llovizna continua de varios días. Se siembra a partir de los meses de agosto y septiembre, brindando la mayor producción de frutos en los meses de verano (diciembre a marzo) y mermando hacia abril-junio. En la actualidad, estos frutos provienen de cultivos naturales, sin la adición de agroquímicos de síntesis, lo que les otorga el valor agregado de ser productos orgánicos.

Hasta la fecha, los lugares de producción en la región nordeste (NE) del país son:

- I- Paraje Loma. 2° Sección rural. Departamento Capital. Ruta provincial N°99. Sitio denominado: Laguna Pampín (LP).
- II- Paraje Yaguarí. 2° Sección rural. Municipio Ramada Paso. Departamento Itatí. Ruta provincial N°1. Sitio denominado: Ramada Paso (RP).
- III- Paraje San Martín y Colonia Romero. Nuestra Señora del Rosario de Caá Catí. Municipio de Caá Catí. Departamento de General Paz. Ruta provincial N° 36/13. Sitio denominado: Caá Catí (CC).

En la Fig. I.2. se indican estos sitios con un símbolo estrella. Como se observa, los mismos están ubicados al noroeste de la provincia de Corrientes, cercanos al río Paraná.

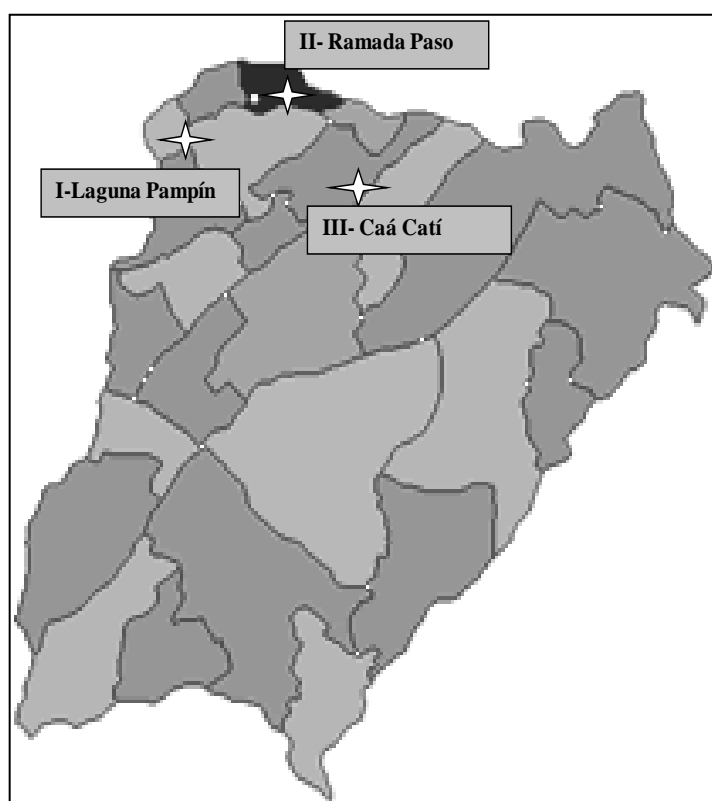


Fig. I.2. Localización de lugares de procedencia de la materia prima (Fuente: <http://www.corrientes.gov.ar/municipios.asp>).

Tabla I.1. Producción anual estimada en la Granja Che Rovía.

Año	Producción (Kg)
2004	200
2005	550
2006	500
2007	420
2008	150
2009	45

(Fuente: productor Granja Che Rovía, consultado en diciembre 2009).

A los fines informar acerca de la capacidad de producción de las quintas de la zona, en la Tabla I.1. se reúnen los datos de la producción anual estimada para la Granja Che Rovía, ubicada en el sitio I (Laguna Pampín), cuyos frutos fueron destinados a su comercialización como frutos frescos y productos deshidratados.

Los pimientos Cherry son muy atractivos por su apariencia y forma pero alojan en su cavidad interior un gran número de semillas que vuelve tediosa su preparación, entonces, una alternativa para incrementar su valor sería su preparación como pimientos frescos cortados, libres de semillas y listos para su uso.

Durante el almacenamiento de los vegetales frescos cortados los principales síntomas de deterioro son la aparición de deshidratación, cambios de color y textura, pérdida de jugos y/o crecimiento microbiano. Para minimizar estos efectos y lograr un producto de alta calidad global, es indispensable seleccionar apropiadamente la variedad y el grado de madurez de la materia prima, las condiciones de procesamiento, envasado y almacenamiento (Watada y Qi, 1999) y disponer del conocimiento de las características físicoquímicas y fisiológicas de la materia prima a utilizar.

I.2. OBJETIVO

Hasta el momento se cuenta con escasa información referida a los pimientos Cherry y no se tienen referencias acerca de los frutos cultivados en la zona. En este capítulo se evalúan diversos parámetros físico-químicos indicadores de la calidad sensorial y nutricional de las frutas y vegetales frescos, a los fines de caracterizar a los pimientos Cherry producidos en Corrientes con vistas su elaboración como pimientos frescos cortados.

I.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los pimientos Cherry pueden clasificarse en distintos estadios de madurez, de acuerdo con la intensidad del color superficial del fruto percibida visualmente, según se muestra en la Fig. I.3.

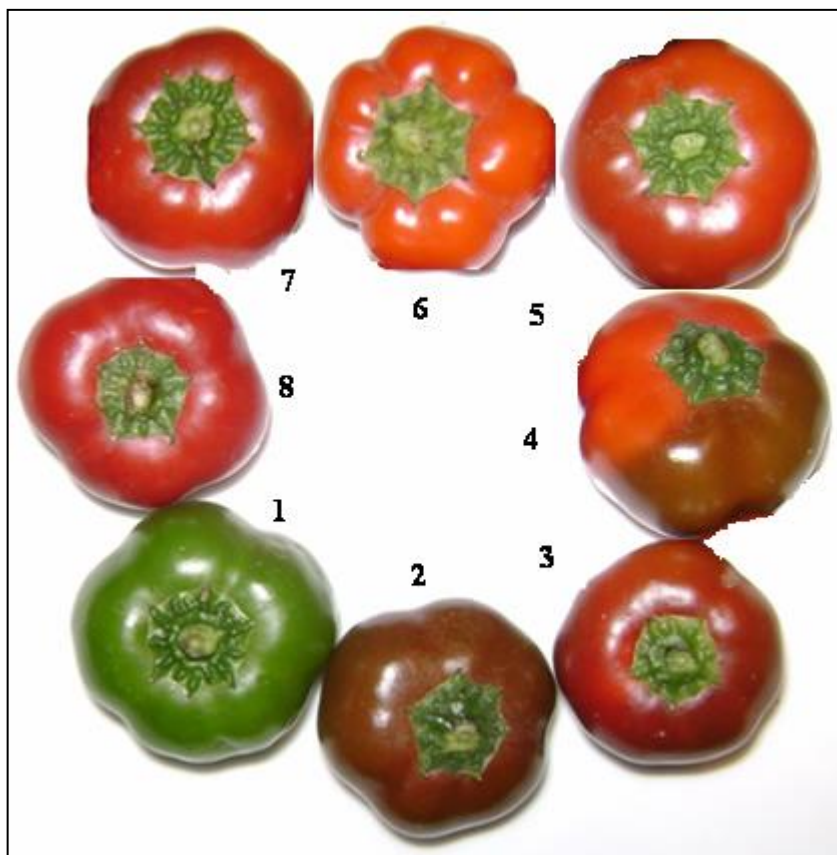


Fig. I.3. Estadios de madurez de los pimientos Cherry: 1-verde, 2-chocolate, 3- chocolate-naranja (80:20), 4- chocolate-naranja (50:50), 5- chocolate-naranja (30:70), 6-naranja, 7-rojo-naranja, 8-rojo-rojo intenso.

Para llevar a cabo la caracterización se utilizaron pimientos Cherry de dos grados de madurez:

7- rojo-naranja (90% rojo)

8- rojo-rojo intenso (100% rojo).

Tabla I.2. Valores de masa, eje transversal (ET) y eje longitudinal (EL) de pimientos Cherry provenientes de Caá Catí (CC) y de Laguna Pampín (LP)*.

Procedencia	Estación	Año	Masa (g)	ET (mm)	EL (mm)
CC	invierno	2007	9,81 ± 2,58	30,80 ± 2,86	26,63 ± 3,23
CC	verano	2008	10,90 ± 2,31	31,65 ± 3,00	27,33 ± 2,26
CC	otoño	2008	10,38 ± 2,51	32,37 ± 2,84	26,17 ± 2,68
CC	invierno	2008	9,54 ± 2,08	31,29 ± 2,51	26,28 ± 2,81
LP	verano	2009	8,87 ± 2,00	30,77 ± 2,56	27,14 ± 2,65
LP	otoño	2009	6,15 ± 2,08	25,21 ± 2,84	26,48 ± 2,12

* Los valores son las medias ± DS (desviación estándar) de al menos diez frutos.

Los pimientos procedentes de Caá Catí utilizados para realizar las determinaciones de masa y dimensiones presentaron contenidos de carotenoides totales entre $203,70 \pm 3,83$ y $275,94 \pm 9,29$ $\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$ tejido fresco y los frutos provenientes de Laguna Pampín mostraron niveles de carotenoides entre $231,06 \pm 2,93$ a $267,77 \pm 4,78$ $\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$.

Como se observa en la Tabla I.2., no se encontraron diferencias significativas de masa ($p > 0,05$) entre los frutos de Caá Catí cosechados en invierno del año 2007 y durante todo año 2008, pesando en promedio $10,10 \pm 2,43$ g. Por otra parte, los frutos provenientes de Laguna Pampín cosechados en el verano (febrero-inicios de marzo) del año 2009 pesaron un 44% más que los cosechados en otoño del mismo año ($p < 0,05$), presentando en ambos casos, menores valores que la masa promedio de los pimientos de Caá Catí ($p < 0,05$).

Los pimientos Cherry no tuvieron una forma redondeada, su eje transversal fue entre un 13% a un 24% mayor ($p < 0,05$) que el eje longitudinal para ambas procedencias analizadas, excepto para los frutos provenientes de Laguna Pampín cosechados en otoño del año 2009 que presentaron ejes similares ($p > 0,05$) (Tabla I.2.). En los pimientos Cherry procedentes de Caá Catí cosechados en el invierno del año 2007 las medidas del eje transversal fueron similares a las determinadas para los pimientos cosechados en verano, otoño e invierno del año 2008 ($p > 0,05$). Entonces, el eje transversal de los pimientos de Caá Catí fue en promedio de $31,24 \pm 2,81$ mm, próximo al que tuvieron

los frutos de Laguna Pampín cosechados en verano del año 2009 ($p > 0,05$), pero 24% mayor que el valor obtenido para los pimientos cosechados en otoño-2009 ($p < 0,05$). Por su parte, el eje longitudinal no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) entre frutos de ambas procedencias cosechados en las estaciones y años que figuran en la Tabla I.2., teniendo un valor promedio de $26,68 \pm 3,28$ mm.

Las diferencias en masa y dimensiones presentadas por los frutos provenientes de Laguna Pampín, y principalmente manifestadas en otoño, se deberían a la falta de precipitaciones y malas condiciones climáticas que hubo desde finales del año 2008 y se intensificaron durante el año 2009.

En la Tabla I.3. figuran los valores de los parámetros de color, actividad respiratoria y firmeza de los pimientos 100% rojos procedentes de Caá Catí, los cuales están próximos a los encontrados para otras variedades de pimientos dulces del mismo grado de madurez. (Sgroppo, 1997; Vicente et al., 2005 b; Raffo et al., 2007).

Tabla I.3. Parámetros de color, actividad respiratoria y firmeza de pimientos Cherry 100% rojos procedentes de Caá Catí*.

Croma	33,90 \pm 2,61
Hue	24,75 \pm 1,19
L^*	35,6 \pm 1,00
a^*	30,78 \pm 2,26
b^*	14,20 \pm 1,48
Actividad respiratoria (μ L CO ₂ /h.g)	32,26 \pm 2,07
Firmeza (N)	10,26 \pm 2,03

* Valores medios \pm DS (desviación estándar) de mediciones realizadas con al menos diez frutos.

Para los pimientos Cherry procedentes de Laguna Pampín la actividad respiratoria fue de $23,75 \pm 4,85$ μ L CO₂/h.g, más reducida que la determinada para los Cherry de otras quintas, aunque del mismo orden que la informada para pimientos morrones cv. Córdoba producidos en la región (Sgroppo, 1997).

Tabla I.4. Valores de acidez titulable (g ácido cítrico/100g tejido fresco) y pH de pimientos Cherry 90% y 100% rojos (R) procedentes de Laguna Pampín (LP) y Caá Catí (CC)*.

Procedencia	Estación	Año	Grado de madurez	Acidez titulable	pH
LP	verano	2005	90% R	0,28 ± 0,01	5,28 ± 0,03
LP	otoño	2005	90% R	0,29 ± 0,02	5,25 ± 0,03
LP	verano	2005	100%R	0,32 ± 0,01	5,31 ± 0,03
LP	verano	2005	100% R	0,25 ± 0,01	5,49 ± 0,06
LP	verano	2006	100% R	0,25 ± 0,01	5,47 ± 0,01
CC	invierno	2007	100% R	0,25 ± 0,01	5,43 ± 0,02
CC	otoño	2008	100% R	0,24 ± 0,01	5,45 ± 0,08
RP	verano	2006	100%R	0,35 ± 0,01	5,13 ± 0,02

* Los valores son las medias ± DS (desviación estándar) de al menos diez determinaciones.

En cuanto a los niveles de acidez titulable y pH, los resultados mostraron que los frutos 90% rojos presentaron mayores niveles de acidez y valores de pH ligeramente menores que los pimientos 100% rojos ($p_{\text{Acidez}} < 0,05$; $p_{\text{pH}} < 0,05$), sin observarse diferencias entre frutos cosechados en verano y otoño del 2005 ($p_{\text{Acidez}} > 0,05$; $p_{\text{pH}} > 0,05$) (Tabla I.4.). La acidez titulable tuvo un valor promedio de $0,28 \pm 0,01$ g ácido cítrico/100g tejido fresco y el pH fue de $5,27 \pm 0,03$, cercano al informado para los pimientos cv. Zafiro 90% rojo (Vicente et al., 2005 b).

Por otra parte, los frutos 100% rojos procedentes de Laguna Pampín y Caá Catí que tuvieron niveles de carotenoides dentro del rango de 240 a 288 $\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$ tejido fresco (Tabla I.6.), tuvieron similares valores de acidez titulable y pH ($p_{\text{Acidez}} > 0,05$; $p_{\text{pH}} > 0,05$) para las estaciones y años de cosecha considerados (Tabla I.4.). En promedio la acidez fue de $0,25 \pm 0,01$ g ácido cítrico/100g, ligeramente superior a la encontrada para pimientos cv. Margarita y cv. Festos 100% rojos (Sgroppo y Montiel, 2004; Sgroppo et al., 2005). El pH fue de $5,45 \pm 0,05$, en el orden de lo reportado por esos autores para pimientos morrones de nuestra zona y mayor que el encontrado por Marín et al. (2004) para otro cultivar de pimiento rojo. Por otra parte, en pimientos Cherry 100% rojos de Ramada Paso cosechados en verano del 2006 (contenido de carotenoides totales de $321 \pm 8 \mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$) y de Laguna Pampín cosechados en verano del 2005 ($378 \pm 18 \mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$), se observaron superiores niveles de acidez titulable y menores

valores de pH ($p < 0,05$) que los encontrados en el resto de los frutos 100% rojos ensayados que presentaron menores contenidos de carotenoides.

En la Tabla I.5., se reúnen los datos correspondientes a los niveles de azúcares de los pimientos Cherry cosechados en verano. De la misma surge que estos pimientos presentaron un contenido de azúcares totales comprendido entre $1,64 \pm 0,06$ y $2,27 \pm 0,07$ g glucosa/100g tejido fresco según su procedencia, año de cosecha y grado de madurez, mientras que para los frutos cosechados en otoño-invierno los niveles fueron menores ($p < 0,05$) mostrando valores un rango de $1,10 \pm 0,05$ a $1,38 \pm 0,14$ g glucosa/100g. Estos niveles de azúcares totales encontrados estuvieron dentro del rango de lo informado para otros pimientos (Hubbard y Pharr, 1992).

Tabla I.5. Contenido de azúcares totales (g glucosa/100g tejido fresco) de pimientos Cherry 90% y 100% rojos (R) procedentes de Laguna Pampín (LP), Caá Catí (CC) y Ramada Paso (RP)*.

Procedencia	Estación	Año	Grado de madurez	Azúcares Totales
LP	verano	2005	90% R	$1,64 \pm 0,06$
LP	otoño	2005	90% R	$1,38 \pm 0,14$
LP	verano	2005	100% R	$1,77 \pm 0,07$
LP	invierno	2005	100% R	$1,10 \pm 0,05$
LP	verano	2006	100% R	$2,05 \pm 0,06$
CC	invierno	2007	100% R	$1,36 \pm 0,04$
CC	otoño	2008	100% R	$1,28 \pm 0,06$
RP	verano	2006	100% R	$2,27 \pm 0,07$
RP	verano	2007	100% R	$1,78 \pm 0,07$

* Los valores son las medias \pm DS (desviación estándar) de al menos diez determinaciones.

Los frutos 90 % y 100 % rojos procedentes de Laguna Pampín cosechados en verano del 2005 presentaron similares niveles de azúcares entre sí ($p > 0,05$) (Tabla. I.5.) y los pimientos 90% rojos cosechados en otoño tuvieron un contenido de azúcares 16% más bajos que los encontrados en verano ($p < 0,05$). Además, los frutos rojos intensos mostraron en invierno valores 38% menores que en verano ($p < 0,05$), e inclusive se encontraron niveles de azúcares 15 % más bajos ($p < 0,05$) en verano del 2005 que en verano del 2006 para pimientos 100% rojos de similar contenido de carotenoides.

Los frutos 100% rojos provenientes de Caá Catí presentaron en invierno del 2007 y en otoño del 2008 valores no significativamente diferentes ($p > 0,05$), que si bien no correspondieron al mismo año de cosecha, estuvieron en el orden de los observados en pimientos de Laguna Pampín para esas estaciones. Por su parte, en verano los frutos 100% rojos de Ramada Paso presentaron valores del orden de los encontrados en pimientos de Laguna Pampín para esa estación y grado de madurez. Si bien se mencionó anteriormente que los pimientos cosechados en Laguna Pampín en verano del 2005 presentaron similares niveles de azúcares para ambos grados de madurez, se encontró que los frutos 100% rojos cosechados en verano del 2006 mostraron niveles 11% mayores ($p < 0,05$) en Ramada Paso que en Laguna Pampín, lo que estaría asociado con el mayor contenido de carotenoides.

Tabla I.6. Contenido de carotenoides totales ($\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$ tejido fresco) de pimientos Cherry 90% y 100% rojos (R) procedentes de Laguna Pampín (LP), Caá Catí (CC) y Ramada Paso (RP)*.

Procedencia	Estación	Año	Carotenoides Totales	Grado de madurez
LP	otoño	2005	$179,87 \pm 2,89$	90% R
LP	verano	2005	$197,61 \pm 20,07$	90% R
CC	invierno	2007	$201,02 \pm 3,83$	90% R
LP	verano	2009	$231,06 \pm 2,93$	100% R
CC	invierno	2007	$241,25 \pm 9,74$	100% R
LP	verano	2009	$266,75 \pm 6,26$	100% R
CC	otoño	2008	$267,77 \pm 4,78$	100% R
CC	verano	2008	$275,94 \pm 9,29$	100% R
RP	verano	2007	$280,32 \pm 13,30$	100% R
LP	verano	2006	$282,67 \pm 7,51$	100% R
LP	verano	2005	$287,90 \pm 2,34$	100% R
RP	verano	2006	$320,81 \pm 8,42$	100% R
LP	invierno	2005	$330,07 \pm 20,46$	100% R
LP	verano	2005	$377,90 \pm 18,51$	100% R

* Los valores son las medias \pm DS (desviación estándar) de al menos diez determinaciones.

Los niveles de carotenoides totales fueron superiores en los frutos de mayor grado de madurez, tal como ya se informó para otros cultivares (Sgroppo, 1997; Matsufuji et al., 2007) (Tabla I.6.).

Para una misma procedencia en una misma época del año, se observó que existía una correspondencia entre el grado de madurez de los frutos fijado por el color observado visualmente y el contenido de carotenoides totales que presentaron. Los frutos clasificados visualmente como 90% rojos (rojo-naranja) presentaron valores de carotenoides totales entre 179 y 201 $\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$. Mientras que, los pimientos clasificados como rojo-rojo intenso denominados 100% rojos, tuvieron niveles de 320 a 380 $\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$. Por otra parte, aquellos frutos que presentaron valores entre 230-288 $\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$ que visualmente fueron percibidos con una coloración roja más intensa que los 90% rojos, se los clasificó dentro del grupo de frutos 100% rojos (Tabla I.6.). Los pimientos cultivados en Laguna Pampín y Caá Catí cosechados en las diferentes estaciones para distintos años presentaron contenidos de carotenoides dentro de los rangos mencionados anteriormente para los correspondientes grados de madurez. Con la procedencia Ramada Paso sólo se trabajó en verano (2006 y 2007), con frutos de coloración mayor al 90% rojo, presentando niveles de carotenoides dentro de los rangos antes citados. Los valores de carotenoides totales estuvieron próximos a los encontrados para otras variedades de *C. annuum* cultivadas en la zona (Sgroppo, 1997; Sgroppo y Montiel, 2004).

Los frutos 100% rojos utilizados para realizar las determinaciones de fenoles totales presentaron valores de carotenoides entre 240 a 280 $\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$ tejido fresco. En cuanto a los pimientos procedentes de Caá Catí cosechados en invierno del 2007 se encontró un nivel 16% menor ($p < 0,05$) en los frutos 90% rojos que en los 100% rojos (Tabla I.7.). Si bien, Marín et al. (2004) informaron un descenso durante la maduración de los compuestos fenólicos (derivados del ácido hidroxicinámico y flavonoides) para otra variedad de *C. annuum*, no encontraron diferencias entre los estados rojo inmaduro y rojo. Por su parte, Andrade Cuvi (2008) informó en pimientos 80-90% rojos cv. Cornago valores de 1400 $\mu\text{g catequina/g}$ mientras que Heredia y Cisneros-Zeballos (2009 a) informaron para pimientos dulces niveles de $214 \pm 17 \text{ mg catequina/100 g}$.

Tabla I.7. Contenido de fenoles totales (mg ácido clorogénico/g tejido fresco) de pimientos Cherry 90% y 100% rojos (R) procedentes de Laguna Pampín (LP), Caá Catí (CC) y Ramada Paso (RP)*.

Procedencia	Estación	Año	Fenoles Totales	Grado de madurez
CC	invierno	2007	0,93 ± 0,03	90% R
LP	verano	2009	1,07 ± 0,02	100% R
LP	otoño	2009	1,09 ± 0,05	100% R
CC	invierno	2007	1,11 ± 0,03	100% R
CC	verano	2008	1,24 ± 0,04	100% R
CC	otoño	2008	1,19 ± 0,05	100% R
RP	verano	2005	3,93 ± 0,20	100% R
RP	verano	2006	4,03 ± 0,20	100% R

* Los valores son las medias ± DS (desviación estándar) de al menos diez frutos.

Como se observa en la Tabla I.7., los pimientos 100% rojos mostraron similares valores ($p > 0,05$) en otoño y verano del 2008. Asimismo, para los frutos 100% rojos procedentes de Laguna Pampín no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre verano y otoño del 2009. En cuanto a los pimientos rojos intensos provenientes de Ramada Paso, se encontraron contenidos de fenoles similares en verano del 2005 y del 2006, que fueron unas 3,5 veces mayores ($p < 0,05$) que los valores mostrados por los frutos de Laguna Pampín y Caá Catí cosechados en verano pero de otros años.

Tabla I.8. Contenido de flavonoides totales (mg catequina/100g tejido fresco) de pimientos Cherry 100% rojos procedentes de Caá Catí (CC) y Laguna Pampín (LP)*.

Procedencia	Estación	Año	Flavonoides Totales
CC	verano	2008	11,90 ± 0,29
CC	otoño	2008	16,08 ± 0,16
LP	verano	2009	19,44 ± 0,78
LP	otoño	2009	16,16 ± 0,48

* Los valores son las medias ± DS (desviación estándar) de al menos diez frutos.

Los pimientos utilizados para las determinaciones de flavonoides totales tuvieron niveles de carotenoides entre 240 a 280 μg β -caroteno/g tejido fresco. Si bien no se encontraron diferencias estacionales para el contenido de fenoles totales, tanto para frutos procedentes de Caá Catí como de Laguna Pampín, se observaron valores de flavonoides totales significativamente distintos entre verano y otoño ($p < 0,05$) (Tabla I.8.). Los contenidos de flavonoides estuvieron en el orden de lo informado para otros pimientos (Andrade Cuvi, 2008) y, similarmente a lo encontrado en ellos, los flavonoides totales representaron alrededor de un 15% de los valores de fenoles totales determinados espectrofotométricamente como se indicó en materiales y métodos.

Tabla I.9. Contenido de ácido ascórbico y de ácido deshidroascórbico (mg/100g tejido fresco) de pimientos Cherry 90% y 100% rojos (R) procedentes de Laguna Pampín (LP), Caá Catí (CC) y Ramada Paso (RP)*.

Procedencia	Estación	Año	Ácido ascórbico	Ácido deshidroascórbico	Grado de madurez
CC	invierno	2007	$62,7 \pm 1,8$	nd	90% R
CC	invierno	2008	$59,2 \pm 6,3$	$0,30 \pm 0,02$	100% R
LP	verano	2009	$22,8 \pm 1,6$	$2,27 \pm 0,08$	100% R
LP	otoño	2009	$34,9 \pm 1,5$	$11,92 \pm 1,12$	100% R
RP	verano	2006	$10,0 \pm 0,3$	nd	100% R
RP	verano	2007	$20,3 \pm 0,8$	nd	100% R

* Los valores son las medias \pm DS (desviación estándar) de al menos diez frutos. nd: no determinado.

Los pimientos 90% rojos utilizados para realizar las determinaciones de ácido ascórbico presentaron valores de carotenoides de $201,02 \pm 3,83$ μg β -caroteno/g y los niveles de los frutos 100% rojos estuvieron comprendidos entre 240 a 280 μg β -caroteno/g. Si bien se ha observado un aumento de los niveles de ácido ascórbico (ASA) al avanzar la maduración de los pimientos (Howard et al., 2000; Marín et al., 2004), Yahia et al. (2001) encontraron una caída del 50% del ASA mucho antes de alcanzar la intensidad del color total, asociando esta disminución al incremento de la actividad de la enzima ascorbato peroxidasa. Como se observa en la Tabla I.9., los pimientos Cherry 90% rojos ($203,70 \pm 3,09$ μg β -caroteno/g) y 100% rojos provenientes de Caá Catí cosechados en invierno de diferentes años mostraron contenidos similares de ácido ascórbico ($p >$

0,05) que fueron superiores a los obtenidos para los frutos de las otras procedencias y que estuvieron dentro del rango informado para otros *Capsicum annuum* rojos (Marín et al., 2004; Jiménez et al., 2003; Deepa et al., 2006).

La temperatura ambiente durante el crecimiento de los cultivos hortícolas es uno de los más importantes factores precosecha determinantes del contenido de vitamina C y se ha informado en algunos cítricos mayores concentraciones de vitamina C cuanto menores fueron las temperaturas durante el desarrollo (Lee y Kader, 2000). Esto concuerda con lo encontrado para los pimientos Cherry de Laguna Pampín ya que presentaron en verano contenidos de ácido ascórbico menores que en otoño ($p < 0,05$). Por otra parte, los pimientos de Ramada Paso cosechados en verano del 2006 tuvieron valores menores ($p < 0,05$) que los obtenidos en el 2007 y que el resto de los frutos ensayados. Estos niveles de ASA fueron más bajos que los reportados para diferentes cultivares de pimientos rojos (Simonne et al., 1997; Jiménez et al., 2003; Deepa et al., 2006; Andrade Cuvi, 2008).

El contenido de ácido ascórbico constituye una buena estimación de los niveles de vitamina C, que está conformada por el ácido L-ascórbico y L-dehidroascórbico. En los pimientos Cherry 100% rojos analizados, el ácido ascórbico se presentó en mayor cantidad que el ácido deshidroascórbico (ADA). En los frutos procedentes de Caá Catí (invierno) y de Laguna Pampín (verano), el ASA representó más del 90% y el ADA fue menos del 10% de la vitamina C total (0,5% y 9% respectivamente), niveles concordantes con los informados por Jiménez et al. (2003), Marín et al. (2004) y Andrade Cuvi (2008) para otros cultivares de pimientos rojos. Sin embargo, los frutos de Laguna Pampín cosechados en otoño, si bien mostraron mayores valores de ácido ascórbico que en verano también tuvieron mayores cantidades de ácido deshidroascórbico, que representaron un 73% y un 25% de la vitamina C total, respectivamente. El contenido de vitamina C de muchos cultivos puede aumentar ante una menor frecuencia de irrigación así como se han informado cambios dependientes del promedio de precipitaciones, incrementándose los niveles de vitamina C con moderados déficits de agua (Lee y Kader, 2000). Entonces, estos resultados podrían explicarse por el efecto las condiciones de sequía a las que estuvieron expuestos los frutos en el periodo precosecha.

Tabla I.10. Valores de la actividad antirradical (1/g tejido fresco) de pimientos Cherry 90% y 100% rojos (R) procedentes de Laguna Pampín (LP), Caá Catí (CC) y Ramada Paso (RP)*.

Procedencia	Estación	Año	1/EC50 (1/g)	Grado de madurez
CC	invierno	2007	13,90 ± 0,86	90% R
CC	verano	2008	7,92 ± 0,34	100% R
CC	otoño	2008	8,27 ± 0,25	100% R
LP	verano	2009	14,03 ± 0,08	100% R
LP	otoño	2009	18,69 ± 0,55	100% R
RP	verano	2006	27,00 ± 0,60	100% R
CC	invierno	2007	29,22 ± 2,70	100% R
RP	verano	2007	29,33 ± 2,10	100% R

* Los valores son las medias ± DS (desviación estándar) de al menos diez determinaciones.

Los pimientos 90% rojos utilizados para las determinaciones del poder antirradical tuvieron valores de carotenoides totales de $203,70 \pm 3,09 \mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$ mientras que los frutos 100% rojos presentaron niveles entre 240 a $280 \mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$ tejido fresco. Como se observa en la Tabla I.10., se encontraron diferencias significativas según el lugar de procedencia de los frutos ($p < 0,05$), presentando los frutos provenientes de Ramada Paso mayores valores de EC_{50}^{-1} que los pimientos de las otras dos procedencias, y mostrando los pimientos cosechados en Caá Catí en verano menores valores que el resto frutos ensayados.

Con respecto a la actividad antirradical de los pimientos provenientes de Caá Catí cosechados en invierno, se encontraron menores valores ($p < 0,05$) en los frutos 90% rojos que en los 100% rojos, lo que podría asociarse en parte al contenido de fenoles 20% mayor que presentaron los pimientos rojos intensos (Tabla I.7.). Matsufuji et al. (2007) informaron para otro cultivar de pimientos que los frutos rojo-maduro presentaron mayor actividad antioxidante. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los valores de EC_{50}^{-1} de frutos 100% rojos de Caá Catí cosechados en verano y en otoño (Tabla I.10.), lo que podría relacionarse con el hecho de que también mostraron similares niveles de fenoles totales (Tabla I.7.), aunque hayan tenido distintos contenidos de flavonoides (Tabla I.8.). Por otra parte, como puede verse en la Tabla I.10., los pimientos 100% rojos procedentes de Laguna Pampín, presentaron

en otoño un poder antirradical 33% superior que en verano ($p < 0,05$). Si bien estos pimientos no mostraron diferencias estacionales para fenoles y los flavonoides fueron ligeramente menores en otoño, los contenidos de ASA y ADA fueron 1,5 veces y 5,3 veces superiores respectivamente y la actividad antirradicalaria fue mayor. Ésto podría ser el resultado combinado de las condiciones precosecha (estación del año y exposición a condiciones de sequía) (Tabla I.9.). Según se muestra en la Tabla I.10., para los frutos 100% rojos de Ramada Paso cosechados en verano no se encontraron diferencias significativas en el poder antirradical entre los años 2006 y 2007 ($p > 0,05$), pudiendo asociarse ello a los similares niveles de fenoles totales (Tabla I.7.)

I.4. CONCLUSIONES

Los frutos de mayor masa y dimensiones fueron los procedentes de Caá Catí. Otras propiedades afectadas por el lugar de procedencia fueron los fenoles totales, encontrándose los mayores valores en pimientos procedentes de Ramada Paso. En cuanto al grado de madurez, los frutos 100% rojos presentaron menores valores de acidez (pH ligeramente mayor), mayores contenidos de carotenoides totales, mayor poder antioxidante y niveles ligeramente superiores de fenoles totales, que los pimientos 90% rojos. Los parámetros que presentaron influencia estacional fueron el contenido de azúcares totales, la actividad antirradical y los niveles de ácido ascórbico, encontrándose mayores valores en verano para los azúcares y en las épocas de otoño-invierno para los otros dos parámetros.

Además, la sequía precosecha afectó notablemente algunos parámetros, reduciendo la masa y dimensiones de los frutos, distinguiéndose un aumento de los contenidos de ASA, ADA y el poder antirradical.

Los frutos de Laguna Pampín mostraron valores de fenoles y flavonoides dentro del mismo orden que los de Caá Catí, mientras que tuvieron valores medios de ASA y actividad antirradical. Por su parte, los pimientos de Caá Catí tuvieron mayor concentración de ASA y un amplio rango de valores de EC_{50}^{-1} que abarcó desde niveles menores a los de Laguna Pampín hasta valores similares a los de Ramada Paso. Los frutos de Ramada Paso presentaron los mayores niveles de fenoles y actividad antirradical que el resto de los frutos analizados pero mostraron los menores valores de ASA.

CAPÍTULO II

Estudio del efecto del estrés por corte

II.1. INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos, se ha incrementado la demanda de productos frescos cortados en el mundo debido a que el consumidor ha tomado conciencia de la importancia que tienen las frutas y hortalizas para una alimentación saludable y a que el ritmo de vida cada vez más acelerado impide disponer del tiempo suficiente para encargarse de la elaboración propia de los alimentos.

Estos productos presentan grandes ventajas por su facilidad y comodidad de preparación y porque mantienen sus propiedades de frescura iniciales relativas al color, textura y sabor, sin reducir las propiedades nutricionales y beneficiosas para la salud (de Ancos et al., 2007). Además, aunque más caros que el producto a granel con base en peso, a menudo son más económicos para el usuario debido a la reducción de desperdicios. No obstante ello, la preparación de los mismos implica acciones de limpieza, lavado, recortado, descorazonado, rebanado, cortado en tiras, y otros pasos relacionados, muchos de los cuales incrementan la perecibilidad de los artículos producidos (Cantwell y Suslow, 2007). Durante las etapas de pelado, corte, etc. pueden tener lugar importantes cambios físicos, fisiológicos, bioquímicos y ataques microbiológicos que aceleran la pérdida de la calidad del producto respecto de los vegetales de origen, requiriéndose del empleo del almacenamiento en condiciones de refrigeración para prolongar su vida comercial útil.

Los pimientos son frutos no climatéricos, sensibles al daño por frío a temperaturas inferiores a los 7 °C y de baja actividad respiratoria (Barth et al., 2004). Los pimientos rojos dulces presentan en su composición sustancias relacionadas con el sabor, como ser los azúcares (glucosa, fructosa y bajos niveles de sacarosa y maltosa) y los ácidos orgánicos (ácidos málico y cítrico); desde el punto de vista nutricional contienen compuestos con propiedades antioxidantes, entre ellos carotenoides, ácido ascórbico y polifenoles, además de minerales, vitaminas, fibras y agua (Sgroppo y Montiel, 2004; Raffo et al., 2007).

La reducción del tamaño es una de las etapas más importantes del procesamiento mínimo y tiene gran influencia en la aceptabilidad del producto fresco cortado ya que el tipo de corte aplicado tendrá un impacto en el consumidor en cuanto a la adaptación del producto a sus necesidades (Sgroppo y Chaves, 2009). Cuanto mayor sea el grado de

reducción de tamaño, mayores serán las lesiones o daño físico de los tejidos y, por lo tanto, sus consecuencias (Pirovani et al., 2006).

El daño mecánico provoca en las zonas de corte la eliminación de la capa protectora de la epidermis y/o la exposición de las células internas, facilitando la pérdida de agua y proporcionando una entrada fácil para los microorganismos y contaminantes químicos. Los principales microorganismos alterantes en pimientos cortados son los hongos *Alternaria* y *Botrytis* spp. y las bacterias que causan “soft-rot” (Barth et al., 2004). Vicente et al. (2005 b) observaron un 20% de los pimientos enteros 90% rojos cv. California con desarrollo fúngico a los 8 días del almacenamiento a 10 °C, mientras que en pimientos rojos dulces cortados, Raffo et al. (2008), no encontraron desarrollo de hongos ni síntomas de daño por frío durante 9 días a 8° y 4 °C.

Entre las alteraciones fisiológicas luego del corte, se incluyen el incremento de la respiración, la síntesis de etileno y cambios bioquímicos que son inducidos por la ruptura de las células vegetales y la salida de productos intracelulares, facilitando la reacción de las enzimas oxidativas (polifenoloxidasas, peroxidasas, ascorbato oxidasa, etc.) con sus sustratos. El estrés que produce el pelado y el corte puede aumentar el contenido en algunos compuestos bioactivos. En muchos tejidos, el daño produce una señal que promueve el aumento de la síntesis y acumulación de compuestos fenólicos (Barth et al., 2004; de Ancos et al., 2007). En pimientos verdes también se producen por oxidación de los ácidos grasos libres, aldehídos y alcoholes capaces de modificar la expresión genética y la actividad enzimática (Toivonen y Stan, 2004).

Se ha informado en pimientos dulces rojos y verdes y chiles verdes que el corte incrementó la actividad respiratoria (El-Bassuoni y Cantwell, 1994), mostrando también los frutos cortados síntomas de daño por frío durante el almacenamiento refrigerado (Kang y Lee, 1997). Además se han encontrado pérdidas de vitamina C en pimientos verdes cortados (Hussein et al., 2000) y disminuciones de ácido ascórbico, α - y β -caroteno en pimientos jalapeños cortados (Howard y Hernández-Brenes, 1998) durante el almacenamiento a 4 °C.

En pimientos rojos dulces frescos cortados, Raffo et al. (2008) informaron que a una temperatura de 4 °C se produjo menor pérdida de agua, menor acumulación de carotenoides y compuestos fenólicos y mayor retención de los niveles de ácido ascórbico que a 8 °C.

El corte es uno de los factores de estrés físico involucrados en la preparación de los productos frescos cortados que produciría señales que se propagan desde la zona cortada al tejido adyacente no dañado e inducen la síntesis de novo de proteínas específicas inducidas por el daño, por ejemplo, las enzimas del metabolismo fenólico (Saltveit, 2000), esto es, las enzimas involucradas en la síntesis y consumo de los compuestos fenólicos. Una de ellas es la fenilalanina-amonio-liasa (PAL) que es la enzima clave entre los metabolismos primario (vía del siquimato) y secundario (metabolismo fenilpropanoide) (Dixon y Paiva, 1995). Uno de los productos de la vía del ácido siquímico (de biosíntesis fenólica) es la fenilalanina que entra al metabolismo secundario cuando la PAL cataliza su desaminación produciendo ácido cinámico. Por otra parte, la polifenoloxidasa (PPO) y la peroxidasa (POX) son enzimas involucradas en la degradación oxidativa de compuestos fenólicos, adquiriendo importancia en cuanto a la calidad de los alimentos ya que llevan a la producción de polímeros pardos (melaninas). El principal agente responsable del pardeamiento enzimático en frutas y vegetales es la PPO, aunque no puede descartarse un posible efecto sinérgico entre PPO y POX (Tomás-Barberán y Espín, 2001).

Estudios previos han demostrado que el corte provoca un aumento en la actividad PAL, con su correspondiente incremento en el contenido fenólico en lechuga, zanahoria y jícama (Campos-Vargas y Saltveit, 2002; Heredia y Cisneros-Zeballos, 2009 a). En lechugas, la herida produce una señal que causa la transcripción del RNAm de la PAL y su traducción a PAL. El incremento de esta enzima lleva a la acumulación de compuestos fenólicos y al pardeamiento (Saltveit, 2000). En otros vegetales, como ser apio, cebollas rojas y blancas, también se ha reportado que el estrés por corte incrementó los fenoles totales durante el almacenamiento. Sin embargo otros tejidos no presentaron cambios (pimientos dulces, espárragos, repollo, tomates, nectarinas, rabanitos y papas) o tuvieron una reducción del contenido fenólico (manzanas y peras), demostrando en general que el estrés no los afectó a nivel genético. No obstante, la falta de respuesta podría deberse a que ocurran en igual proporción la síntesis y degradación de fenoles, mientras que la disminución del contenido fenólico podría relacionarse a una mayor degradación de los mismos (Heredia y Cisneros-Zeballos, 2009 a).

En algunos tejidos, la herida induce la vía de los fenilpropanoides conduciendo a la acumulación intracelular de fitoalexinas y a la polimerización extracelular de

compuestos fenólicos, por ejemplo, lignificación, proporcionando barreras al ingreso de microorganismos (Dixon y Paiva, 1995). Una vez que los agentes microbianos superan estas barreras y rompen las células vegetales, la actividad de la polifenoloxidasas (PPO) desvía los compuestos fenólicos a la producción de quinonas, ayudando a la muerte celular y proporcionando barreras adicionales (de compuestos fenólicos polimerizados) a la infección secundaria (Thiyapong y Steffens, 1997).

Ke y Saltveit (1989) asociaron el incremento de la actividad peroxidasa (POX) con la lignificación de la pared celular en respuesta al corte porque esta enzima está involucrada en la ruta lignina específica.

II.2. OBJETIVO

No hay estudios de los cambios que produce el procesamiento mínimo sobre la calidad sensorial, microbiológica y nutricional ni sobre las enzimas relacionadas con el metabolismo fenólico en pimientos Cherry. En este capítulo se evalúa el efecto del corte en los parámetros fisicoquímicos, analizando los cambios en la calidad y las propiedades antioxidantes de pimientos enteros y cortados durante el almacenamiento a 10 °C. Además se analiza la respuesta inmediata al corte de las enzimas PAL, PPO y POX.

II.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para llevar a cabo las experiencias de estudio del efecto del estrés por corte se utilizaron pimientos Cherry rojo-rojo intenso (100% rojo) con contenido de carotenoides totales inicial de 240-280 μg β -caroteno/g tejido fresco.

II.3.1. Selección del tipo de corte

Con el objetivo de seleccionar el tipo de corte, se efectuaron observaciones organolépticas de los frutos determinando el índice de apariencia general., calculado según se indicó en materiales y métodos, cuyos resultados se muestran en la Fig. II.1. En ella puede verse que el aspecto general de los pimientos enteros prácticamente no varió a lo largo del almacenamiento, alcanzando al cabo de 10 días a 10 °C una apariencia general buena ($I = 2$). En tanto que los frutos cortados mostraron una disminución paulatina de su calidad, siendo aún comercializables a los 6 días de almacenamiento y alcanzando a los 10 días un índice entre bueno y regular ($I = 2,5 - 2,7$). La menor calidad observada en los pimientos cortados se debió en parte a la ligera deshidratación observada en la zona del corte, además de la incidencia que tuvo el ataque por hongos (Tabla II.1.).

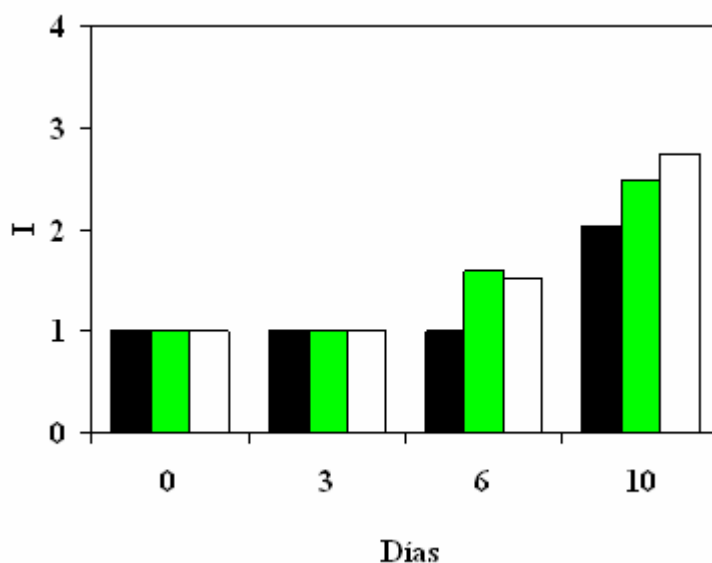


Fig. II.1. Índice de apariencia general (I) en pimientos Cherry enteros (■), descorazonados (■) y cortados en mitades (□) durante el almacenamiento por 10 días a 10 °C. ($\text{LSD}_{0,05} = 1,2$).

Tabla II.1. Cambios en el porcentaje de frutos atacados por hongos (%H) en pimientos Cherry enteros (E), descorazonados (D) y cortados en mitades (M) almacenados durante 10 días a 10 °C. (LSD_{0,05} = 9).

Tipo de corte	Tiempo (días)	
	0	10
E	0	4
D	0	8
M	0	47

Con respecto a la presencia de hongos en el producto, se puede observar en la Tabla II.1. su mayor incidencia en los frutos cortados en mitades al cabo de 10 días a 10 °C (aproximadamente 50% de los frutos), no encontrándose pimientos atacados por podredumbres en ninguna de las tres formas de presentación. Dado el mayor deterioro sufrido por los frutos cortados en mitades, se continuaron las experiencias con un solo tipo de corte (pimientos descorazonados).

II.3.2. Estrés por corte. Calidad

El parámetro luminosidad (L^*) de los pimientos Cherry inicialmente tuvo valores de $35,6 \pm 1,0$ (Fig. II.2. a.), siendo próximos a los reportados para pimientos cv. Zafiro 90% rojos (Vicente et al., 2005 b). Durante el almacenamiento a 10 °C la luminosidad permaneció prácticamente constante en los pimientos enteros, no encontrándose diferencias significativas con los descorazonados hasta el día 8 de almacenamiento, donde estos últimos mostraron un valor ligeramente menor (2,5%). El parámetro a^* siguió una evolución similar (Fig. II.2.b.), para ambas presentaciones. En cuanto al parámetro b^* , el mismo prácticamente no presentó variaciones para ninguno de los cortes estudiados (datos no mostrados). La no variación de los parámetros de color superficial observada podría deberse al elevado grado de madurez de los frutos empleados en estas experiencias.

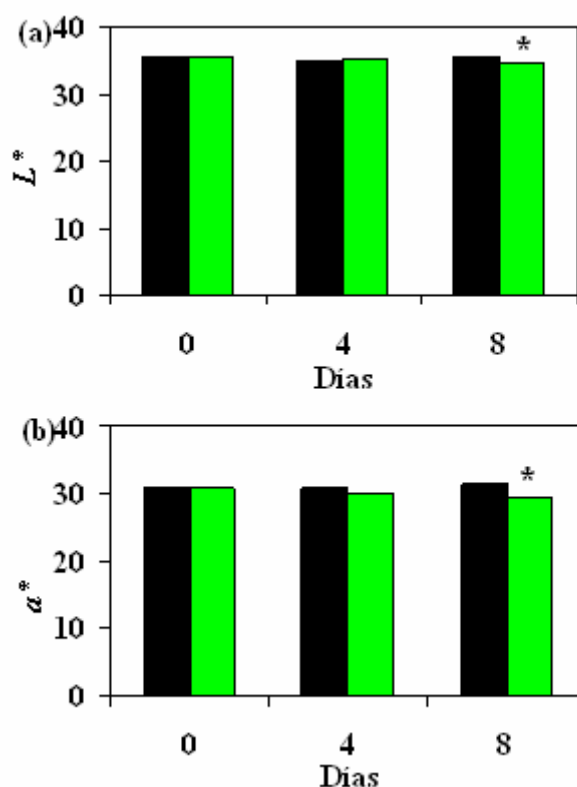


Fig. II.2. Cambios en (a) luminosidad (L^*) y (b) valor a^* de frutos enteros (■) y descorazonados (■) almacenados por 10 días a 10°C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. ($LSD_{L^*} = 0,46$; $LSD_{a^*} = 1,14$).

Los pimientos son frutos que generalmente muestran una baja actividad respiratoria, tanto en estadios verde como 100% rojo (Barth et al., 2004). En los pimientos Cherry enteros los niveles iniciales de producción de CO_2 fueron de $32,26 \pm 2,07 \mu L/h.g$, valor que no cambió significativamente durante el almacenamiento a 10 °C (Figura II.3.), resultados coincidentes con los reportados por otros autores para otras variedades de pimientos almacenados a temperaturas superiores a los 8 °C (González-Aguilar et al., 1999).

Uno de los cambios promovidos como respuesta al daño durante la preparación de los vegetales frescos cortados es el incremento de la actividad respiratoria (Beaulieu y Gorny, 2003). Inmediatamente después del corte, la actividad respiratoria de los pimientos incrementó un 39% comparándola con los frutos enteros, continuando su aumento hasta el final del ensayo alcanzando niveles 4 veces superiores al inicial, probablemente debido al deterioro observado (Fig. II.3.). Un comportamiento similar fue informado por Kang y Lee (1997) para pimientos chiles verdes almacenados durante

6 días a 10 °C, al igual que lo reportado por El-Bassuoni y Cantwell (1994) en pimientos dulces rojos y verdes cortados.

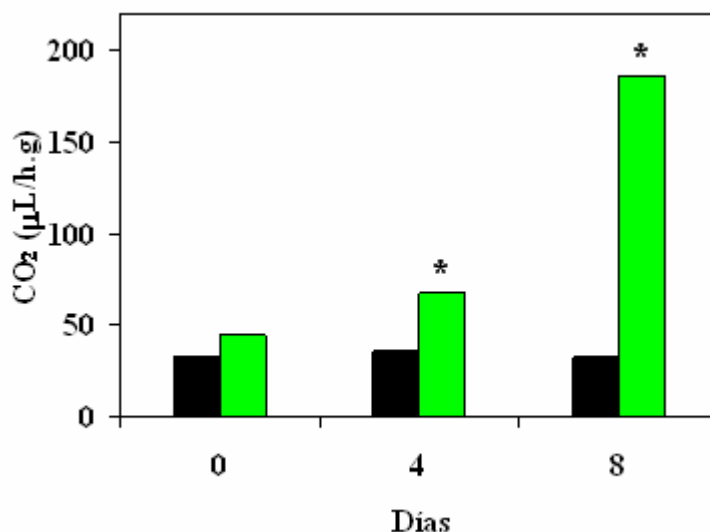


Fig. II.3. Cambios en la actividad respiratoria de pimientos enteros (■) y descorazonados (■) almacenados por 10 días a 10°C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. (LSD_{0,05} = 28,99).

Los principales azúcares encontrados en pimientos son glucosa, fructosa y en menor grado sacarosa influyendo en el sabor de los frutos. Los valores iniciales de azúcares totales fueron $1,87 \pm 0,08$ g glucosa/100g tejido fresco, manteniéndose estos niveles invariables en los pimientos enteros durante los 10 días de almacenamiento a 10 °C. Como se muestra en la Fig. II.4., el corte de los pimientos no provocó variaciones en los contenidos de azúcares totales, aunque sería de esperar que los azúcares hubieran disminuido ante el aumento de la actividad respiratoria detectada. En pimientos cortados en cubos, Conesa et al. (2007 b) no encontraron cambios en los azúcares totales después de 10 días a 5 °C, relacionándolo a una baja tasa respiratoria. Por otra parte, Raffo et al. (2007) informaron que los contenidos de los azúcares (glucosa y fructosa) en pimientos rojos enteros fueron prácticamente constantes durante 21 días a 7,5 °C, mientras en otras experiencias con pimientos rojos cortados encontraron un incremento significativo en los azúcares al almacenarlos por 9 días a 8 °C (Raffo et al., 2008). Ese aumento en los azúcares fue atribuido a un efecto de concentración asociado a la pérdida de agua, aunque en nuestras experiencias la deshidratación fue leve.

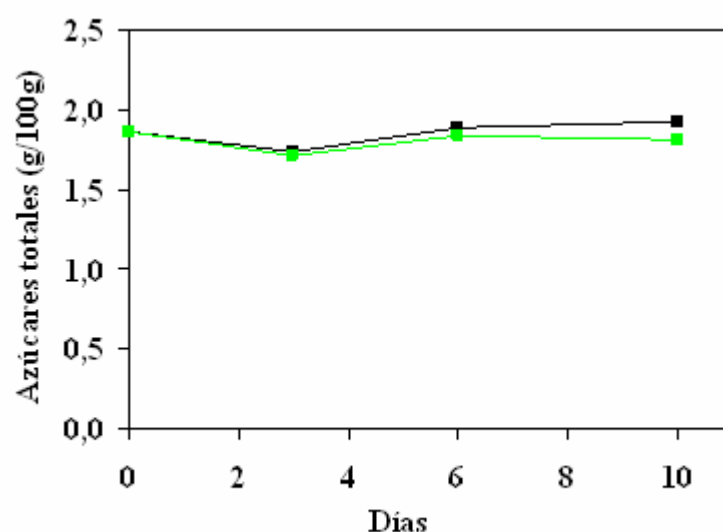


Fig. II.4. Evolución del contenido de azúcares totales de pimientos enteros (■) y descorazonados (■) almacenados por 10 días a 10°C. (LSD_{0,05} = 0,1).

En los frutos enteros, la firmeza prácticamente no tuvo cambios durante el almacenamiento a 10 °C, aunque, en pimientos Zafiro 90% rojos Vicente et al. (2005 b) informaron un descenso de firmeza a los 12 días de almacenamiento. Por otra parte, los pimientos descorazonados tuvieron una ligera tendencia a ablandarse alcanzando un valor 13% inferior que en los frutos enteros a los 8 días de almacenamiento (Fig. II.5.) lo que podría estar relacionado parcialmente con la ligera deshidratación observada.

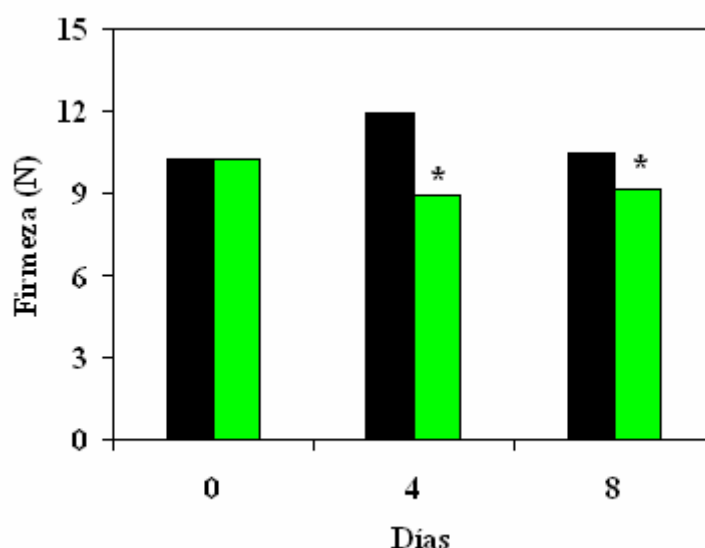


Fig. II.5. Cambios en la firmeza de pimientos enteros (■) y descorazonados (■) almacenados por 10 días a 10°C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. (LSD_{0,05} = 1,16).

González-Aguilar et al. (2004) encontraron una continua disminución de la textura de pimientos verdes cortados y almacenados en MAP durante 14 días a 10 °C, relacionando la pérdida de firmeza con el desarrollo fúngico. Toivonen y Stan (2004) también reportaron una reducción de la firmeza en pimientos verdes cortados almacenados en atmósfera modificada a 10 °C por 10 días.

Tabla II.2. Valores de acidez titulable (g ácido cítrico/100 g tejido fresco) y pH de pimientos Cherry enteros (E) y descorazonados (D) almacenados durante 10 días a 10 °C.

		Tiempo (días)	
		0	10
Acidez titulable (g/100 g)	E	0,24	0,25
(LSD _{0,05} = 0,04)	D	0,24	0,26
pH	E	5,45	5,38
(LSD _{0,05} = 0,19)	D	5,45	5,33

Como se observa en la Tabla II.2., los pimientos Cherry presentaron valores iniciales de acidez titulable de $0,24 \pm 0,01$ g ácido cítrico/100 g y de pH de $5,45 \pm 0,08$, que se mantuvieron invariables a los 10 días de almacenamiento refrigerado sin existir diferencias significativas entre frutos enteros y descorazonados. Asimismo, Vicente et al. (2005 b) informaron en pimientos 90% rojos cv. Zafiro enteros, que el valor de pH permaneció constante hasta los 12 días de almacenamiento a 10 °C pero después descendió sugiriendo un mayor daño del tejido. Por su parte, durante el almacenamiento a 10 °C, Sgroppo y Montiel (2004) encontraron un incremento de los valores de acidez y una disminución del pH para pimientos rojos cortados de otras variedades cultivadas en la zona.

Los pimientos Cherry 100% R utilizados para realizar los ensayos de almacenamiento tuvieron inicialmente un contenido de carotenoides totales expresados como β -caroteno de 276 ± 9 µg/g tejido fresco (Fig. II.6.a.). Durante el almacenamiento a 10 °C, los niveles de carotenoides aumentaron ligeramente (un 8%) en los frutos enteros, aunque este incremento no se vio reflejado en la evolución del color superficial. En los ensayos con pimientos descorazonados, los contenidos de pigmentos no variaron significativamente respecto de los frutos enteros.

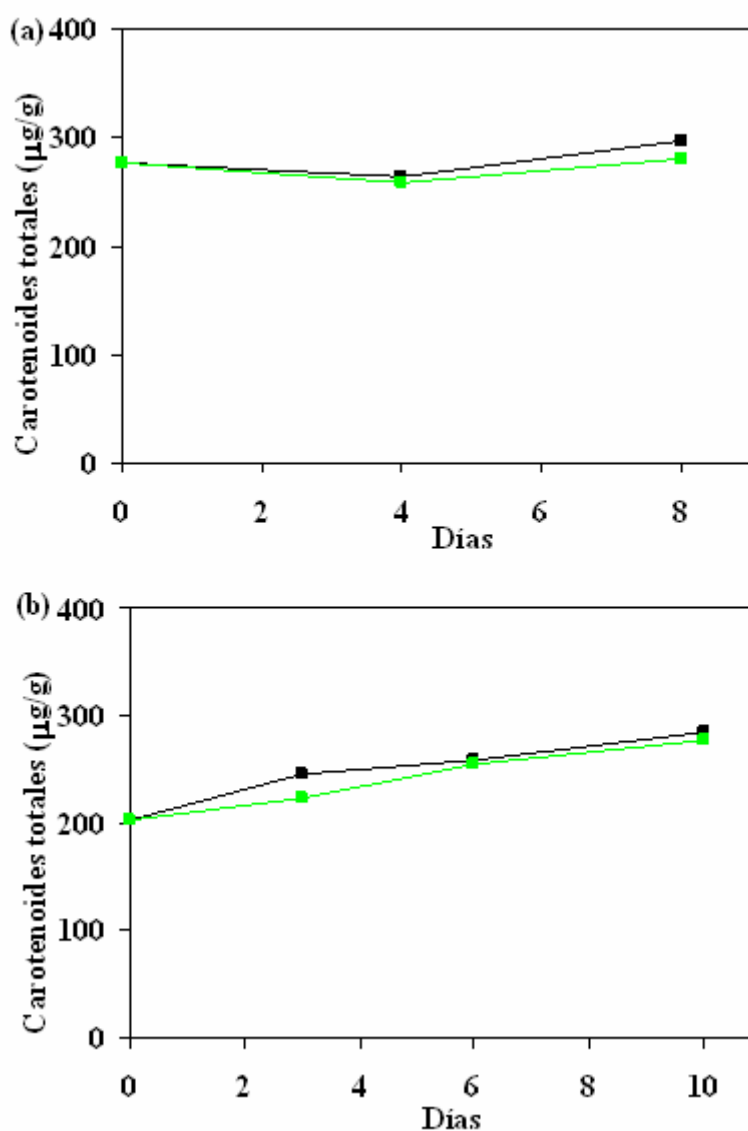


Fig. II.6. Cambios en el contenido de carotenoides totales de pimientos (a) 100% rojos y (b) 90% rojos, enteros (■) y descorazonados (■) durante el almacenamiento a 10 °C. ($LSD_{(a)} = 16$; $LSD_{(b)} = 23$).

En otras experiencias realizadas con frutos 90% R que contenían inicialmente 204 ± 4 µg β-caroteno/g se observó un aumento del 40% durante el almacenamiento de pimientos enteros, presentando los frutos descorazonados una evolución similar (Fig. II.6.b.). Vicente et al. (2005 b) para otro cultivar de pimientos 90% rojos también informaron de un incremento en el contenido de carotenoides a los 12 días de almacenamiento refrigerado.

El nivel de fenoles totales inicial fue de $3,90 \pm 0,20$ mg ácido clorogénico/g tejido fresco en los pimientos enteros, no existiendo diferencias significativas con respecto al

contenido inicial de los frutos descorazonados. Posteriormente, los valores de fenoles totales no tuvieron cambios significativos durante el almacenamiento a 10 °C para las dos condiciones de ensayo (frutos enteros y descorazonados) (Fig. II.7.). Resultados similares se reportaron para pimientos rojos cv. Festos cortados en tiras (Sgroppo et al., 2005), mientras que en pimientos verdes cortados, Toivonen y Stan (2004), encontraron un descenso en el nivel de fenoles totales a los 10 días de almacenamiento a 7 °C. Por otra parte, Heredia y Cisneros-Zeballos (2009 b), informaron en zanahorias un efecto notorio en el contenido de fenoles totales dependiente de la intensidad del estrés por corte.

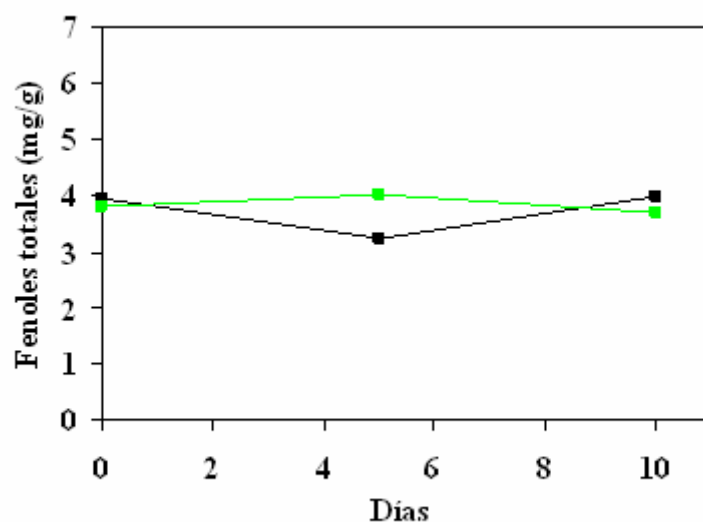


Fig. II.7. Evolución del contenido de fenoles totales de pimientos enteros (■) y descorazonados (■) durante el almacenamiento a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 0,2$).

Los flavonoides se encuentran ampliamente distribuidos en las plantas y se caracterizan por sus propiedades antioxidantes, antialérgicas y antiinflamatorias (Perucka y Materska, 2001). Como se observa en la Fig. II.8., los frutos enteros presentaron inicialmente una concentración de flavonoides totales de $18,8 \pm 0,5$ mg catequina/100 g tejido fresco. A los 5 días de almacenamiento a 10 °C los flavonoides no variaron respecto del valor inicial y descendieron un 10% al día 10. Asimismo, Raffo et al. (2007) y Andrade Cuvi (2008) informaron una disminución en pimientos rojos enteros a los 7 días de almacenamiento a 7,5 °C y a 0 °C respectivamente.

El corte no afectó la concentración inicial de los flavonoides totales en los pimientos Cherry pero, durante el almacenamiento, los frutos descorazonados mostraron una

disminución del 15% al día 5, aunque a los 10 días esos niveles se incrementaron alcanzando un valor similar al inicial y 10% mayor que los pimientos enteros (Fig. II.8.). Raffo et al. (2008) informaron una acumulación de flavonoides glicosilados en pimientos “Peperone Cornetto di Pontecorvo” rojos cortados en tiras hasta los 6 días de almacenamiento a 8 °C en respuesta al corte, aunque al día 9 tuvo el valor inicial.

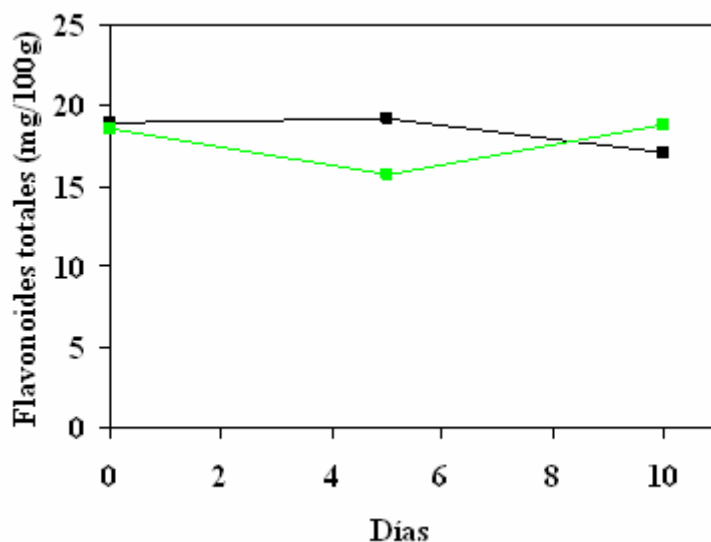


Fig. II.8. Cambios en los niveles de flavonoides totales de frutos enteros (■) y descorazonados (■) durante el almacenamiento de 10 °C. ($LSD_{0,05} = 0,9$).

El contenido en ácido ascórbico inicial fue de $62,7 \pm 1,7$ mg ácido ascórbico/100g tejido fresco y permaneció prácticamente constante a lo largo del período de almacenamiento de los pimientos enteros (Fig. II.9.). Hussein et al. (2000) no encontraron cambios en el contenido de vitamina C en pimientos verdes almacenados a 4 °C. Por su parte, Toor y Savage (2006) hallaron una relativa estabilidad del contenido de ácido ascórbico en tomates almacenados a 7 °C, relacionando esta estabilidad con la acidez y el contenido de fenoles y flavonoides del tejido. Asimismo, Marín et al. (2004) informaron que los valores de pH en los pimientos dulces rojos maduros son adecuados para la estabilidad del ácido ascórbico, mientras Raffo et al. (2007) encontraron un ligero incremento del contenido de ácido ascórbico de pimientos rojos enteros almacenados por 21 días a 7,5 °C.

El corte no tuvo efecto sobre la concentración inicial del ácido ascórbico en los frutos Cherry descorazonados, presentando valores similares a los pimientos enteros. Así

como tampoco hubo variaciones significativas durante el almacenamiento en los frutos descorazonados, no diferenciándose de los pimientos enteros (Fig. II.9.). González-Aguilar et al. (2004) determinaron que en pimientos verdes cv. Wonder cortados los contenidos de ácido ascórbico se mantenían constantes durante el almacenamiento a 10 °C, mientras Raffo et al. (2008) encontraron un incremento en el contenido de ácido ascórbico de pimientos rojos cortados almacenados a 8 °C, y Hussein et al. (2000) informaron una caída del contenido de vitamina C en pimientos verdes cortados en tiras almacenados a 4 °C.

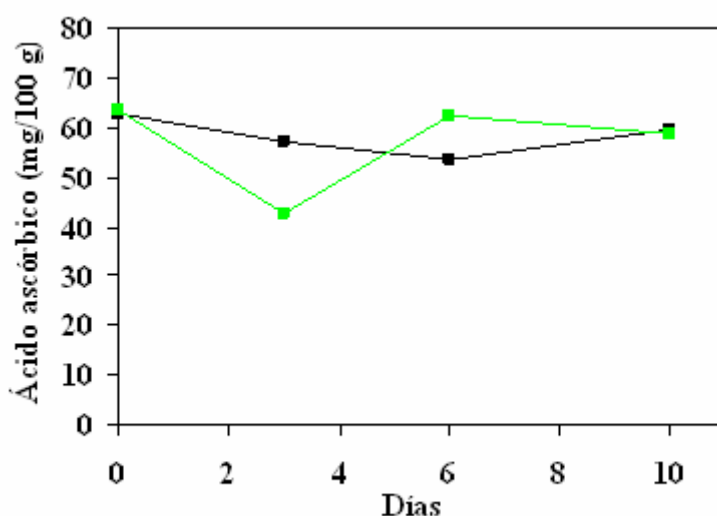


Fig. II.9. Cambios en el contenido de ácido ascórbico de pimientos enteros (■) y descorazonados (■) durante el almacenamiento a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 6,1$).

El poder antirradical expresado como EC_{50}^{-1} y determinado por medio del radical cromógeno DPPH•, tuvo un valor inicial de $27,1 \pm 1,9$ mg tejido fresco. La actividad antirradicalaria de los frutos enteros no presentó variaciones significativas durante el almacenamiento refrigerado (Fig. II.10.), al igual que lo observado por Vicente et al. (2005 b) para otra variedad de pimientos dulces enteros (cv. Zafiro) durante el almacenamiento a la misma temperatura.

Inmediatamente después de efectuado el corte, el valor de EC_{50}^{-1} no tuvo cambios significativos. Posteriormente, durante el almacenamiento, el poder antirradical permaneció prácticamente constante y sin presentar diferencias significativas con respecto a los valores de los frutos enteros hasta el final del mismo (Fig. II.10.). En ensayos efectuados con pimientos rojos cv. Margarita cortados en cubos, se encontró

que la actividad antioxidante descendió más del 20% del valor inicial a los 7 días de almacenamiento a 11 °C (Sgroppo y Montiel, 2004).

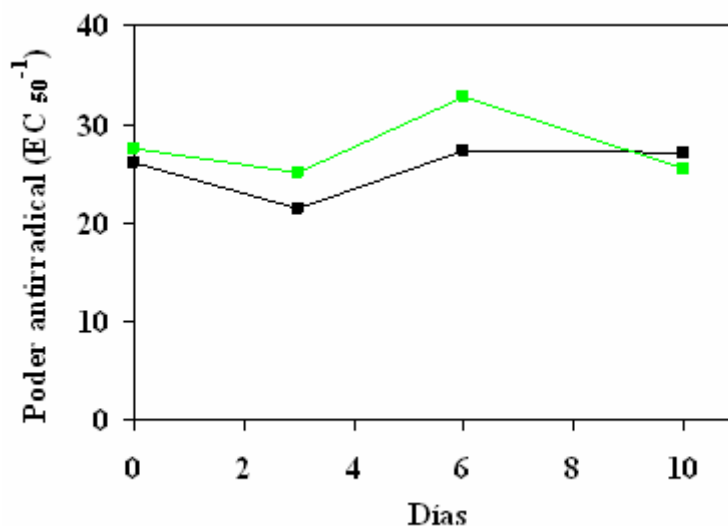


Fig. II.10. Cambios en la actividad antirradical de frutos enteros (■) y descorazonados (■) durante el almacenamiento de 10 °C. (LSD_{0,05} = 8,4).

De acuerdo a los resultados obtenidos, es evidente que al finalizar los ensayos la actividad antioxidante de los pimientos enteros y descorazonados prácticamente no tuvo cambios con respecto al valor inicial. Lana y Tijskens (2006), tampoco encontraron diferencias de la actividad antioxidante total, medida por el ensayo de inhibición de la peroxidación lipídica, entre tomates enteros y cortados durante el almacenamiento a temperaturas de refrigeración, sin embargo, Odriozola-Serrano et al. (2008) informaron una disminución en la capacidad antioxidante de tomates frescos cortados durante el almacenamiento. En tanto que en otros vegetales, tales como zanahorias, se tuvo una evolución similar de la capacidad antioxidante a la detectada en fenoles, siendo más notorio el incremento por el corte cuanto más intenso fue el mismo (Heredia y Cisneros-Zeballos, 2009 b).

II.3.3. Estrés por corte. Actividad de enzimas

En los pimientos Cherry descorazonados la actividad específica de la enzima fenilalanina-amonioliasa (PAL) tuvo inicialmente un valor de $43,91 \pm 2,15$ DO/h.g,

significativamente mayor que el encontrado en los frutos enteros ($12,40 \pm 0,67$ DO/h.g). Similares resultados fueron encontrados luego del corte en lechuga romana y pulpa de bananas (Chen et al., 2009; Campos-Vargas et al., 2005).

Con respecto a la actividad específica de la enzima polifenoloxidasas (PPO), los pimientos descorazonados presentaron un valor inicial de $17,60 \pm 1,12$ DO/min.g, mientras que la actividad enzimática fue menor en los frutos enteros ($5,71 \pm 0,52$ DO/min.g). Estos resultados son coincidentes con los encontrados en seis cultivares de lechugas que presentaron incrementos en la actividad PPO después del corte (Cantos et al., 2001).

Por otra parte, la actividad específica de peroxidasa (POX) de los pimientos descorazonados fue de $3712,69 \pm 82,86$ DO/min.g, valor no significativamente diferente al observado en los pimientos enteros ($3660,71 \pm 161,15$ DO/min.g). Sin embargo, en lechugas varios autores informaron del incremento la actividad de la peroxidasa en respuesta al estrés por corte (Cantos et al., 2001; Ke y Saltveit, 1989).

A pesar de que se observó un marcado incremento de la enzima PAL como respuesta inmediata al corte, no se encontraron cambios en los contenidos de compuestos fenólicos, lo cual podría deberse a que la PPO aumentó en similar proporción.

II.4. CONCLUSIONES

Durante 10 días de almacenamiento a 10 °C se mantuvo la calidad de los pimientos Cherry enteros presentando poca variación de los parámetros físico-químicos analizados, en tanto que en los frutos descorazonados se observó un aumento de la actividad respiratoria y mayor deterioro aunque conservaron muy bien su calidad por 6-7 días de almacenamiento a esa temperatura, sin detectarse cambios notorios en el contenido de azúcares, carotenoides, fenoles, flavonoides totales, ácido ascórbico y la actividad antirradical, mostrando marcados incrementos pero en similar proporción de las actividades iniciales de PAL y PPO. Dada la escasa variación en las características antioxidantes, no disminuiría la calidad nutricional del producto.

Los resultados sugieren que el pimiento Cherry podría comercializarse como pimiento fresco cortado en la forma descorazonada, en tanto que tratamientos complementarios a la refrigeración deben aplicarse para lograr periodos de almacenamiento mayores a los 6-7 días.

CAPÍTULO III

Efecto del tratamiento térmico

CAPÍTULO III

PARTE 1

Efecto del tratamiento térmico
sobre la calidad de pimientos Cherry
almacenados a 10 °C

III.1.1. INTRODUCCIÓN

Una característica importante de los vegetales mínimamente procesados es el rápido deterioro en calidad y la reducida vida media comparada con las frutas y vegetales enteros (Conesa et al., 2007 a).

La refrigeración durante el almacenamiento disminuye la actividad biológica y microbiológica y extiende la vida media, pero los productos continúan deteriorándose (Hampshire et al., 1987). Se ha demostrado que el tratamiento térmico por inmersión en agua en combinación con el envasado en atmósfera normal es efectivo para reducir la pérdida de calidad de pimientos enteros y cortados (González-Aguilar et al., 1999; Raffo et al., 2007, 2008).

Algunas de las características que definen un producto fresco cortado de buena calidad son: apariencia fresca, textura aceptable, buen sabor y olor, seguridad microbiológica y vida útil suficientemente larga que permita incluir al producto dentro de un sistema de distribución. Para poder asegurar su estabilidad, calidad organoléptica y nutricional debe conocerse la fisiología del fruto, tanto entero como cortado, además de todos aquellos componentes propios del producto original que pueden verse afectados por la manipulación y el almacenamiento (Martín-Belloso y Rojas Graü, 2005).

El tamaño, color y forma apropiados son criterios de calidad importantes; un olor característico es deseable pues indica madurez y refleja calidad de consumo (Bruhn, 2007).

Los pimientos son sensibles a las bajas temperaturas, el desarrollo de podredumbre, el ataque por hongos (*Botrytis cinerea* y *Alternaria alternata*) y la pérdida de agua (Smith et al., 2006).

Durante el procesamiento mínimo, la rotura del tejido por el corte supone un incremento de la respiración y transpiración que conducen a un rápido deterioro del producto con la consecuente pérdida de sus características sensoriales y nutricionales (Martín-Belloso y Rojas Graü, 2005). En pimientos Festos 100% rojos cortados en tiras almacenados a 10°C a los 11 días liberaron jugos (Sgroppo et al., 2005) y en pimientos verdes cortados, González-Aguilar et al. (2004) informaron de una disminución continua de la calidad total cuando se almacenaron a 10 °C envasados en MAP.

La pérdida de firmeza, debida principalmente a la acción de enzimas proteolíticas y pectolíticas sobre los componentes de la pared celular, es otro cambio muy evidente del deterioro de la calidad. Las células dañadas por el corte liberan estas enzimas que se difunden hacia el interior de los tejidos (Martín-Belloso y Rojas Graü, 2005).

El tratamiento térmico previene el deterioro de la calidad, ayuda a mantener la textura y las cualidades de color de los productos frescos cortados por más tiempo (Rico et al., 2007).

Muchas frutas y hortalizas enteras toleran la temperatura del agua entre 50 a 60 °C por más de 10 minutos (Barkai-Golan y Phillips, 1991). Fallik et al. (1999) ensayaron en pimientos dulces rojos un método de lavado y desinfección con cepillos utilizando agua caliente (50-60 °C) durante 12-28 segundos, encontrando como tratamiento óptimo las condiciones de 55 °C/12 s para mantener la calidad del fruto durante un almacenamiento prolongado (15 días a 7 °C más 4 días a 16-18 °C). Por su parte, González-Aguilar et al. (1999, 2000), informaron que la inmersión de pimientos verdes a 53 °C/ 4 min fue efectiva para reducir el decaimiento y aliviar el daño por frío durante 28 días de almacenamiento a 8 °C. Asimismo, Raffo et al. (2007, 2008) encontraron que ese tratamiento disminuyó el deterioro y no afectó notablemente los atributos organolépticos y nutricionales en pimientos rojos dulces enteros mientras que en los mismos frutos cortados se inhibió la acumulación de carotenoides y compuestos fenólicos sin afectar la degradación del ácido ascórbico durante el almacenamiento a 8 °C.

Se ha reportado que el tratamiento térmico no afectó o disminuyó la acidez, aumentó los azúcares y no afectó los sólidos solubles en diferentes frutos; ese efecto variable de los tratamientos térmicos sobre la acidez y los azúcares depende de la temperatura utilizada y del tiempo de exposición (Paull y Chen, 2000). Asimismo, durante el almacenamiento refrigerado de pimientos rojos se informó que un tratamiento por inmersión en agua prácticamente no afectó los azúcares o que los incrementó, dependiendo de si los frutos eran enteros o cortados y de las condiciones de almacenamiento (Raffo et al., 2007, 2008).

III.1.2. OBJETIVO

Evaluar el efecto de un tratamiento térmico por inmersión en agua sobre los parámetros de calidad y senescencia de pimientos enteros y cortados durante el almacenamiento a 10 °C.

III.1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para llevar a cabo las experiencias se utilizaron pimientos Cherry rojo-rojo intenso (100% rojo) con contenido de carotenoides totales inicial de 240-280 $\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$ tejido fresco.

III.1.3.1. Selección del tratamiento térmico a aplicar

III.1.3.1.1. Selección de las condiciones de temperatura y tiempo

En base a los trabajos mencionados anteriormente, se ensayó entonces la aplicación de tratamientos térmicos por inmersión en agua caliente siendo elegidas las condiciones de temperatura entre 50-60 °C y tiempos de exposición de 60-120 segundos, en las combinaciones señaladas en Materiales y Métodos. Se dejó un lote de pimientos como control en todas las experiencias.

Inicialmente (día 0 de almacenamiento), se observó una apariencia general muy buena ($I = 1$) y no hubo alteraciones evidentes en los frutos (enteros o cortados) luego de realizados los tratamientos térmicos (para las cinco combinaciones de temperatura/tiempo de exposición utilizadas).

En las Tablas III.1.1. y III.1.2. se presentan los valores de los índices de apariencia general y de los porcentajes de frutos con hongos y/o con podredumbres de los pimientos Cherry en función de los tipos de corte y tratamientos por inmersión efectuados durante el almacenamiento a 10 °C. En la Tabla III.1.1. se muestran los resultados para pimientos con contenidos inicial de carotenoides totales de $261,84 \pm 21,87 \mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$ y en la Tabla III.1.2. los correspondientes a frutos con $373,19 \pm 30,11 \mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$.

Tabla III.1.1. Cambios en los valores del índice de apariencia general (I) y del porcentaje de frutos atacados por hongos y/o podredumbres (% H+P) en pimientos Cherry ($261,84 \pm 21,87 \mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$) a los 12 y 16 días de almacenamiento a 10°C.

Corte/Tratamiento*	I		% H+P	
	12 días	16 días	12 días	16 días
EC	3,11	3,55	44	75
ET 50 °C/60 s	1,60	2,30	5	6
ET 55 °C/60 s	1,28	2,00	0	0
ET 55 °C/120 s	1,30	2,06	0	0
ET 55 °C/180 s	1,33	2,06	0	0
ET 60 °C/60 s	1,73	2,35	0	6
DC	2,63	3,19	26	39
DT 50 °C/60 s	1,80	2,48	5	18
DT 55 °C/60 s	1,47	2,21	0	6
DT 55 °C/120 s	1,50	2,24	5	11
DT 55 °C/180 s	1,49	2,23	5	10
DT 60 °C/60 s	1,98	2,54	5	10

*EC: enteros controles, ET: enteros tratados, DC: descorazonados controles, DT: descorazonados tratados. ($\text{LSD}_I = 0,06$; $\text{LSD}_{\% \text{H+P}} = 3,54$).

Como se observa en la Tabla III.1.1., tanto a los 12 como a los 16 días a 10 °C, los frutos enteros y descorazonados tratados térmicamente presentaron menor índice I (mejor apariencia general) y menor desarrollo de hongos y/o podredumbres que los correspondientes pimientos controles, aumentando ambos parámetros durante el almacenamiento. Esto es, los tratamientos térmicos ensayados disminuyeron la pérdida de calidad sensorial de los pimientos Cherry (enteros y cortados) y redujeron marcadamente el porcentaje (%) de frutos con hongos y/o con podredumbres. El tratamiento por inmersión a 55 °C/60 s fue el más efectivo en mantener la calidad organoléptica y evitar el crecimiento macroscópico de hongos en los pimientos enteros almacenados a 10°C durante 16 días. Por otra parte, para los frutos descorazonados tratados, también fue el tratamiento más efectivo en reducir la pérdida de calidad sensorial y el ataque por hongos y/o podredumbres.

Tanto para frutos enteros como cortados, se obtuvieron similares resultados en los tratamientos por inmersión en agua caliente a 55 °C durante los diferentes tiempos

ensayados (60, 120 y 180 segundos). Sin embargo, se detectó una menor calidad sensorial para los ensayos realizados con tratamientos térmicos a otras temperaturas (50 °C y 60 °C por 60 segundos). Si bien, la mayoría de los pimientos dulces rojos tratados a 60 °C/30 s sufrieron daño térmico (Fallik et al., 1999), los pimientos Cherry tratados a 60 °C/60s sólo mostraron una ligera deshidratación (menos del 15% de los frutos).

Tabla III.1.2. Cambios en los valores del índice de apariencia general (I) y del % de frutos atacados por hongos y/o podredumbres (% H+P) en pimientos Cherry ($373,19 \pm 30,11 \mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$) a los 12 y 16 días de almacenamiento a 10 °C.

Corte/Tratamiento*	I		% H+P	
	12 días	16 días	12 días	16 días
EC	3,56	3,83	78	83
ET 50 °C/60 s	2,86	3,13	29	43
ET 55 °C/60 s	2,29	2,82	6	12
ET 55 °C/120 s	2,30	2,83	6	14
ET 55 °C/180 s	2,29	2,85	6	14
ET 60 °C/60 s	3,09	3,28	24	44
DC	3,53	4,00	76	100
DT 50 °C/60 s	3,46	4,00	61	95
DT 55 °C/60 s	3,28	3,89	28	77
DT 55 °C/120 s	3,29	3,92	31	77
DT 55 °C/180 s	3,29	3,92	29	77
DT 60 °C/60 s	3,44	4,00	58	86

*EC: enteros controles, ET: enteros tratados, DC: descorazonados controles, DT: descorazonados tratados. ($\text{LSD}_I = 0,07$; $\text{LSD}_{\% \text{ H+P}} = 6,24$).

Los pimientos Cherry con contenido de carotenoides totales entre 350 a 400 $\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$, como se observa en la Tabla III.1.2., mostraron mayor índice de apariencia general (menor calidad) y mayor desarrollo microbiano que los frutos con menor contenido de carotenoides (presentados en la tabla III.1.1.) para iguales combinaciones tipo de corte/tratamientos, y ya desde los 12 días de almacenamiento a 10 °C perdieron su calidad organoléptica ($I > 2$). A pesar de ello, los cinco tratamientos térmicos aplicados en frutos enteros permitieron reducir la pérdida de calidad organoléptica y el ataque de hongos y/podredumbres. Por su parte, en los frutos descorazonados sólo el

tratamiento a 55 °C redujo más notoriamente que el resto de los tratamientos el desarrollo de hongos y/o podredumbres a los 12 días, aunque al igual que el resto de los tratamientos no mejoró la calidad organoléptica de los frutos.

De acuerdo a estos resultados, se seleccionó el tratamiento por inmersión en agua a 55 °C/60 s para efectuar los ensayos posteriores. Además, se decidió trabajar con pimientos con contenido de carotenoides totales inferior a los 300 µg β-caroteno/g.

III.1.3.1.2. Selección del modo de aplicación del tratamiento térmico

Se ensayaron dos formas de aplicar el tratamiento:

- 1- Pimientos tratados-descorazonados: los frutos enteros fueron tratados térmicamente a 55 °C/60 s y después se los descorazonó;
- 2- Pimientos descorazonados-tratados: los frutos fueron descorazonados y luego sometidos al tratamiento por inmersión (55 °C/60 s).

Inmediatamente después del tratamiento, no presentaron diferencia en la apariencia general ni signos de deterioro, los frutos descorazonados controles y los pimientos tratados en las dos formas ensayadas según se describió en Materiales y Métodos.

El tratamiento 1 (pimientos tratados-descorazonados) dió como resultado frutos con una mejor apariencia durante el almacenamiento refrigerado, que los pimientos controles y los pimientos descorazonados y luego tratados (método 2). Además, este tratamiento redujo el ataque por hongos y/o podredumbres como se puede observar en la Fig. III.1.1.

Por otra parte, los pimientos tratados por el método 2 presentaron rupturas del tejido próximas a la zona de corte o en otras zonas de los frutos desde el día 4 (40% de frutos afectados) aumentando hacia el final del almacenamiento (53%). En base a estos resultados se seleccionó el tratamiento 1.

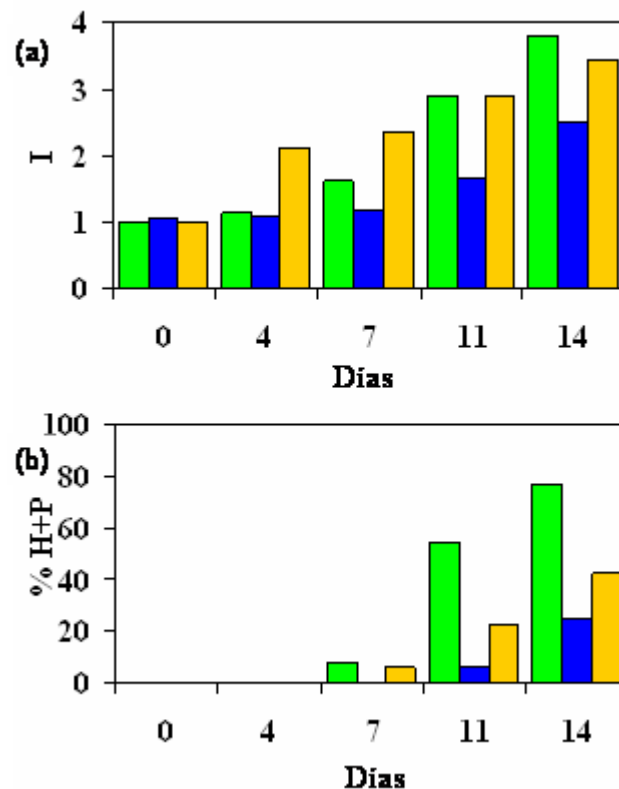


Fig. III.1.1. Cambios en (a) índice de apariencia general (I), (b) frutos deteriorados por hongos y/o podredumbres (% H+P), en pimientos Cherry descorazonados controles (■), tratados-descorazonados (■) y descorazonados-tratados (■), durante el almacenamiento a 10°C. ($LSD_I = 0,3$; $LSD_{\%H+P} = 6$).

III.1.3.2. Efecto del tratamiento térmico 55°C/60s sobre la calidad de pimientos Cherry almacenados a 10°C.

III.1.3.2.1. Calidad organoléptica

Los frutos enteros y descorazonados controles presentaron una buena apariencia general al día 8 de almacenamiento. Posteriormente, perdieron su calidad comercial ($I > 2$), debido principalmente a la creciente incidencia de hongos y/o podredumbres (Fig. III.1.2a. y III.1.2b.). Por su parte, los pimientos enteros tratados mantuvieron una muy buena apariencia general hasta el día 12 de ensayo, siendo aún comercializables hasta el día 15 ($I = 2$). Para los frutos descorazonados tratados se observó un comportamiento similar, presentando al final del almacenamiento un índice de apariencia general de valor 2,2. Sgroppo y Montiel (2004) observaron buen aspecto y color en pimientos cv.

Margarita 100% rojos trozados controles y tratados (55 °C/20 s) a los 7 días de almacenamiento a 11°C pero a los 8 días empezaron a mostrar exudado.

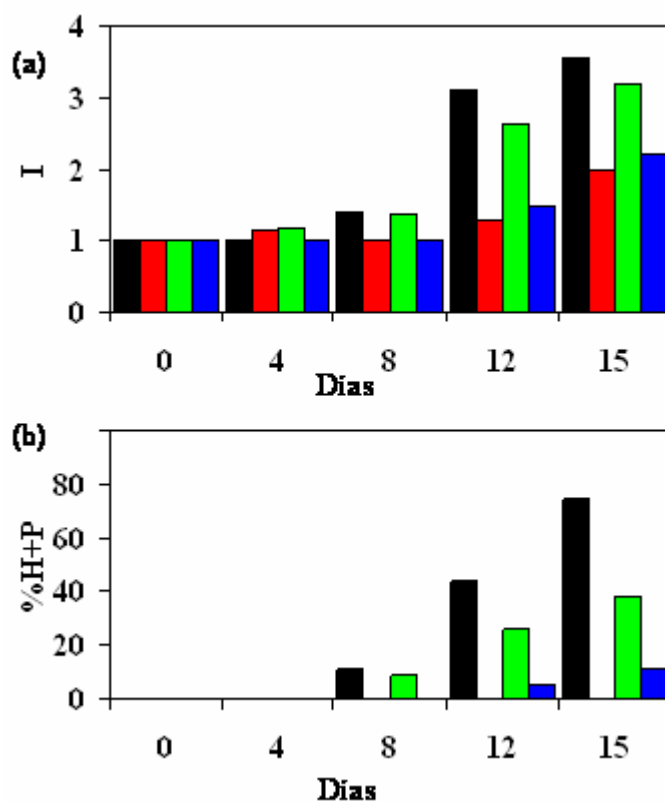


Fig. III.1.2. Cambios en (a) índice de apariencia general (I), (b) frutos deteriorados por hongos y/o podredumbres (% H+P), en pimientos Cherry enteros controles (■), enteros tratados (■), descorazonados controles (■) y descorazonados tratados (■), durante el almacenamiento a 10°C. (LSD_I = 0,3; LSD_{%H+P}=6.)

Como se observa en la Fig. III.1.2b., el porcentaje de frutos enteros y descorazonados controles afectados por hongos y/o podredumbres se incrementó continuamente a partir del día 8, existiendo menor porcentaje de frutos atacados por hongos y/o podredumbres en los pimientos descorazonados. Además en ambas presentaciones se observó principalmente crecimiento macroscópico de hongos. Por otra parte, en los frutos enteros tratados no hubo desarrollo de hongos ni de podredumbres hasta el final del almacenamiento, mientras que los pimientos descorazonados tratados presentaron un escaso ataque después del día 12 (del 10% o menor) principalmente por hongos.

III.1.3.2.2. Pérdida de peso

Como se observa en la Tabla III.1.3., en los pimientos enteros se observó una continua pérdida de peso durante el almacenamiento, presentando los frutos tratados valores no significativamente diferentes que los controles hasta alcanzar ambos al día 14 un valor similar y menor del 1,5%. Asimismo, Raffo et al. (2007) encontraron pérdidas menores que el 1% en pimientos rojos enteros almacenados por 21 días a 7,5 °C, produciendo el tratamiento térmico pérdidas ligeramente mayores. Por otra parte, los valores encontrados fueron similares a los informados por González-Aguilar et al. (1999) para pimientos verdes enteros controles y tratados almacenados por 28 días a 8 °C.

Tabla III.1.3. Cambios en los valores de pérdida de peso (%) de pimientos Cherry durante el almacenamiento a 10 °C.

Tipo de corte*	Tiempo (días)			
	0	5	10	14
EC	0,00	0,33	0,57	1,37
ET	0,00	0,37	0,70	1,28
DC	0,00	1,19	2,45	5,35
DT	0,00	1,17	1,84	3,03

*EC: enteros controles, ET: enteros tratados, DC: descorazonados controles, DT: descorazonados tratados. (LSD_{0,05} = 0,32).

Desde el día 5 de almacenamiento, los pimientos Cherry descorazonados mostraron una mayor pérdida de peso que los frutos enteros. Los cambios fueron más notorios en los pimientos controles que alcanzaron al día 14 un valor de 5,4% mientras que para los frutos descorazonados tratados fue del 3% (Tabla III. 1.3.). En otro cultivar de pimientos rojos cortados, Raffo et al. (2008) encontraron pérdidas de peso más marcadas durante el almacenamiento a 8 °C (más del 10 % del peso original), no existiendo diferencias significativas entre frutos controles y tratados (53 °C/4 min).

III.1.3.2.3. Color

El parámetro chroma y el valor a^* se mantuvieron constantes a lo largo del almacenamiento, sin haber diferencias significativas entre pimientos enteros controles y tratados. En cuanto al valor hue, no se observaron diferencias en el tiempo entre los frutos enteros controles y tampoco entre los pimientos enteros tratados, presentando éstos desde el día 8 valores ligeramente mayores que los controles. El parámetro L^* se mantuvo prácticamente constante a lo largo del almacenamiento tanto para frutos controles como para pimientos tratados. A partir del 8° día los frutos enteros tratados mostraron valores ligeramente mayores (menos del 3%) que los controles (Fig. III.1.3.). El valor b^* no varió durante el almacenamiento de los pimientos controles mientras que en los frutos enteros tratados se obtuvieron valores ligeramente superiores (9%) desde el día 8 (datos no mostrados). Los valores constantes en los parámetros de color podrían deberse a que se trabajó con frutos 100% rojos.

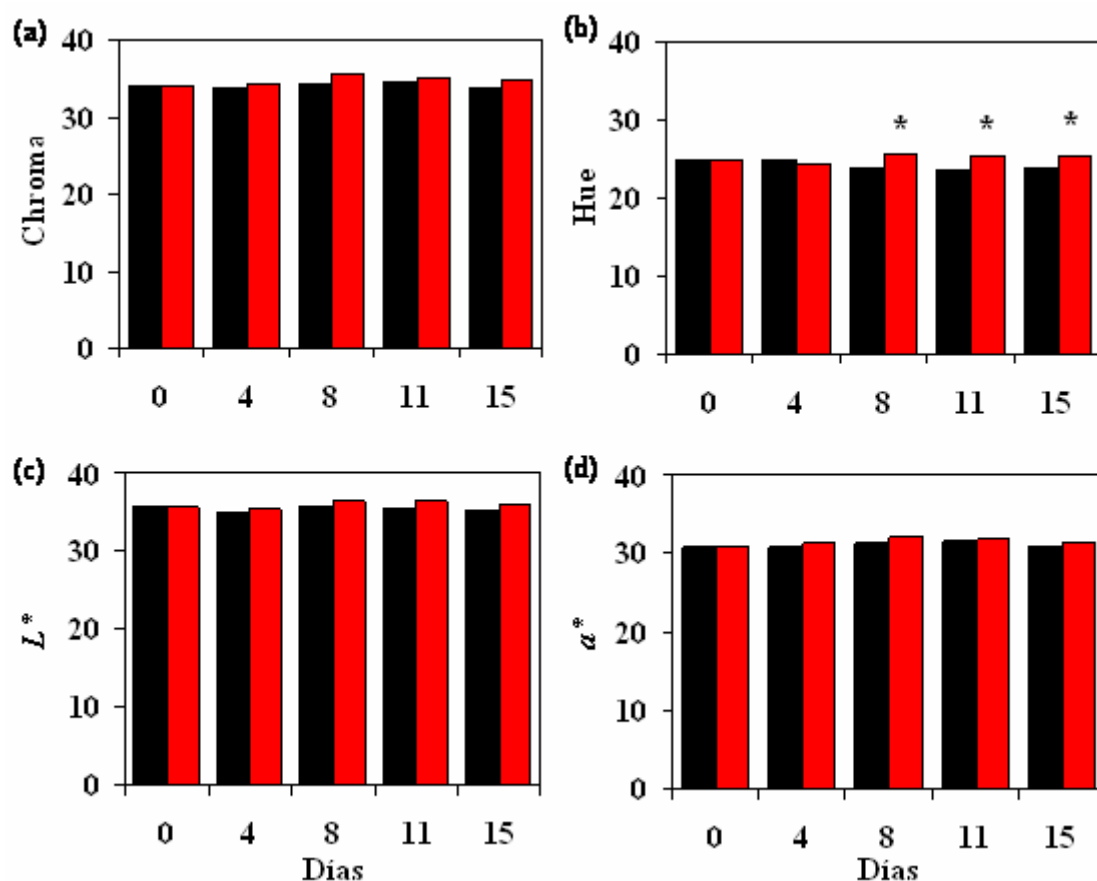


Fig. III.1.3. Evolución de los parámetros de color (a) chroma, (b) hue, (c) L^* y (d) a^* , de pimientos enteros controles (■) y enteros tratados (■) durante el almacenamiento a 10 °C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes controles. ($LSD_{chroma} = 1,36$; $LSD_{hue} = 0,56$; $LSD_{L^*} = 0,45$; $LSD_{a^*} = 1,18$).

Como se observa en la Fig. III.1.4., no se encontraron diferencias significativas entre los frutos descorazonados controles y tratados durante el almacenamiento para los parámetros chroma, hue, y para los valores a^* y b^* (datos no mostrados). Por su parte, la luminosidad L^* no varió en el tiempo tanto para pimientos descorazonados controles como para los tratados, quienes presentaron al día 8 de almacenamiento un valor ligeramente superior (4%) que los controles.

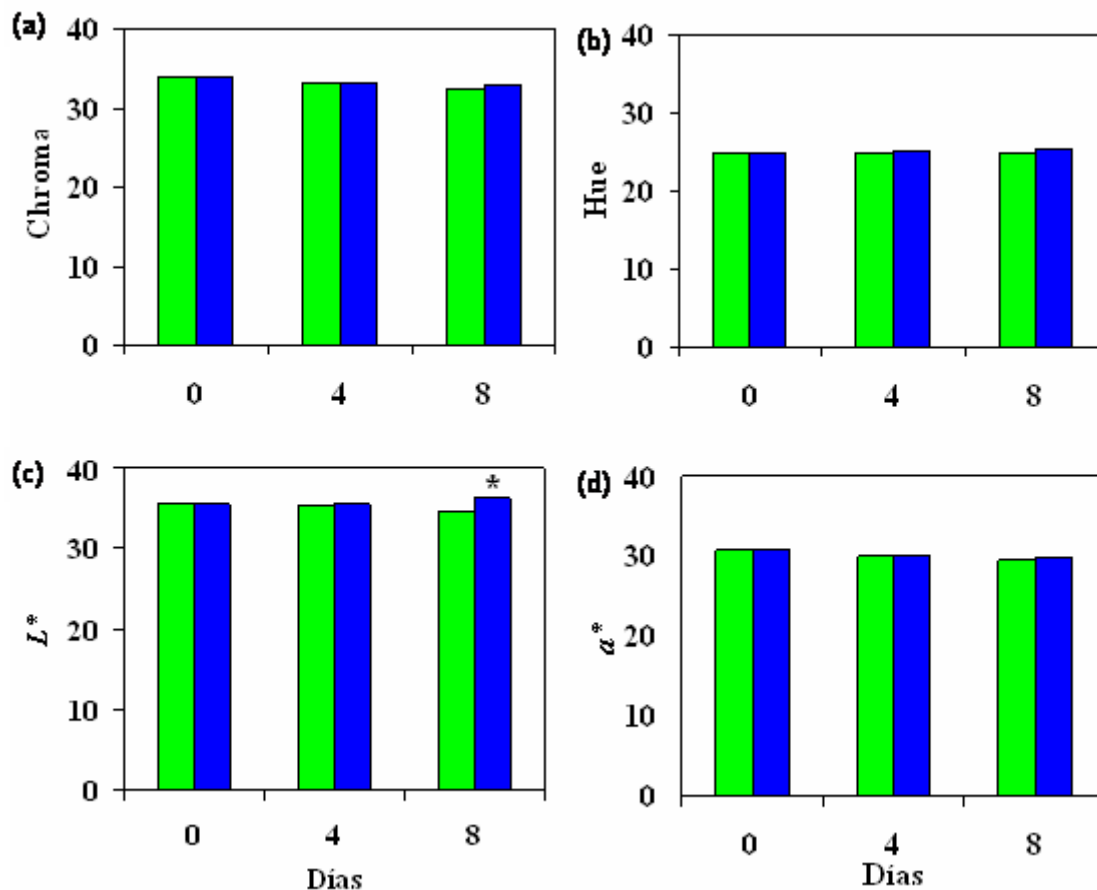


Fig. III.1.4. Evolución de los parámetros de color (a) chroma, (b) hue, (c) L^* y (d) a^* , de pimientos descorazonados controles (■) y descorazonados tratados (■) durante el almacenamiento a 10 °C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes controles. ($LSD_{chroma} = 1,30$; $LSD_{hue} = 0,61$; $LSD_{L^*} = 0,47$; $LSD_{a^*} = 1,12$).

III.1.3.2.4. Actividad respiratoria

La actividad respiratoria de los frutos enteros se mantuvo invariable hasta el día 11 de almacenamiento, mostrando un incremento de 1,5 veces a los 15 días, debido probablemente al deterioro de los frutos. Inmediatamente después del tratamiento térmico, los pimientos presentaron una caída del 60% en la producción de CO_2 , en tanto

que al día 4 aumentó para mantenerse constante y no significativamente diferente a los valores observados en los frutos enteros controles hasta el final del almacenamiento (Fig. III.1.5.). González-Aguilar et al. (1999), no encontraron efectos significativos del tratamiento térmico en pimientos verdes enteros durante el almacenamiento a 8 °C.

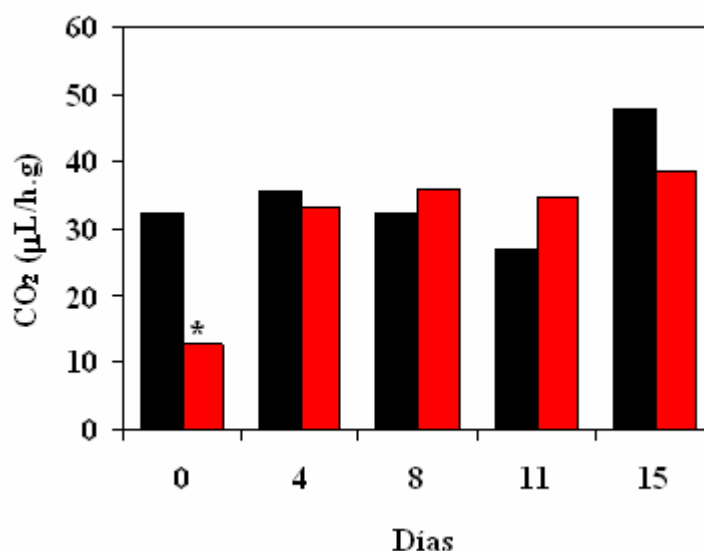


Fig. III.1.5. Evolución de la actividad respiratoria de pimientos enteros controles (■) y enteros tratados (■) durante el almacenamiento a 10 °C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes controles. (LSD_{0,05} = 10,37).

Por otra parte, como se observa en la Fig. III.1.6., el nivel inicial de producción de CO₂ de los pimientos descorazonados controles fue de $44,84 \pm 2,54$ µL/h.g, 1,4 veces mayor que el presentado por los frutos enteros controles al inicio del ensayo. En pimientos verdes y rojos, El-Bassuoni y Cantwell (1994) y Kang y Lee (1997), encontraron que el corte provocó un incremento de la actividad respiratoria.

Además, la actividad respiratoria de los pimientos descorazonados controles continuó aumentando durante el almacenamiento, alcanzando al día 8 un valor 4 veces mayor que el inicial.

Una vez tratados por inmersión y descorazonados, los frutos descorazonados tuvieron un valor mayor pero no significativamente diferente que los correspondientes frutos descorazonados sin tratamiento (control), aumentando al día 8 del almacenamiento a niveles notoriamente más reducidos que los pimientos descorazonados sin tratar.

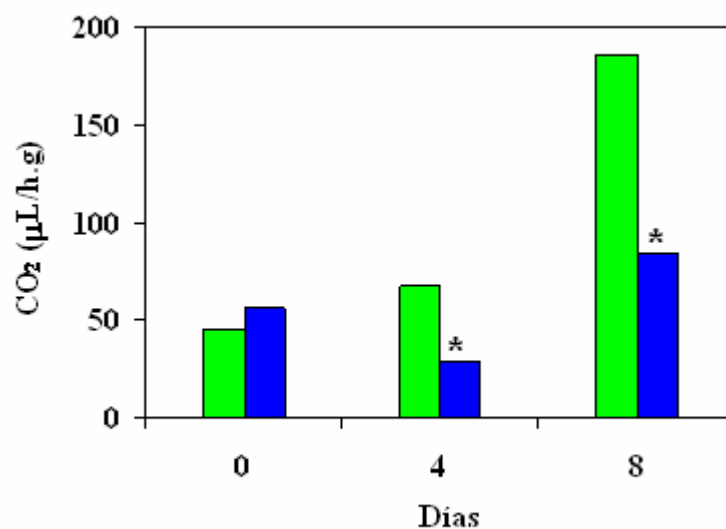


Fig. III.1.6. Cambios en la actividad respiratoria de pimientos descorazonados controles (■) y descorazonados tratados (■) durante el almacenamiento a 10 °C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes controles. (LSD_{0,05} = 30,82).

III.1.3.2.5. Textura

La textura, no mostró diferencias significativas entre los valores correspondientes a los pimientos enteros controles y tratados a lo largo del almacenamiento (Fig. III.1.7.), al igual que lo informado por Raffo et al. (2007) para otros pimientos.

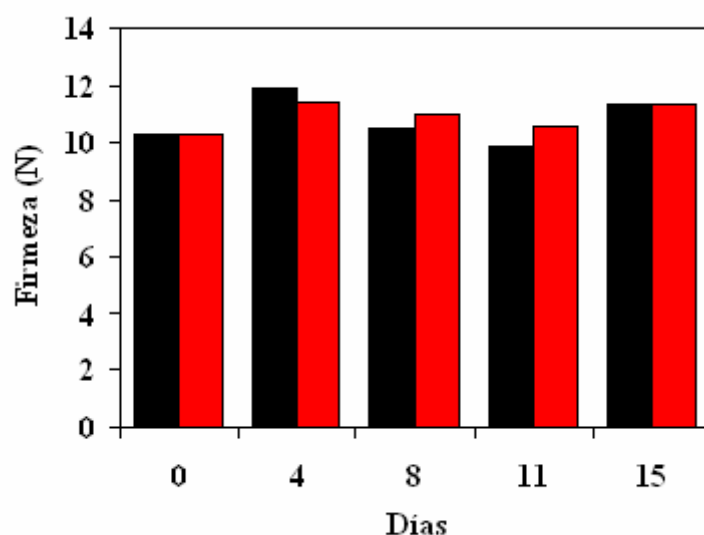


Fig. III.1.7. Evolución de la textura de pimientos enteros controles (■) y enteros tratados (■) durante el almacenamiento a 10 °C. (LSD_{0,05} = 0,8).

Como se observa en la Fig. III.1.8., los frutos descorazonados mostraron una ligera disminución de la firmeza a lo largo del almacenamiento, alcanzando al día 8 los pimientos tratados un valor 18% menor que los controles. Según Raffo et al. (2008) sería de esperar que la pérdida de peso que encontraron tanto en pimientos cortados controles como en tratados térmicamente fuera acompañada de una significativa degradación de atributos de textura.

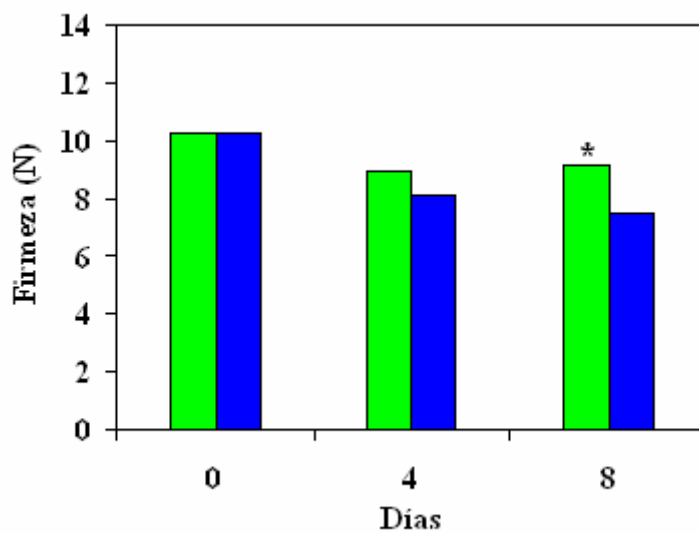


Fig. III.1.8. Cambios en la firmeza de pimientos descorazonados controles (■) y descorazonados tratados (■) durante el almacenamiento a 10 °C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes controles. ($LSD_{0,05} = 0,86$).

III.1.3.2.6. Acidez Titulable y pH

La acidez titulable en los pimientos enteros se mantuvo constante durante los 16 días de almacenamiento refrigerado, sin detectarse cambios como resultado del tratamiento térmico aplicado (Tabla III.1.4.). Sin embargo, para los frutos descorazonados controles la acidez aumentó ligeramente durante el ensayo, alcanzando al día 15 un valor 12% mayor que el inicial y un 13-18% mayor que las demás presentaciones (enteros controles y tratados, descorazonados tratados). Por su parte, en los pimientos descorazonados tratados la acidez no varió a lo largo del ensayo teniendo al día 15 un valor similar al presentado por los enteros controles y tratados al final del almacenamiento.

Tabla. III.1.4. Cambios en acidez titulable y pH de pimientos Cherry enteros controles (EC), enteros tratados (ET), descorazonados controles (DC) y descorazonados tratados (DT), durante el almacenamiento a 10°C.

Determinación		Tiempo (días)		
		0	8	15
Acidez titulable (g ácido cítrico/100 g) (LSD _{0,05} = 0,02)	EC	0,24	0,26	0,23
	ET	0,24	0,26	0,24
	DC	0,24	0,26	0,27
	DT	0,24	0,22	0,23
pH (LSD _{0,05} = 0,12)	EC	5,45	5,38	5,54
	ET	5,45	5,39	5,51
	DC	5,45	5,38	5,35
	DT	5,45	5,44	5,48

Como se observa en la Tabla III.1.4., el pH no varió durante el almacenamiento y no existieron diferencias significativas entre las cuatro presentaciones (enteros controles y tratados, descorazonados controles y tratados). Sgroppo y Montiel (2004) informaron un incremento de la acidez y una ligera disminución del pH de pimientos cortados cv. Margarita controles y tratados térmicamente a los 8 días de almacenamiento a 11°C y en pimientos Festos trozados (Sgroppo et al., 2005). Por su parte, Pilon et al. (2006) encontraron un incremento en el pH de pimientos verdes cortados y almacenados a 1°C. Estos autores relacionaron este incremento con la disminución de ácidos orgánicos.

III.1.3.2.7. Azúcares Totales

En los pimientos enteros controles, el contenido de azúcares totales no tuvo cambios durante el almacenamiento y el mismo comportamiento se observó en los pimientos tratados térmicamente, no existiendo diferencias significativas entre ambos durante el almacenamiento (Fig. III.1.9.). De la misma manera, Raffo et al. (2007) encontraron que el tratamiento térmico no afectó el contenido de glucosa y fructosa para pimientos dulces enteros almacenados a 7.5 °C.

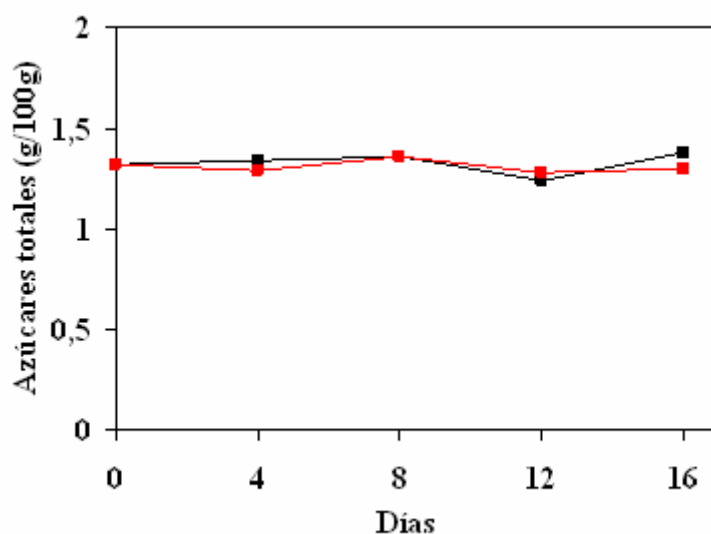


Fig. III.1.9. Evolución del contenido de azúcares totales de frutos enteros controles (■) y enteros tratados (■), durante el almacenamiento a 10 °C. Las barras verticales representan la desviación estándar. ($LSD_{0,05} = 0,07$).

En los pimientos Cherry descorazonados, los azúcares totales prácticamente no variaron hasta los 4 días de almacenamiento y luego disminuyeron ligeramente al día 8, tanto en los pimientos controles como en los tratados, sin distinguirse diferencias significativas entre ambos (Fig. III.1.10.), si bien Raffo et al., (2008) reportaron una ligera disminución del nivel de glucosa por efecto del tratamiento térmico en pimientos cortados almacenados a 8 °C. Al tiempo final de ensayo, el contenido de azúcares de los pimientos descorazonados controles fue similar al nivel inicial, mientras que en los descorazonados tratados fue un 10% más bajo que el valor inicial y el encontrado en el resto de las presentaciones (7% menor que el valor de los frutos descorazonados controles). Otros autores informaron un descenso en el nivel de los azúcares en pimientos cortados controles y tratados térmicamente al final del ensayo (Sgroppo y Montiel, 2004; Sgroppo et al., 2005).

Es probable que los valores ligeramente menores hallados en el contenido de azúcares en pimientos descorazonados se deba a la mayor actividad respiratoria observada a tiempo inicial y durante el almacenamiento.

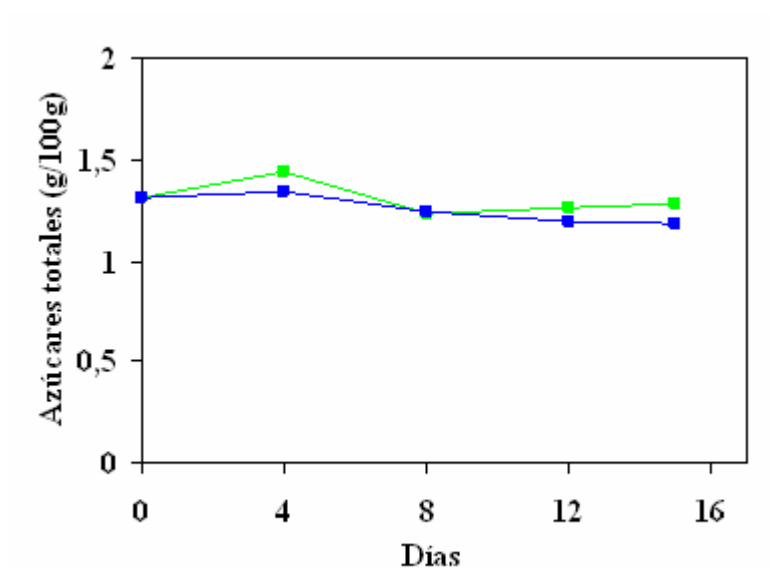


Fig. III.1.10. Evolución del contenido de azúcares totales de frutos descorazonados controles (■) y descorazonados tratados (■), durante el almacenamiento a 10 °C. Las barras verticales representan la desviación estándar. ($LSD_{0,05} = 0,07$).

III.1.4. CONCLUSIONES

El tratamiento térmico por inmersión en agua a 55 °C durante 60 segundos permitió mantener una buena apariencia general y redujo el ataque por hongos y/o podredumbres tanto en los pimientos Cherry enteros como en los descorazonados, prolongando sus periodos de almacenamiento refrigerado con respecto a los respectivos frutos controles. Asimismo, el tratamiento no afectó el resto de los parámetros analizados en los frutos enteros refrigerados. Por otra parte, en los pimientos descorazonados produjo una menor pérdida de peso y también menor actividad respiratoria y acidez, sugiriendo un retraso de la senescencia respecto a los frutos descorazonados sin tratar. Los resultados sugieren que el tratamiento térmico por inmersión en agua a 55 °C durante 60 segundos es efectivo para prolongar la vida postcosecha de pimientos Cherry frescos enteros y descorazonados, manteniendo su calidad organoléptica y dos de los parámetros relacionados con el sabor (acidez y azúcares).

CAPÍTULO III

PARTE 2

Efecto del tratamiento térmico
sobre los componentes antioxidantes
de los pimientos Cherry durante el
almacenamiento a 10 °C

III.2.1. INTRODUCCIÓN

La calidad de los vegetales frescos cortados se ve afectada por las condiciones de estrés producidas durante el procesamiento mínimo, el envasado y el almacenamiento (Hodges y Toivonen, 2008).

En productos enteros y frescos cortados los tratamientos térmicos pueden ser usados para prevenir trastornos fisiológicos que llevan a la pérdida de calidad frecuentemente relacionada con el metabolismo fenólico y el pardeamiento (Tomás-Barberán y Espín, 2001).

El tratamiento térmico puede inducir especies reactivas de oxígeno (EROs), seguido de la producción de enzimas secuestradoras de radicales libres, como ser, superóxido dismutasa (SOD), peroxidasa y catalasa (Holmberg y Bülow, 1998; Mittler et al., 2004). Gran parte de la capacidad antioxidante de frutas y hortalizas proviene de compuestos como vitamina C, vitamina E, β -caroteno y polifenoles. La capacidad total de neutralizar los radicales libres se conoce como capacidad antioxidante total. Los radicales libres son moléculas inestables que pueden interactuar e incluso modificar o dañar la estructura de lípidos, proteínas, ácidos nucleicos e hidratos de carbono (Valencia y Robles-Sardin, 2005).

Un antioxidante que es capaz de captar radicales libres reactivos, puede prevenir la oxidación de otras moléculas y tener como resultado efectos promotores de la salud en la prevención de enfermedades degenerativas (Kim et al., 2003).

Una de las consecuencias de la mayoría de las condiciones de estrés bióticos o abióticos es el incremento de la concentración celular de especies reactivas de oxígeno (EROs) que posteriormente son convertidas en peróxido de hidrógeno. Entre las situaciones de estrés se incluyen: el ataque por patógenos, el corte, el calor, las bajas temperaturas, la radiación ultravioleta (UV) y el ozono. Las EROs (oxígeno singulete, peróxido de hidrógeno, H_2O_2 , y radicales superóxido, $O_2^{\cdot-}$, e hidroxilo, HO^{\cdot}) son altamente reactivas y pueden dañar la membrana y otros componentes celulares. Se ha demostrado que el H_2O_2 puede cumplir un rol dual en las células, actuando durante el estrés oxidativo como un oxidante fuertemente tóxico causando daño celular o inclusive la muerte, y, al mismo tiempo, sirviendo como una molécula de señalización para activar el sistema de

defensa a fin de restaurar la homeostasis redox en las células vegetales (Hung et al., 2005).

Las plantas poseen mecanismos de defensa oxidativos enzimáticos y no enzimáticos que ejercen acciones sinérgicas en la eliminación de las EROs producidos bajo condiciones de estrés (Fang et al., 2002; Hung et al., 2005).

Entre los componentes no enzimáticos se incluyen pigmentos carotenoides, tocoferoles, ácido ascórbico, polifenoles, glutatión (GSH), etc. Los carotenoides son potentes antioxidantes. El β -caroteno actúa inhibiendo las reacciones en cadena debido a la formación de un radical estabilizado por resonancia. La vitamina E es un importante antioxidante que protege a las células del daño oxidativo en proteínas, lípidos y DNA; inhibe la peroxidación lipídica en membranas celulares puesto que al transferir su hidrógeno fenólico a un radical libre peroxilo de un ácido graso poliinsaturado (PUFA) peroxidizado, detiene la reacción en cadena. Como agente reductor, la vitamina C puede reaccionar con el radical de vitamina E produciendo un radical de vitamina C (estable) y regenerando vitamina E, mientras que puede regenerarse la vitamina C por acción del glutatión. La vitamina C presenta un efecto de protección contra el daño oxidativo inducido por radicales libres (Fang et al., 2002).

Por su parte, los polifenoles eliminan EROs (radicales superóxido e hidroxilo) e inhiben el daño oxidativo de lipoproteínas. El glutatión tiene las siguientes características: 1) si bien por oxidación da un radical pro-oxidante, éste puede reaccionar con otro radical $GS\cdot$ generando GS-SG, que es entonces reducido a GSH por la glutatión reductasa NADPH dependiente; 2) elimina EROs (por ej. H_2O_2 , radicales peroxilo lipídico y peroxinitrito) directa e indirectamente a través de reacciones enzimáticas; 3) interacciona con glutaredoxina y tioredoxina, que tienen roles importantes en la homeostasis celular redox (Fang et al., 2002).

Los carotenoides son pigmentos generados por las plantas que proporcionan el color amarillo, naranja o rojo a numerosos vegetales. Se los puede clasificar en carotenos (compuestos hidrocarbonados: β -caroteno, α -caroteno, γ -caroteno, licopeno) y xantofilas (moléculas hidrocarbonadas que presentan oxígeno en su estructura: β -criptoxantina, luteína y zeaxantina), que se caracterizan por presentar un sistema de dobles enlaces conjugados responsable de sus propiedades antioxidantes (Fig. III.2.1.). Otras propiedades son: insolubilidad en agua, unión con superficies hidrofóbicas,

absorción lumínica, atenuación del nivel energético de los singuletes de oxígeno, secuestro de los radicales libres, y son fácilmente isomerizables y oxidables.

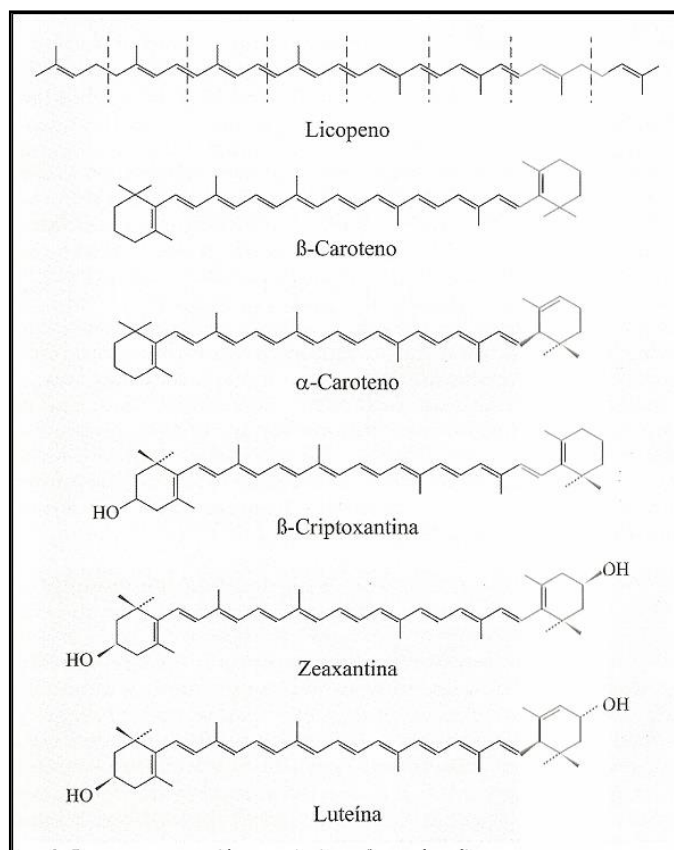


Fig. III. 2.1. Compuestos carotenoides mayoritarios en frutas y hortalizas (Gross, 1991).

Los carotenoides han sido considerados fitoquímicos por presentar las siguientes actividades biológicas: actividad antioxidante, estimulación de la comunicación intercelular, control del crecimiento y diferenciación intercelular (inhibición de la mutagénesis) y modulación de la respuesta inmune. Además, β -caroteno, α -caroteno y β -criptoxantina poseen actividad provitamina A (Cano et al., 2005). En pimientos rojos se han encontrado: capsantina, cucurbitaxantina A, zeaxantina, β -caroteno, β -criptoxantina, α -caroteno (Hornero-Méndez et al., 2000; Howard et al., 2000; Marín et al., 2004; Raffo et al., 2007). En general, los carotenoides permanecen estables aún durante la senescencia pero su estabilidad depende de la estructura química, del tipo de alimento y de las condiciones de procesamiento y almacenamiento. Howard y Hernandez-Brenes (1998) informaron pérdidas de α - y β -caroteno en pimiento jalapeño cortado refrigerado. Sin embargo, Raffo et al. (2007, 2008) reportaron una evolución errática de los carotenoides durante el almacenamiento en pimientos dulces rojos,

dependiente del grado de madurez, de las condiciones de procesamiento y de almacenamiento.

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios biosintetizados por las plantas constituidos por anillos aromáticos unido a uno o más sustituyentes hidroxilos (Shahidi, 2004). Como se observa en la Tabla III.2.1., su naturaleza química puede variar desde un simple monómero hasta polímeros.

Tabla III. 2.1. Principales tipos de compuestos fenólicos en plantas (Urquiaga y Leighton, 2000).

Átomos de carbono	Esqueleto	Tipo
6	C ₆	Fenoles simples Benzoquinonas
7	C ₆ -C ₁	Ácidos hidroxibenzóicos
8	C ₆ -C ₂	Derivados de tirosina Ácidos fenilacéticos
9	C ₆ -C ₃	Ácidos hidroxicinámicos Fenilpropenos Cumarinas
10	C ₆ -C ₄	Naftoquinonas
13	C ₆ -C ₁ -C ₆	Xantonas
14	C ₆ -C ₂ -C ₆	Estilbenos Antraquinonas
15	C ₆ -C ₃ -C ₆	Flavonoides Isoflavonoides
18	(C ₆ -C ₃) ₂	Lignanós Neolignanós
30	(C ₆ -C ₃ -C ₃) ₂	Bioflavonoides
n9	(C ₆ -C ₃) _n	Ligninas
n6	(C ₆) _n	Melaninas catecólicas
n15	(C ₆ -C ₃ -C ₆) _n	Taninos condensados

Entre los ácidos fenólicos se tienen dos grandes grupos de interés particular, los ácidos hidroxibenzoicos e hidroxicinámicos. La actividad antioxidante de estos compuestos depende del número de grupos hidroxilo. Los ácidos hidroxibenzóicos pueden encontrarse libres o conjugados con azúcares, aunque generalmente son constituyentes de la estructura de ligninas y taninos. Los ácidos hidroxicinámicos raramente se

encuentran en forma libre, aunque el congelamiento, la esterilización y la fermentación contribuyen a la aparición de estas formas; las formas conjugadas más comunes son los ésteres con ácidos orgánicos y los derivados glicosilados (Arnao et al., 1998).

Los flavonoides presentan un esqueleto básico de difenilpropano con diferentes grados de oxidación en el anillo central. Los más abundantes en alimentos son: flavonas, flavonoles, flavanoles, flavanonas, antocianinas e isoflavonas.

Los flavonoides se encuentran generalmente glicosilados mediante una unión a un grupo oxhidrilo (O-glicosilflavonoides) o por una unión carbono-carbono (C-glucosilflavonoides); un ejemplo es la rutina (glucósido de quercetina). Los flavonoides pueden actuar como donadores de protones, como secuestradores de radicales libres y como quelantes de metales. La posición y el grado de hidroxilación de estos compuestos influyen sobre su comportamiento antioxidante (Arnao et al., 1998).

Los compuestos fenólicos contribuyen al color, astringencia, sabor y aroma de los vegetales. Además, se los ha relacionado con la pérdida de calidad por el pardeamiento enzimático.

Por otra parte, participan en las respuestas de defensa de las plantas frente a patógenos y depredadores herbívoros. Algunos son solubles en agua (por ej. glucósidos del ácido hidroxycinámico) mientras que otros son bastante hidrofóbicos (por ej. flavonoides polimetoxilados) (Parr y Bolwell, 2000). Los compuestos fenólicos presentan labilidad oxidativa y térmica (Luthria y Mukhopadhyay, 2006).

Los factores que afectan la composición polifenólica de los vegetales son: especie, cultivar, grado de madurez y condiciones ambientales durante su desarrollo y almacenamiento. En pimientos se han encontrado predominantemente flavonoides y capsaicinoides y también se han detectado pequeñas cantidades de ácidos fenólicos (Shahidi, 2004). Materska et al. (2003) han identificado glicósidos de ácidos fenólicos (ferúlico y sinápico) y de flavonoides (quercetina, luteolina, apigenina) en pimientos picantes (*C. annuum* L.). En diferentes tipos de *C. annuum* a los estados de madurez verde y amarillo, Lee et al. (1995) reportaron quercetina y luteolina como flavonoides mayoritarios. Se ha estudiado la influencia de la maduración sobre los flavonoides quercetina y luteolina en diferentes especies de pimientos (*Capsicum* sp.) (Howard et al., 2000), mientras que Marín et al. (2004) analizó el efecto sobre derivados del ácido hidroxycinámico y flavonoides glicosilados en pimientos dulces cv. Vergasa,

encontrando en los frutos rojos derivados de los ácidos hidroxycinámicos (cumárico, sinápico y ferúlico) y glucósidos de quercetina y luteolina, entre otros. Por su parte Raffo et al. (2007, 2008) identificaron los compuestos fenólicos presentes y evaluaron el efecto del almacenamiento refrigerado, el envasado y el tratamiento térmico en otro cultivar de pimientos rojos dulces enteros y cortados.

La vitamina C pertenece al grupo de las vitaminas hidrosolubles y se encuentra en todas las frutas y hortalizas, destacándose por su alto contenido: los cítricos, el kiwi, los pimientos y el brócoli, entre otros (Cano et al., 2005). El término vitamina C incluye a todos los compuestos que exhiben la actividad biológica del ácido L-ascórbico (Lee y Kader, 2000). Cabe indicar que sólo los isómeros L de estos ácidos tienen acción vitamínica y que el ácido dehidroascórbico (ADA o DHA) presenta aproximadamente el 80% de la actividad del ácido ascórbico (ASA) (Dergal, 1999). En la mayoría de las especies vegetales el ADA presenta un contenido menor al 10% de la vitamina C total, pero esta concentración tiende a incrementarse durante el almacenamiento (Wills et al., 1984).

El ácido ascórbico es poco estable, lábil y de alta reactividad. La principal ruta de degradación es su oxidación a ácido dehidroascórbico mediante una reacción reversible. A su vez, el ADA puede oxidarse irreversiblemente dando el ácido 2,3-dicetogulónico (que no tiene actividad de vitamina C) (Fig. III.2.2.).

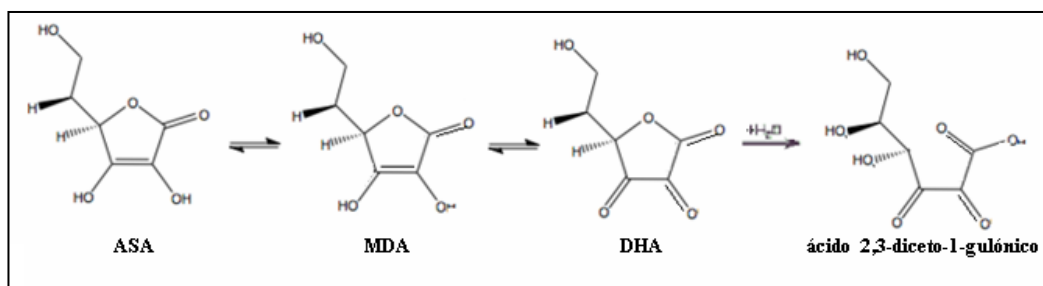


Fig. III.2.2. Degradación del ácido dehidroascórbico (basado en Cano et al., 2005). Abreviaturas: ASA: ácido L-ascórbico; MDA: ácido monodehidro L-ascórbico; DHA: ácido dehidro L-ascórbico.

El ASA es más estable en pH ácidos y en actividades acuosas bajas. Su oxidación depende de muchas variables y se ve favorecida principalmente por la alta temperatura, el pH alcalino, la disponibilidad de oxígeno, los metales de transición (especialmente Cu^{2+} , Ag^+ y Fe^{3+}) y las radiaciones electromagnéticas. Además, también influyen los

azúcares reductores, algunas sales, la actividad acuosa, los peróxidos y la presencia de otras vitaminas (Dergal, 1999; Lee y Kader, 2000).

El ácido ascórbico contribuye al valor nutricional de los vegetales y es uno de los antioxidantes más efectivos presentando un efecto protector frente a los radicales libres (Cano et al., 2005).

Los EROs son producidos en cloroplastos y mitocondrias y ambos poseen mecanismos de detoxificación de dichas sustancias. Una de las rutas de eliminación de EROs es el ciclo ascorbato-glutatión (Fig. III.2.3.) encontrado en cloroplastos, mitocondrias, citosol, apoplastos y peroxisomas (Mittler, 2002).

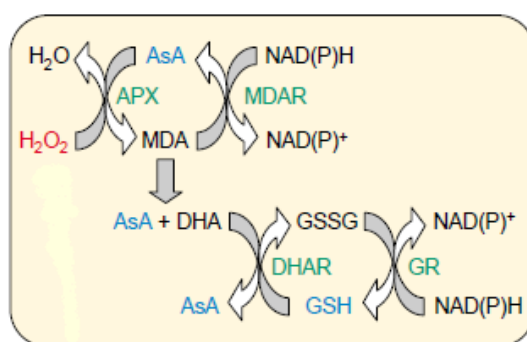


Fig. III.2.3. Ciclo ascorbato-glutatión de eliminación de EROs. (Mittler et al., 2002). Abreviaturas: ASA: ácido ascórbico; MDA: ácido monodehidro ascórbico; DHA: ácido dehidro ascórbico; GSH: glutatión; GSSG: glutatión oxidado; APX: ascorbato peroxidasa; DHAR: DHA reductasa; MDAR: MDA reductasa; GR: glutatión reductasa.

La ascorbato peroxidasa tiene una alta afinidad por el H_2O_2 y requiere de ascorbato para reducirlo a H_2O generando MDA. A su vez, el MDA tiene dos vías de regeneración de ASA que requieren de NADH como donador final de electrones. Una de las vías está catalizada por la monodehidroascorbato reductasa y la otra por las enzimas dehidroascorbato y glutatión reductasas (Mittler, 2002).

El contenido de vitamina C puede ser influenciado por factores como las diferencias genotípicas, las condiciones climáticas precosecha y las prácticas culturales, los métodos de maduración y cosecha, y el manejo postcosecha. Las pérdidas son incrementadas por los almacenamientos prolongados, las altas temperaturas, la baja humedad relativa, el daño físico y el daño por frío (Lee y Kader, 2000). El ADA tiende a incrementarse con el almacenamiento en los vegetales frescos cortados (Zhan et. al., 2009) mientras que el contenido de ASA tiende a decrecer ya que la regeneración de ASA a partir de ADA no es termodinámicamente favorable (Degl'Innocenti et al., 2006). Puesto que el ASA es uno de los constituyentes más vulnerables a las

condiciones de procesamiento y conservación, es utilizado como índice de calidad en los vegetales (Odriozola-Serrano et al., 2007).

Dado que los ácidos ascórbico y dehidroascórbico son las dos formas biológicamente activas de la vitamina C, es necesario cuantificar ambos (Nisperos-Carriedo et al., 1992). Se ha estudiado el efecto de la temperatura de almacenamiento y del envasado en atmósfera modificada sobre el contenido de ácido ascórbico en pimientos verdes mínimamente procesados (González-Aguilar et al., 2004) y en pimientos jalapeños frescos cortados (Howard y Hernandez-Brenes, 1998), analizándose además en estos últimos la evolución del ADA.

III.2.2. OBJETIVO

Estudiar la evolución durante el almacenamiento refrigerado de los carotenoides, compuestos fenólicos, ácido ascórbico, ácido dehidroascórbico y poder antirradical en los pimientos Cherry tratados térmicamente.

Determinar la respuesta del tejido frente a la aplicación del tratamiento térmico dentro de las primeras 48 horas.

III.2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para llevar a cabo las experiencias se utilizaron pimientos Cherry 100% rojo con contenido de carotenoides totales de 240-280 μg β -caroteno/g tejido fresco.

III.2.3.1. Carotenoides Totales

Durante la maduración de los pimientos hay una importante síntesis de carotenoides y su acumulación puede continuar aún en los pimientos rojo maduros (Hornero-Méndez et al., 2000; Raffo et al., 2007). En nuestras experiencias, el nivel de carotenoides de los pimientos enteros controles permaneció constante hasta el día 4 y después aumentó hasta alcanzar un valor 16% mayor que el inicial. Sin embargo, en los frutos enteros tratados térmicamente, los carotenoides aumentaron ligeramente desde el día 0 alcanzando al día 15 un valor 11% mayor que el inicial (Fig. III.2.4.). Según lo informado por Raffo et al. (2007), el tratamiento térmico afectaría la actividad de las enzimas involucradas en la formación de la capsantina y cucurbitaxantina A, provocando su acumulación en tanto que disminuiría los contenidos en zeaxantina y β -caroteno durante el almacenamiento de pimientos rojos a 7,5 °C.

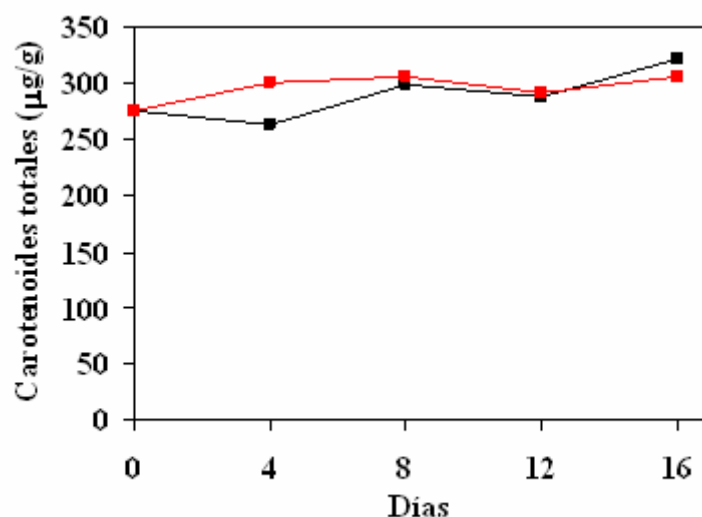


Fig. III.2.4. Cambios en el contenido de carotenoides totales de frutos enteros controles (■) y tratados (■) durante el almacenamiento a 10 °C. ($\text{LSD}_{0,05} = 16$).

Como se observa en la Fig. III.2.5., los carotenoides permanecieron constantes en los frutos descorazonados controles hasta el día 8 y luego aumentaron progresivamente alcanzando al día 15 un valor 17% mayor que el inicial. Sgroppo et al. (2005) no encontraron modificaciones en los pigmentos durante el almacenamiento de pimientos Festos trozados 100% rojos. Por otra parte, el contenido de carotenoides totales de los pimientos Cherry descorazonados tratados, también permaneció constante hasta el día 8, sin existir diferencias significativas con respecto a los frutos controles (Fig. III.2.5). Después del día 8 los niveles aumentaron menos marcadamente que en los pimientos controles, alcanzando al día 15 un valor 10% mayor que el inicial. Similarmente, Raffo et al. (2008) informaron menores niveles de carotenoides en pimientos rojos cortados tratados que en los frutos controles durante el almacenamiento a 8 °C, atribuyendo la menor acumulación de pigmentos a una inhibición de la maduración por el tratamiento térmico.

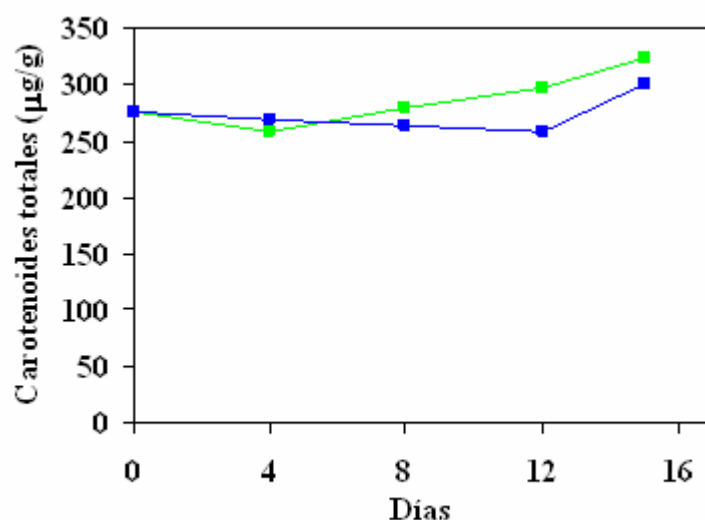


Fig. III.2.5. Cambios en el contenido de carotenoides totales de frutos descorazonados controles (■) y tratados (■), durante el almacenamiento a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 16$).

Entre los frutos enteros y descorazonados controles no se observaron diferencias significativas en la evolución de los carotenoides totales durante el almacenamiento. En tanto que, para los pimientos tratados, el aumento del nivel de carotenoides en los frutos descorazonados se produjo 8 días más tarde que en los pimientos enteros, siendo los valores alcanzados al finalizar los ensayos muy próximos entre sí, un 1,10 veces superior al valor inicial, pero más reducidos que los controles, debido al efecto del tratamiento térmico aplicado.

III.2.3.2. Efecto del tratamiento térmico. Variación de los compuestos fenólicos.

En los últimos tiempos ha aumentado el interés por los compuestos fenólicos dado sus efectos antioxidantes y propiedades antialérgicas y antiinflamatorias. Entre los componentes de los tejidos vegetales, los fenoles son los más afectados por la variabilidad biológica entre los frutos individuales, ya que son notablemente influidos por un amplio rango de factores ambientales y agronómicos.

III.2.3.2.1. Fenoles Totales

Raffo et al. (2007), en su trabajo con pimientos de otro cultivar, sugieren que podrían esperarse efectos del tratamiento térmico sobre los compuestos fenólicos durante el almacenamiento. En nuestras experiencias, como se observa en la Fig. III.2.6., prácticamente no se encontraron diferencias en el contenido de fenoles totales entre frutos enteros controles y tratados en el almacenamiento. Los pimientos enteros controles presentaron inicialmente un contenido de fenoles totales de $1,05 \pm 0,03$ mg ácido clorogénico/g tejido fresco, valor que se mantuvo prácticamente constante hasta el final del almacenamiento refrigerado.

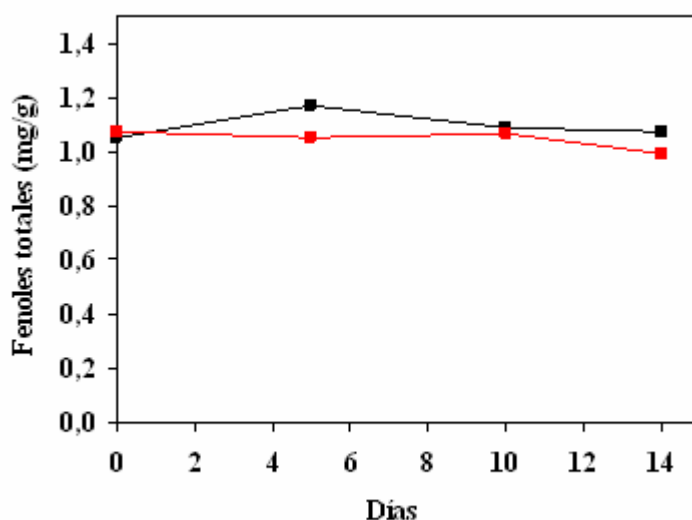


Fig. III.2.6. Cambios en el contenido de fenoles totales de frutos enteros controles (■) y tratados (■), durante el almacenamiento a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 0,04$).

En tanto que, en pimientos 80-90% rojos cv. Cornago, Andrade Cuvi (2008) informó de una caída de los fenoles totales a los 7 días de almacenamiento a 0 °C, aumentando posteriormente al día 14 a valores ligeramente superiores a los iniciales. Mientras que, en mangos enteros almacenados a 25 °C se encontró un incremento del 20% a las 24 horas de almacenamiento y después permaneció prácticamente constante hasta los 15 días (González-Aguilar et al., 2007).

Inmediatamente después del tratamiento térmico de los pimientos Cherry, no se distinguieron diferencias significativas entre los contenidos iniciales de fenoles de los frutos enteros controles y tratados. Posteriormente, durante el almacenamiento refrigerado, los fenoles se mantuvieron constantes en los pimientos tratados hasta el día 10 y después descendieron ligeramente al día 14 alcanzando un valor 8% menor que el nivel presentado por los frutos controles (Fig. III.2.6.). En pimientos “Peperone Cornetto di Pontecorvo”, Raffo et al. (2007) informaron similares niveles de derivados del ácido hidroxicinámico y menores valores de flavonoides glicosilados en los frutos enteros tratados que en los pimientos controles hacia el final del almacenamiento.

Como se observa en la Fig. III.2.7., los pimientos descorazonados controles presentaron inicialmente un contenido de fenoles totales de $1,19 \pm 0,05$ mg ácido clorogénico/g tejido fresco.

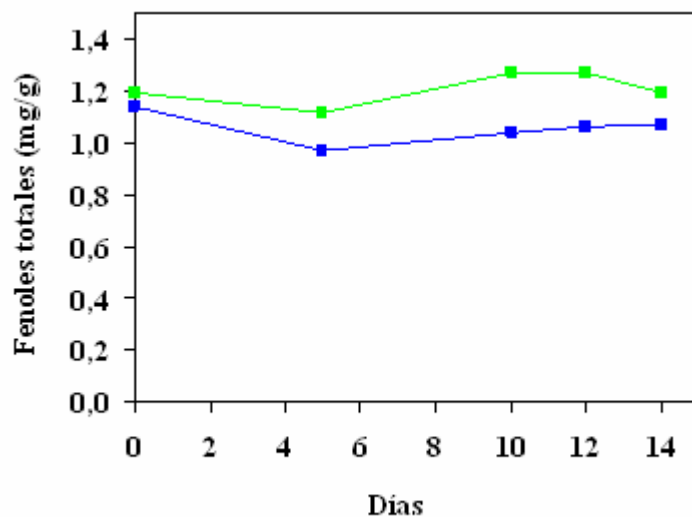


Fig. III.2.7. Cambios en el contenido de fenoles totales de frutos descorazonados controles (■) y tratados (■), durante el almacenamiento a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 0,06$).

No hubo diferencias significativas entre el contenido inicial de los frutos descorazonados controles y tratados térmicamente (Fig. III.2.7.), al igual que en apio cortado tratado por inmersión en agua caliente (50 °C/90 s) y en aire caliente (48 °C/1h) (Viña y Chaves, 2008). Los pimientos Cherry cortados controles y tratados térmicamente mostraron una evolución similar, pero, los frutos tratados a partir del 5º día tuvieron menores valores de fenoles totales que los controles hasta el final del almacenamiento. Se observó una caída del 6,5% en los pimientos descorazonados controles a los 5 días, mientras que en los tratados fue del 15%, y luego, el contenido de fenoles totales aumentó en los frutos controles hasta alcanzar un valor similar al inicial, siendo este valor un 10% superior al encontrado en los frutos tratados al tiempo final del ensayo. En pimientos verdes cortados Toivonen y Stan (2004) informaron una pérdida en fenoles totales durante 10 días a 7 °C, mientras que, Sgroppo et al. (2005) encontraron que el nivel de polifenoles se mantuvo invariable en pimientos dulces cv. Festos rojos trozados durante 11 días de almacenamiento a 10°C. Asimismo, Lemoine et al. (2007) observaron durante el almacenamiento a 4°C valores constantes en el contenido de fenoles totales de brócoli mínimamente procesado hasta el día 7, aunque luego disminuyeron. Similarmente, Odriozola-Serrano et al. (2008) no encontraron cambios significativos en el contenido de fenoles totales de tomates cortados durante los primeros 14 días a 4 °C aumentando posteriormente, lo que fue asociado al daño por el corte. Por otra parte, Raffo et al. (2008) informaron menores niveles de compuestos fenólicos en pimientos rojos cortados tratados que en los frutos controles durante el almacenamiento a 8 °C, atribuyendo esos menores valores a una inhibición de la acumulación de fenoles por el tratamiento térmico (53 °C/4 min).

Los resultados de los ensayos realizados con pimientos descorazonados que sufrieron un estrés hídrico previo a la cosecha se presentan en la Fig. III.2.8. En ella se observa que si bien los frutos descorazonados mostraron inicialmente un contenido de fenoles totales de $1,12 \pm 0,06$ mg ácido clorogénico/g tejido fresco, próximos a los hallados en otros ensayos, se distinguió una evolución en el contenido de fenoles diferente. Los fenoles en los frutos control se mantuvieron constantes hasta el 7º día de almacenamiento y luego, aumentaron un 17% al día 12.

En estos ensayos se observó que inmediatamente después del tratamiento térmico, los pimientos mostraron un nivel de polifenoles 10% menor que los controles. A continuación, los niveles alcanzaron un valor máximo a los 7 días, similar al presentado por los frutos controles, finalizando los ensayos al día 12, con un valor un 9% superior al inicial y un 16% más reducido que los controles (Fig. III.2.8.).

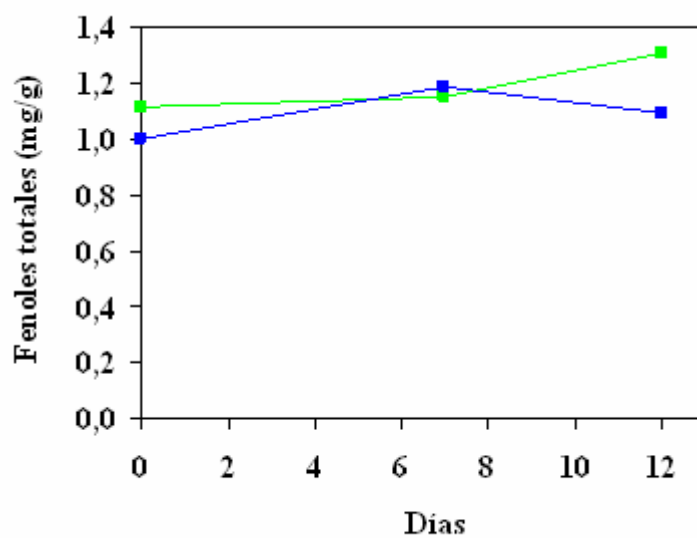


Fig. III.2.8. Cambios en el contenido de fenoles totales de frutos con estrés hídrico precosecha descorazonados controles (■) y tratados (■), durante el almacenamiento a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 0,07$).

En las experiencias llevadas a cabo para determinar la evolución de los fenoles totales en pimientos Cherry durante las primeras horas de almacenamiento, no se observaron diferencias significativas entre los contenidos iniciales de polifenoles de los frutos enteros y descorazonados, controles y tratados (Fig. III.2.9. y Fig. III.2.10.).

Para los frutos enteros prácticamente no hubo cambios durante las primeras 48 horas de conservación, no existiendo diferencias entre controles y tratados. Como se observa en la Fig. III.2.9., se produjo una ligera caída hasta las 10 horas (6%), alcanzando al tiempo final valores 8 % menores que los iniciales.

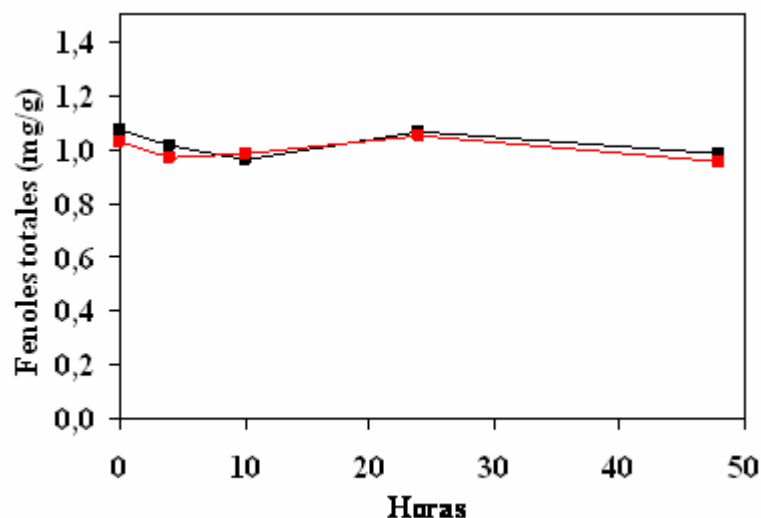


Fig. III.2.9. Cambios en el contenido de fenoles totales de frutos enteros controles (■) y tratados (■), durante el almacenamiento por 48 horas a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 0,03$).

Asimismo, en los pimientos descorazonados los fenoles totales se mantuvieron prácticamente constantes a lo largo del ensayo, tanto para los frutos controles como para los tratados. A las 4 h se observó una caída en los niveles de fenoles del 8% y luego aumentaron ligeramente, alcanzando a las 48 h valores similares al inicial para los frutos tratados y niveles 6% menor que los iniciales para los controles (Fig. III.2.10.).

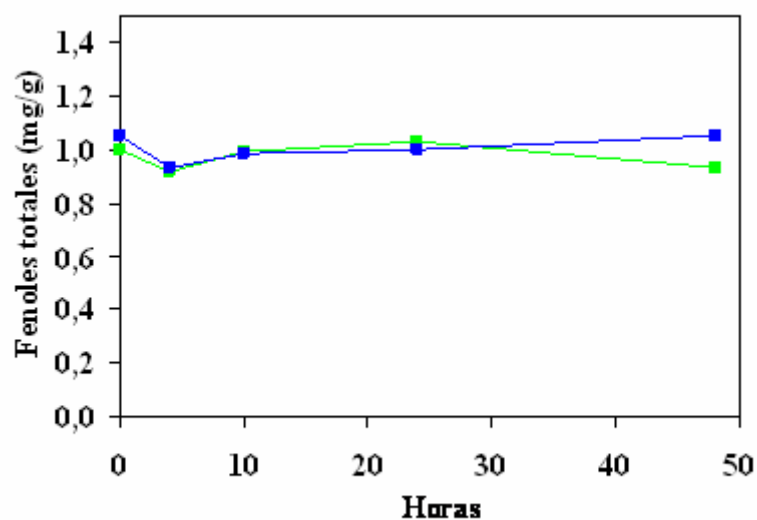


Fig. III.2.10. Cambios en el contenido de fenoles totales de frutos descorazonados controles (■) y tratados (■), durante el almacenamiento por 48 horas a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 0,03$).

En otros frutos, bananas enteras y frescas cortadas o mangos enteros, se informó que los niveles de fenoles permanecieron constantes o aumentaron ligeramente en los productos enteros mientras que se incrementaron marcadamente en los cortados, durante las primeras 24 horas del almacenamiento a 22-25 °C (Chen et al., 2009; González-Aguilar et al., 2007).

III.2.3.2.2. Flavonoides Totales

Los flavonoides totales presentaron ligeros cambios a lo largo del almacenamiento refrigerado. Inicialmente, los frutos enteros controles mostraron un contenido de $18,93 \pm 0,71$ mg catequina/100 g tejido fresco, valor que permaneció constante hasta los 5 días, notándose una ligera disminución (4%) a los 14 días. Una evolución similar fue informada por Andrade Cuvi (2008) para pimientos cv. Cornago a temperaturas de almacenamiento de 0°C (Fig. III.2.11.).

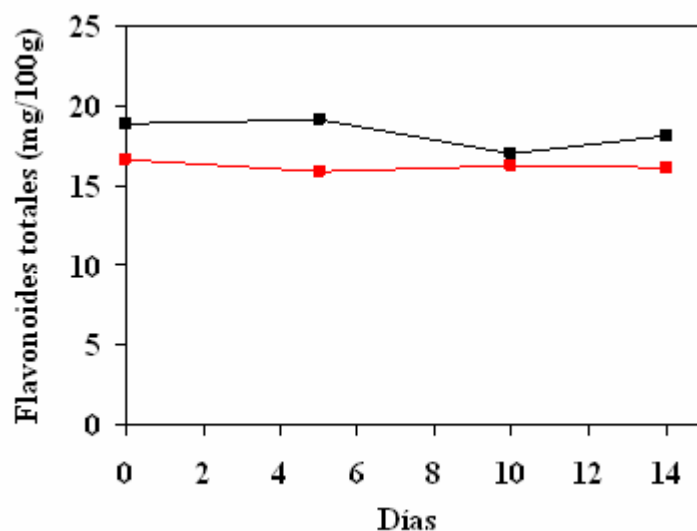


Fig. III.2.11. Cambios en el contenido de flavonoides totales de frutos enteros controles (■) y tratados (■), durante el almacenamiento a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 0,69$).

Luego de aplicar el tratamiento térmico a los pimientos enteros, se observó una disminución del 12% con respecto al contenido inicial de flavonoides totales presentado por los pimientos controles, manteniéndose constantes estos niveles durante el almacenamiento. Al finalizar las experiencias, los valores de los frutos tratados fueron un 10% más reducidos que en los controles. De la misma forma, Raffo et al. (2007)

encontraron valores inferiores de los flavonoides glicosilados totales en los frutos tratados térmicamente a partir de los 14 días de almacenamiento. En frutos tropicales como mangos, almacenados durante 15 días a 25 °C, González-Aguilar et al. (2007), observaron un incremento de los flavonoides totales.

Por otra parte, los frutos descorazonados controles inicialmente presentaron un contenido de flavonoides totales de $16,1 \pm 0,2$ mg catequina/100 g tejido fresco (Fig. III.2.12.). A los 5 días de almacenamiento se observó una disminución del 30% y luego aumentó alcanzando al día 12 un valor similar al inicial que se mantuvo constante hasta finalizar las experiencias.

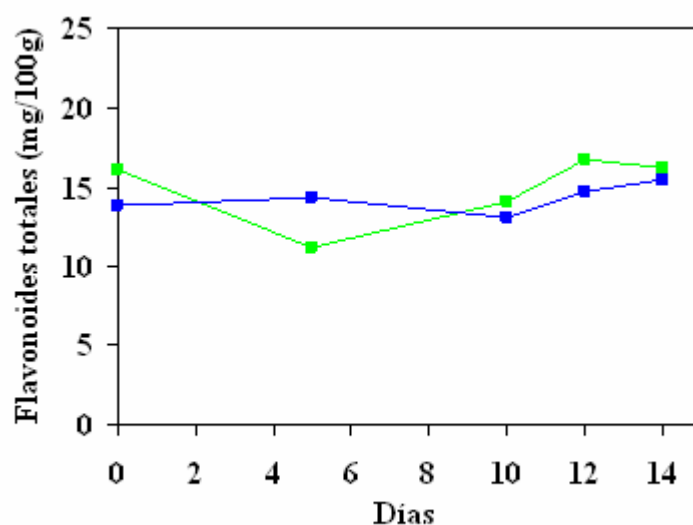


Fig. III.2.12. Cambios en el contenido de flavonoides totales de frutos descorazonados controles (■) y tratados (■), durante el almacenamiento a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 0,83$).

En los pimientos descorazonados previamente tratados térmicamente, se encontró una concentración un 14% inferior a la detectada en los controles, al igual que lo observado en apio cortado (Viña y Chaves, 2008). Posteriormente, el contenido en flavonoides se mantuvo constante hasta el día 10 para después aumentar progresivamente llegando al 14° día con un nivel próximo al inicial. A partir del día 10, los frutos tratados mostraron valores ligeramente más reducidos que los controles (Fig. III.2.12.). Similarmente, Raffo et al. (2008) informaron para pimientos cortados que el tratamiento térmico inhibió la acumulación de flavonoides glicosilados durante el almacenamiento.

Como se mostró para el contenido de fenoles totales (Fig. III.2.8.), los frutos que sufrieron un estrés hídrico por sequía antes de la cosecha también exhibieron una evolución diferente en los niveles de flavonoides totales. Así, los frutos descorazonados

controles presentaron inicialmente un contenido de flavonoides totales de $15,9 \pm 0,5$ mg catequina/100 g tejido fresco, valor que se mantuvo constante hasta el día 7 para luego aumentar un 22% a los 12 días (Fig. III.2.13.).

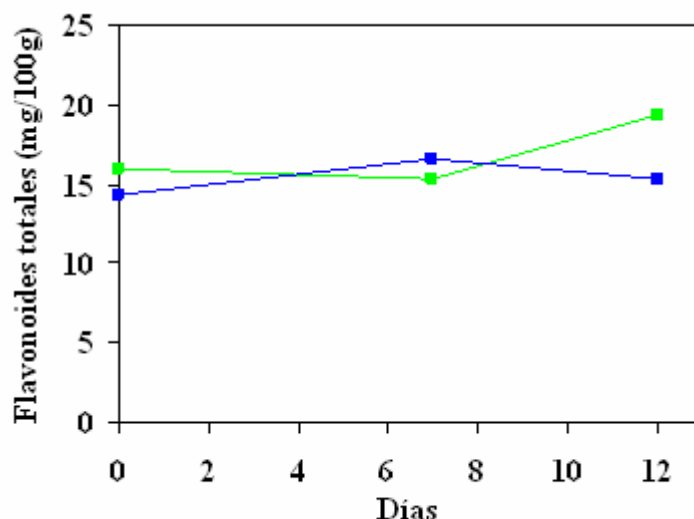


Fig. III.2.13. Cambios en el contenido de flavonoides totales de frutos con estrés hídrico precosecha descorazonados controles (■) y tratados (■), durante el almacenamiento a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 0,81$).

En tanto que, los frutos tratados térmicamente, mostraron una evolución del contenido de flavonoides diferente a la observada en los ensayos anteriores. Si bien inicialmente los flavonoides disminuyeron un 10% como respuesta al tratamiento, luego aumentaron alcanzando al día 7 un nivel máximo (16% mayor que el inicial) y presentando al día 12 un valor un 21% menor que el encontrado en los frutos controles (Fig. III.2.13.).

Según se observa en las figuras III.2.14. y III.2.15., en las experiencias realizadas para analizar los cambios de los flavonoides totales en pimientos Cherry durante las primeras horas de almacenamiento, los frutos tratados, enteros y descorazonados, presentaron contenidos de flavonoides totales iniciales ligeramente menores (8%) que los correspondientes controles, sin existir diferencias entre enteros y cortados.

Los pimientos enteros (controles y tratados) presentaron a las 4 horas de almacenamiento un valor similar de flavonoides que se mantuvo prácticamente constante alcanzando al tiempo final de ensayo un contenido no significativamente diferente al inicial (Fig. III.2.14.).

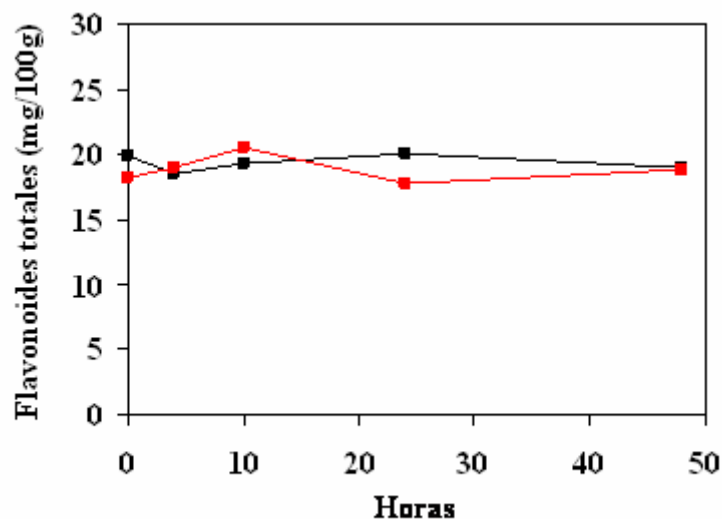


Fig. III.2.14. Cambios en el contenido de flavonoides totales de frutos enteros controles (■) y tratados (■), durante el almacenamiento a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 0,74$).

En los frutos descorazonados, controles y tratados se observó un comportamiento similar al de los frutos enteros, alcanzando a las 48 horas un valor ligeramente mayor (6%) al de los frutos enteros, sin existir diferencias significativas entre descorazonados controles y cortados (Fig. III.2.15.). En mangos enteros, González-Aguilar et al. (2007), informaron un incremento de los flavonoides totales dentro de las primeras 24 horas de almacenamiento a 25 °C.

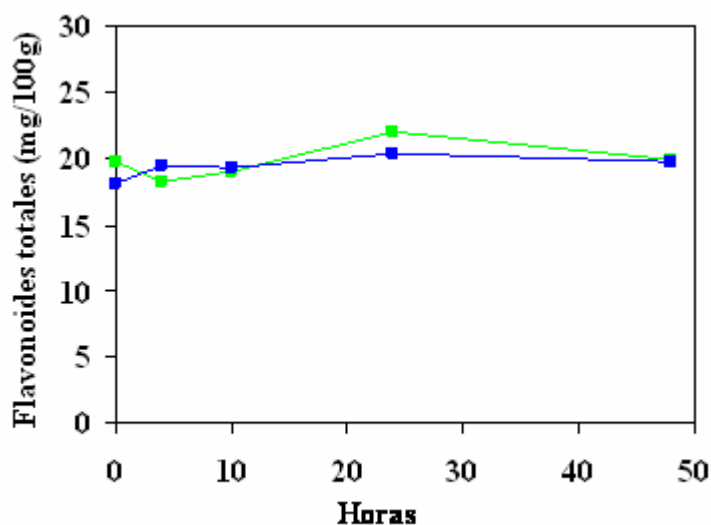


Fig. III.2.15. Cambios en el contenido de flavonoides totales de frutos descorazonados controles (■) y tratados (■), durante el almacenamiento a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 0,74$).

III.2.3.2.3. Compuestos fenólicos determinados por HPLC

En la Fig.III.2.16. se muestra el cromatograma de los compuestos fenólicos obtenido según la metodología descrita en el capítulo de materiales y métodos. De acuerdo a lo observado por Raffo et al. (2007) y Marín et al. (2004), este cromatograma se puede dividir en dos zonas netamente diferenciadas. La primera de ellas corresponde a derivados hidroxicinámicos (AH: picos 2 a 7) y la segunda a flavonoides glicosilados (FG: picos 8 a 15). Marín et al. (2004) encontraron en pimientos dulces cv. Vergasa 5 derivados del ácido hidroxicinámico y 23 flavonoides. En el estado rojo maduro identificaron: trans-cumaroil- β -D-glucopiranosido; transferuloil- β -D-glucopiranosido, trans-synapoil- β -D-glucopiranosido; quercetina 3-O-ramnósido; luteolina 7-O-(2-apiosil-6-malonil) glucósido, además de otras O-glicosilflavonas y C-glicosilflavonas. Los glucósidos de quercetina y luteolina mencionados representaron el 41% de los flavonoides totales.

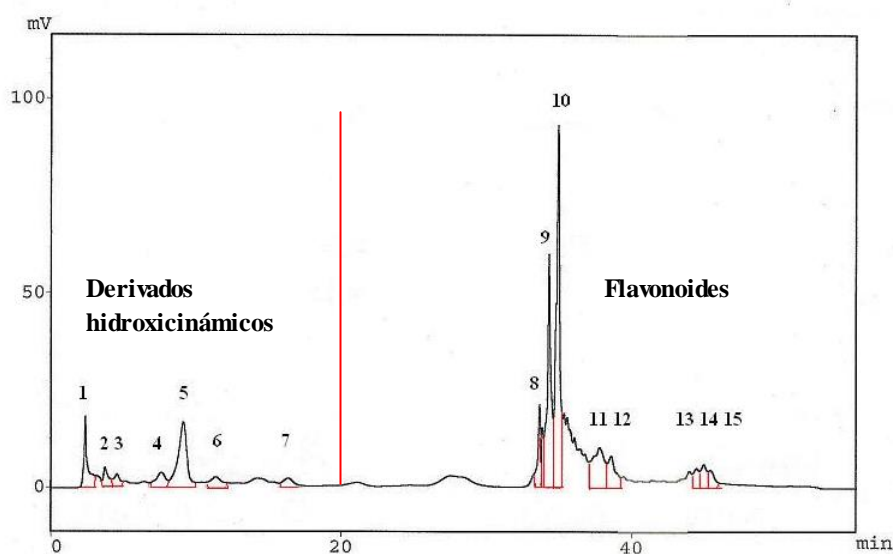


Fig. III.2.16. Cromatograma HPLC tipo, para compuestos fenólicos, obtenido a partir de un extracto alcohólico de pimientos Cherry. El cromatograma se obtuvo según se indica en Materiales y Métodos.

Para estudiar la evolución de los compuestos fenólicos, se analizaron las variaciones en las zonas de picos AH (2 a 7) y FG (8 a 15). Los contenidos totales de flavonoides glicosilados fueron inicialmente unas 3,7- 4 veces superiores a los determinados para los compuestos derivados del ácido hidroxicinámico, en los pimientos Cherry enteros y descorazonados, respectivamente (Fig. III.2.18., III.2.19., III.2.24. y III.2.25.).

Similarmente, otros autores observaron para pimientos rojos mayores valores de flavonoides glicosilados que derivados del ácido hidroxicinámico; Raffo et al. (2007) y Marín et al. (2004) en frutos enteros y Raffo et al. (2008) en pimientos cortados, encontraron relaciones flavonoides/derivados hiroxicinámicos de 1,7, de 2,3 y de 5,7 veces respectivamente.

En la Fig. III.2.17. se presenta la suma total de fenoles correspondientes a las concentraciones de AH (picos 2 a 7) y FG (picos 8 a 15), es decir teniendo en cuenta las concentraciones de los derivados del ácido hidroxicinámico y de los flavonoides glicosilados en conjunto, para los pimientos Cherry enteros controles y tratados a los 0 y 14 días de almacenamiento.

Para los frutos enteros controles, se observó un incremento al final del almacenamiento alcanzando un valor un 10% superior al inicial. En los pimientos tratados térmicamente, se encontraron los mismos valores de concentración inicial de compuestos fenólicos que en los pimientos controles. A los 14 días de almacenamiento a 10 °C, se detectaron en dichos frutos tratados, valores similares al nivel inicial pero un 7% más bajos que los frutos controles (Fig. III.2.17.). Como se indicó anteriormente en la sección III.2.3.2.1., el tratamiento térmico no afectó el contenido inicial de compuestos fenólicos totales y se detectó una ligera diferencia entre los valores presentados por los frutos controles y tratados a los 14 días de almacenamiento.

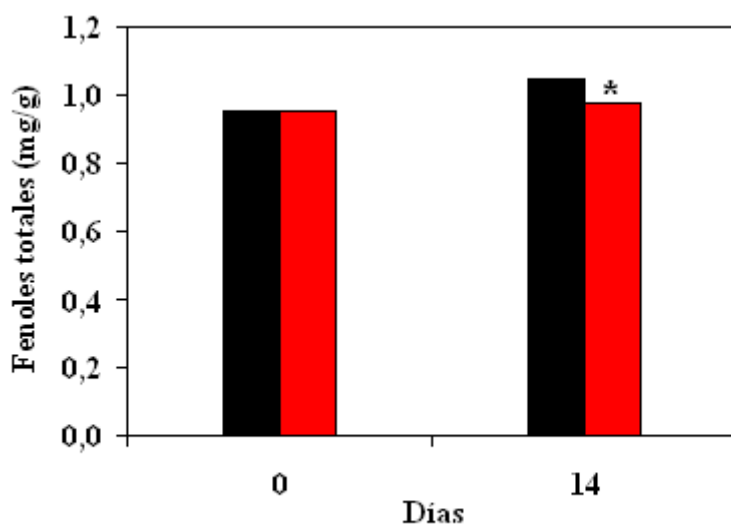


Fig. III.2.17. Concentración total de compuestos fenólicos presentes en pimientos enteros controles (■) y tratados (■) al inicio y a los 14 días de almacenamiento a 10 °C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. (LSD_{0,05} = 0,07).

En las Fig. III.2.18. y III.2.19. se presentan las sumatorias de concentraciones (mg/g tejido fresco) de los fenoles derivados del ácido hidroxicinámico (AH) y de los flavonoides glicosilados (FG) respectivamente.

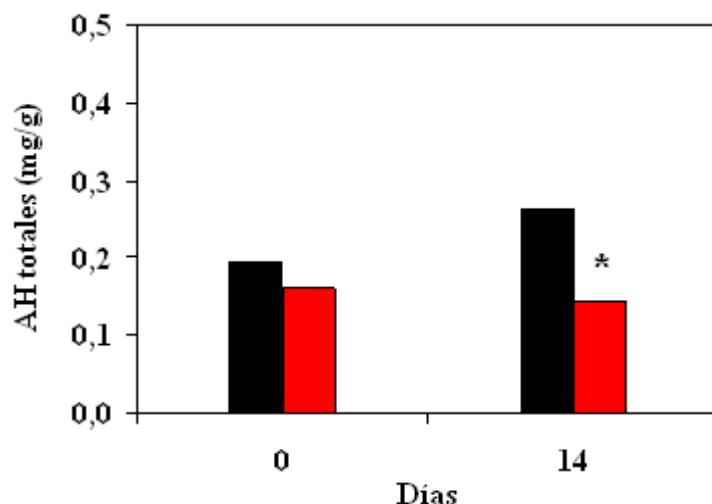


Fig. III.2.18. Concentración de compuestos fenólicos derivados del ácido hidroxicinámico (AH) presentes en pimientos enteros controles (■) y tratados (■) al inicio y a los 14 días de almacenamiento a 10 °C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. ($LSD_{0,05} = 0,04$).

Como se observa en la Fig. III.2.18., en los pimientos enteros controles la concentración total de derivados del AH aumentó un 33% con respecto a su valor inicial, a los 14 días de almacenamiento a 10 °C y el tratamiento térmico no afectó inmediatamente a dichos componentes. Sin embargo, a los 14 días de almacenamiento, los frutos tratados presentaron valores similares al inicial, siendo un 46% más reducidos que los controles. Si bien, el tratamiento térmico (55 °C/60 s) no afectó los valores iniciales, evitó la acumulación de derivados del AH durante el almacenamiento refrigerado (Fig. III.2.18.), a diferencia de lo reportado para pimientos rojos de otro cultivar por Raffo et al. (2007), quienes encontraron que el contenido total de derivados del ácido hidroxicinámico no fue marcadamente afectado por el tratamiento térmico (53 °C/4 min), mostrando caídas menores al 10% a las tres semanas a 7,5 °C.

Los contenidos de flavonoides glicosilados totales, no mostraron cambios durante el almacenamiento de los frutos enteros (Fig. III.2.19.), así como tampoco fueron afectados por el tratamiento aplicado, siendo este comportamiento diferente al informado por Raffo et al. (2007).

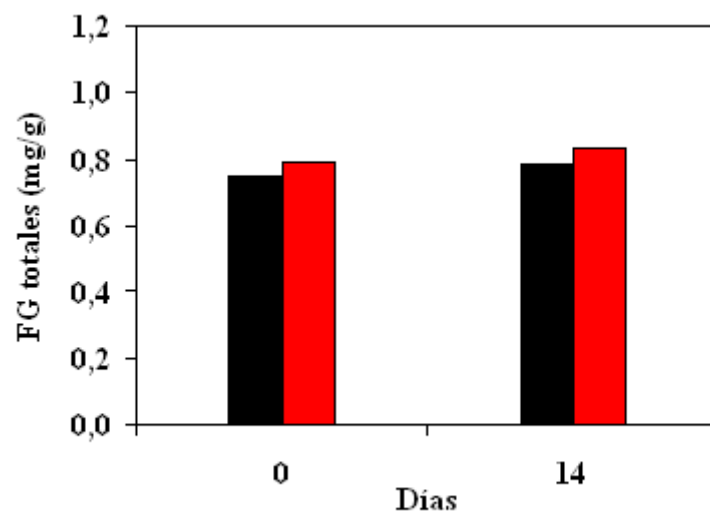


Fig. III.2.19. Concentración de flavonoides glicosilados (FG) presentes en pimientos enteros controles (■) y tratados (■) al inicio y a los 14 días de almacenamiento a 10 °C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. ($LSD_{0,05} = 0,06$).

En las experiencias realizadas para analizar los cambios durante las primeras horas de almacenamiento, como se puede ver en la Fig. III.2.20., la concentración total de fenoles permaneció invariable a las 10 horas de almacenamiento en los pimientos enteros controles presentando los frutos tratados una evolución similar y valores no significativamente diferentes.

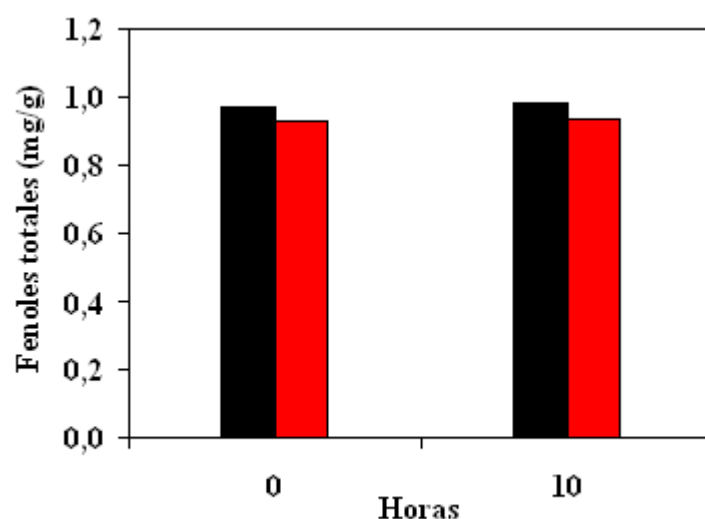


Fig. III.2.20. Concentración total de compuestos fenólicos presentes en pimientos enteros controles (■) y tratados (■) al inicio y a las 10 horas de almacenamiento a 10 °C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. ($LSD_{0,05} = 0,04$).

En los pimientos enteros los fenoles derivados del ácido hidroxicinámico representaron inicialmente alrededor del 21% de los compuestos fenólicos totales, valor que no sufrió variaciones a las 10 horas de almacenamiento tanto en los frutos enteros como en los tratados (Fig. III.2.21.). Debe hacerse notar que si bien, inmediatamente después de aplicado el tratamiento no se observaron aumentos significativos en la concentración de derivados del AH con respecto a los frutos enteros controles, a las 10 horas las diferencias se hicieron evidentes. Los valores fueron ligeramente mayores (8%) en las muestras tratadas.

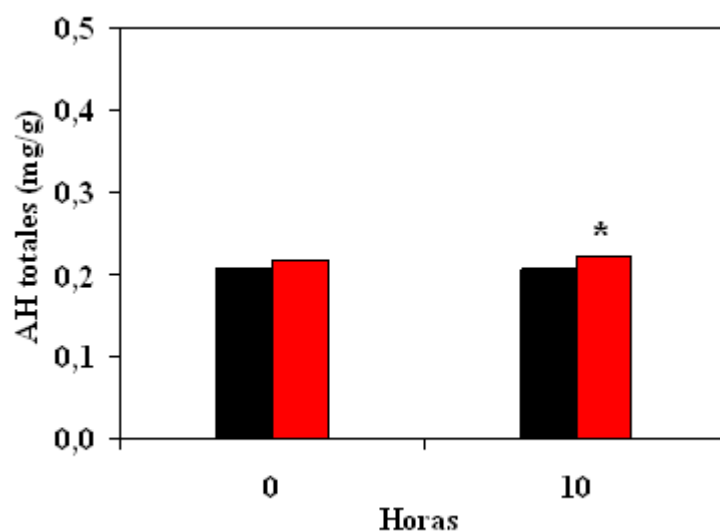


Fig. III.2.21. Concentración de compuestos fenólicos derivados del ácido hidroxicinámico (AH) presentes en pimientos enteros controles (■) y tratados (■) al inicio y a las 10 horas de almacenamiento a 10 °C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. ($LSD_{0,05} = 0,01$).

En cuanto a los flavonoides glicosilados (Fig. III.2.22.), tanto los pimientos enteros controles como los tratados presentaron valores constantes a las 10 horas de almacenamiento refrigerado. El tratamiento térmico provocó una disminución en la concentración de flavonoides menor del 10% al inicio y al final del ensayo, lo cual no se distinguió en el contenido de total de fenoles debido al aporte que realizan los derivados hidroxicinámicos (Fig. III.2.20. y III.2.21.).

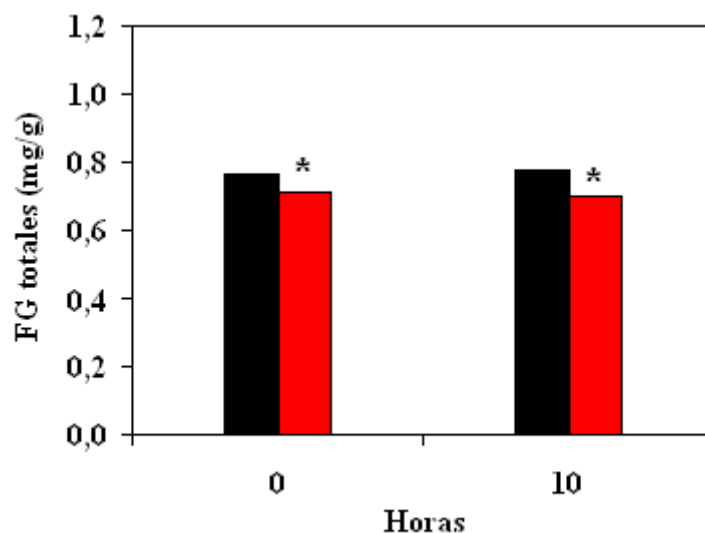


Fig. III.2.22. Concentración de flavonoides glicosilados (FG) presentes en pimientos enteros controles (■) y tratados (■) al inicio y a las 10 horas de almacenamiento a 10 °C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. ($LSD_{0,05} = 0,02$).

En los pimientos descorazonados, Fig. III.2.23., la suma total de compuestos fenólicos no mostró variaciones al día 12 de almacenamiento tanto para los frutos controles como para los tratados. Si bien en los frutos tratados térmicamente y luego descorazonados, se distinguió una caída de los compuestos fenólicos al inicio (9%) y al final (15%) de almacenamiento, respecto de los niveles presentados por los pimientos controles (Fig. III.2.23.).

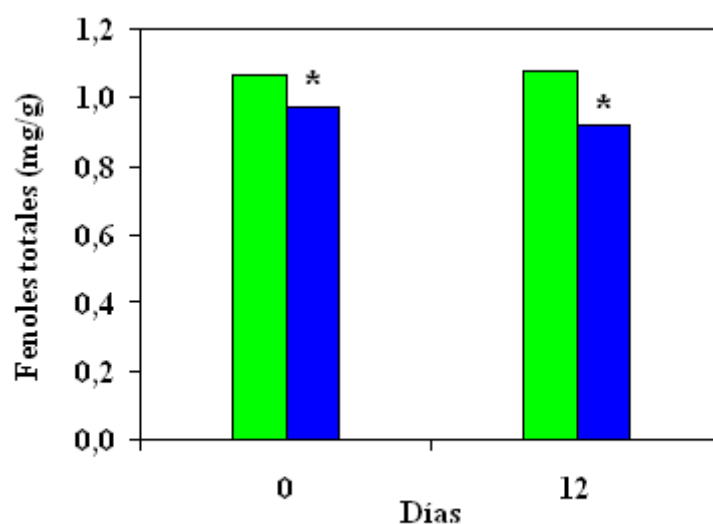


Fig. III.2.23. Concentración total de compuestos fenólicos presentes en pimientos descorazonados controles (■) y tratados (■) al inicio y a los 12 días de almacenamiento a 10 °C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. ($LSD_{0,05} = 0,07$).

Como se muestra en la Fig. III.2.24., la concentración total de compuestos derivados del AH aumentó un 37% para los pimientos descorazonados controles y un 28% para los tratados a los 12 días de almacenamiento refrigerado. Si bien el tratamiento térmico no afectó su concentración al inicio del almacenamiento, redujo el incremento de este tipo de fenoles al final de las experiencias. Similarmente, otros autores reportaron una inhibición de la acumulación de AH por el tratamiento térmico durante el almacenamiento refrigerado (Fukumoto et al., 2002; Raffo et al., 2008).

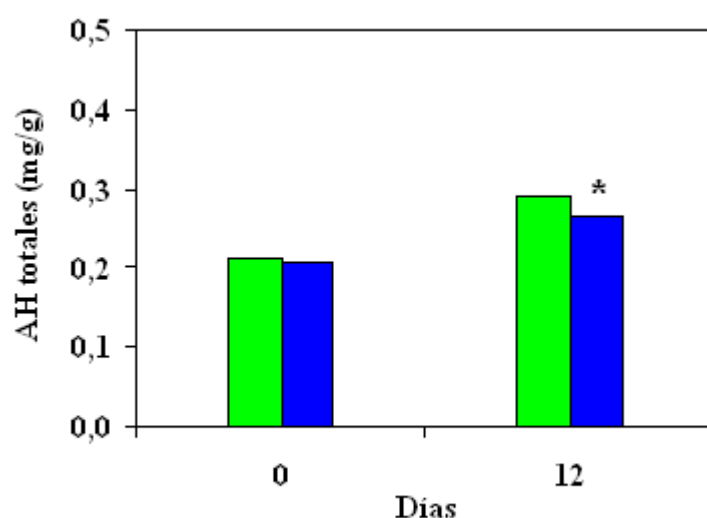


Fig. III.2.24. Concentración de compuestos fenólicos derivados del ácido hidroxicinámico (AH) presentes en pimientos descorazonados controles (■) y tratados (■) al inicio y a los 12 días de almacenamiento a 10 °C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. ($LSD_{0,05} = 0,03$).

Para los flavonoides glicosilados se encontraron ligeros descensos a los 12 días de almacenamiento tanto en los pimientos descorazonados controles como en los frutos tratados (Fig. III.2.25.). El tratamiento térmico tuvo un efecto similar al informado para pimientos rojos cv. Vergasa, induciendo menores niveles del contenido total de flavonoides en las muestras tratadas térmicamente respecto de los frutos sin tratamiento (Raffo et al., 2008).

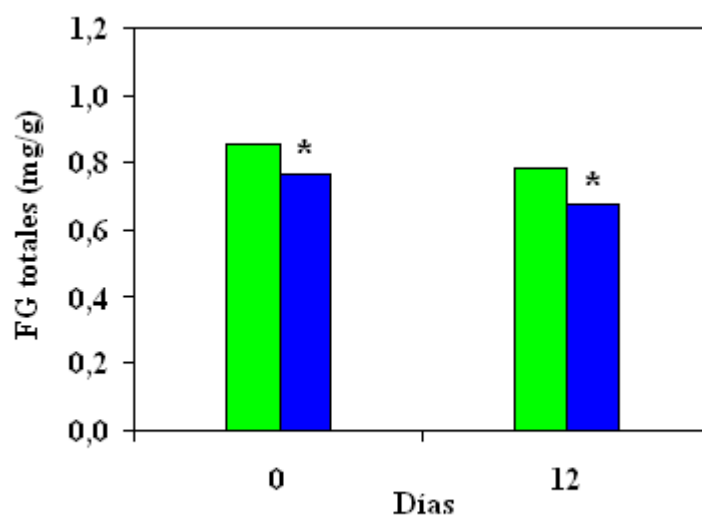


Fig. III.2.25. Concentración de flavonoides glicosilados (FG) presentes en pimientos descorazonados controles (■) y tratados (■) al inicio y a los 12 días de almacenamiento a 10 °C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. ($LSD_{0,05} = 0,04$).

Como se observa en la Fig. III.2.26., en las experiencias llevadas a cabo para determinar la evolución durante las primeras horas de almacenamiento, la concentración total de compuestos fenólicos permaneció invariable a las 10 horas de almacenamiento tanto para los frutos descorazonados controles como para los tratados.

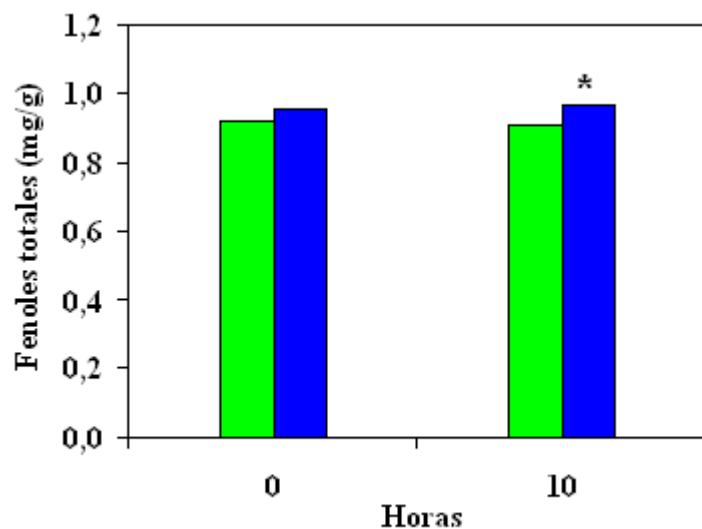


Fig. III.2.26. Concentración total de compuestos fenólicos presentes en pimientos descorazonados controles (■) y tratados (■) al inicio y a las 10 horas de almacenamiento a 10 °C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. ($LSD_{0,05} = 0,05$).

Si bien, el tratamiento térmico no afectó significativamente la concentración de fenoles totales al inicio del almacenamiento, a las 10 horas los frutos tratados mostraron un valor 6,5% mayor que el presentado por las muestras controles (Fig. III.2.26.).

Con respecto a los derivados del AH, los frutos descorazonados controles mostraron un aumento del 10% a las 10 horas de almacenamiento refrigerado (Fig. III.2.27.).

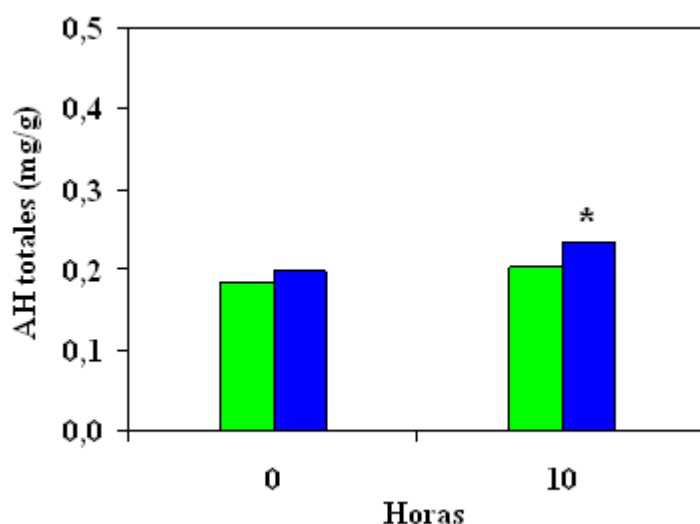


Fig. III.2.27. Concentración de compuestos fenólicos derivados del ácido hidroxicinámico (AH) presentes en pimientos descorazonados controles (■) y tratados (■) al inicio y a las 10 horas de almacenamiento a 10 °C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. ($LSD_{0,05} = 0,014$).

Al igual que lo ocurrido con los fenoles totales, el tratamiento térmico no afectó la concentración inicial de derivados del ácido hidroxicinámico, presentando los frutos tratados un incremento a las 10 horas de almacenamiento alcanzando valores 16% mayores que las muestras controles (Fig. III.2.27.).

Como se observa en la Fig. III.2.28., la concentración total de flavonoides glicosilados no presentó cambios a las 10 horas de almacenamiento tanto en los pimientos descorazonados controles como en los frutos tratados. El tratamiento térmico no tuvo efectos sobre el contenido de estos compuestos fenólicos.

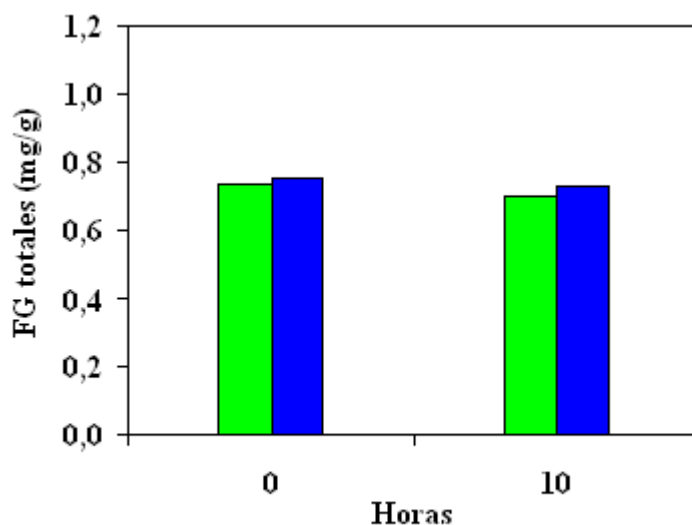


Fig. III.2.28. Concentración de flavonoides en g/100g de tejido fresco presentes en pimientos descorazonados controles (■) y tratados (■) al inicio y a las 10 horas de almacenamiento a 10 °C. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. ($LSD_{0,05} = 0,02$).

III.2.3.3. Ácido ascórbico (ASA) y ácido dehidroascórbico (ADA)

El ácido ascórbico contribuye al valor nutricional y a las propiedades antioxidantes de los pimientos. Dado que los ácidos ascórbico y deshidroascórbico son las dos formas biológicamente activas de la vitamina C, se cuantificaron ambos compuestos. El ADA tiende a incrementarse con el almacenamiento en los vegetales frescos cortados (Zhan et al., 2009) mientras que el contenido de ASA tiende a decrecer ya que la regeneración de ASA a partir de ADA no es termodinámicamente favorable (Degl’Innocenti et al., 2006).

Como se observa en la Fig. III.2.29., al inicio del almacenamiento, tanto para los frutos enteros como para los frutos descorazonados, el contenido de ácido ascórbico representó el 90% o más del contenido en vitamina C, lo que concuerda con lo informado por Marín et al. (2004) y Jiménez et al. (2003) para otras variedades de pimientos rojos.

En las experiencias llevadas a cabo para determinar el efecto del tratamiento térmico sobre los niveles de ASA en los pimientos Cherry, se observó que al inicio del almacenamiento, los frutos enteros tuvieron un contenido de ácido ascórbico de $22,7 \pm$

1,7 mg/100 g tejido fresco y se mantuvo prácticamente constante durante los 15 días a 10 °C. En los frutos tratados, el ASA mostró una evolución similar a la observada en los controles, pero con valores menores a partir del día 10. Al día 10 de ensayo, el contenido de ácido ascórbico aumentó ligeramente en ambas presentaciones alcanzando un valor máximo (siendo en los tratados 11% menor que en los controles). Posteriormente, descendió a un valor similar al inicial al día 14 mostrando los pimientos tratados un nivel 15% menor que los controles (Fig. III.2.29.). Raffo et al. (2007) informaron un menor contenido de ASA en pimientos tratados a los 21 días de almacenamiento a 7.5 °C, asociándolo a una ligera degradación por el tratamiento térmico. Según Soto-Zamora et al. (2005) los niveles de ASA en tomates enteros tratados con aire caliente a 38 °C mostraron una disminución continua durante el almacenamiento refrigerado.

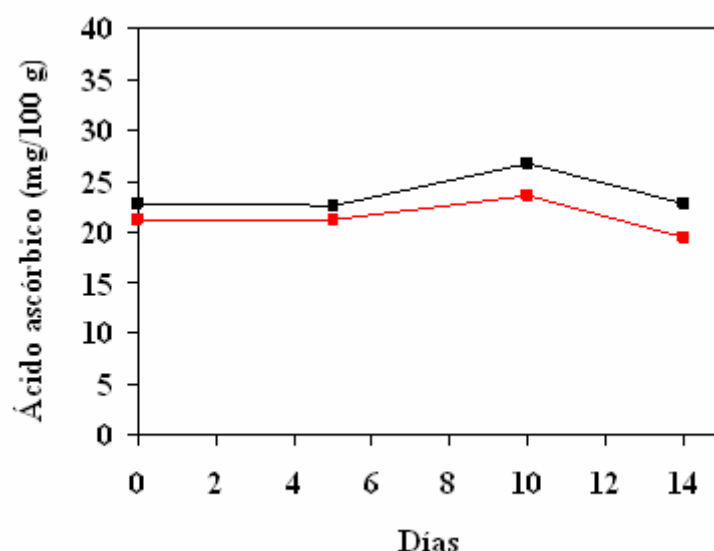


Fig. III.2.29. Cambios en el contenido de ácido ascórbico de pimientos enteros controles (■) y enteros tratados (■) durante el almacenamiento a 10 °C. (LSD_{0,05} = 2,0).

Los niveles de ácido dehidroascórbico de los frutos representaron el 12% o menos del contenido de vitamina C total, durante el almacenamiento (Fig. III.2.30.). Si bien los frutos enteros controles y tratados mostraron un ligero ascenso de ASA a los 10 días, no se observaron variaciones significativas del contenido de ácido dehidroascórbico durante el ensayo. A lo largo del almacenamiento refrigerado, los frutos tratados presentaron menores niveles de ADA que los controles.

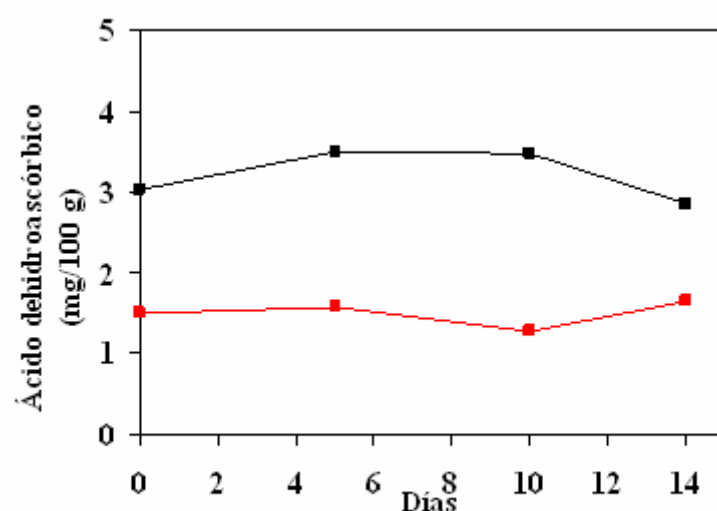


Fig. III.2.30. Cambios en el contenido de ácido dehidroascórbico de pimientos enteros controles (■) y enteros tratados (■), durante el almacenamiento a 10 °C. (LSD_{0,05} = 0,6).

Yahia et al. (2007) encontraron disminución de ASA y, en forma más marcada de ADA, en tomates controles y tratados con aire caliente (38 °C/24 h) durante 30 días de almacenamiento a 4 °C, mostrando los tratados menores valores que los controles. Por su parte, Howard y Hernández-Brenes (1998) informaron un descenso del contenido de ASA asociado a un incremento de ADA en pimientos rojos jalapeños almacenados a 4°C por 12 días.

Los pimientos descorazonados controles presentaron una concentración inicial de ácido ascórbico de $23,1 \pm 1,4$ mg/100 g tejido fresco, no significativamente diferente a la encontrada en los frutos enteros (Fig. III.2.31.) Posteriormente, el contenido de ASA bajó ligeramente a los 5 días manteniéndose constante en ese valor al día 10, presentando un nivel 11% menor que el inicial. En apio cortado, Viña y Chaves (2006), reportaron un máximo de ASA a los 14 días de almacenamiento a 10 °C. Sin embargo, durante 21 días a 1 °C el contenido de vitamina C fue retenido en zanahorias cortadas, mientras que en pimientos verdes cortados se encontró un ligero descenso (Pilon et al., 2006). Asimismo, Zhan et al. (2009) informaron una pérdida de ASA en berros frescos cortados almacenados por 5 días a 4 °C, asociándolo al incremento de ADA y a la presencia de O₂ en los envases ya que utilizaron films permeables a este gas. En cambio, Odriozola-Serrano et al. (2008) no encontraron cambios en tomates cortados

envasados en MAP durante el almacenamiento a 4 °C relacionándolo con la baja concentración de O₂ en los envases.

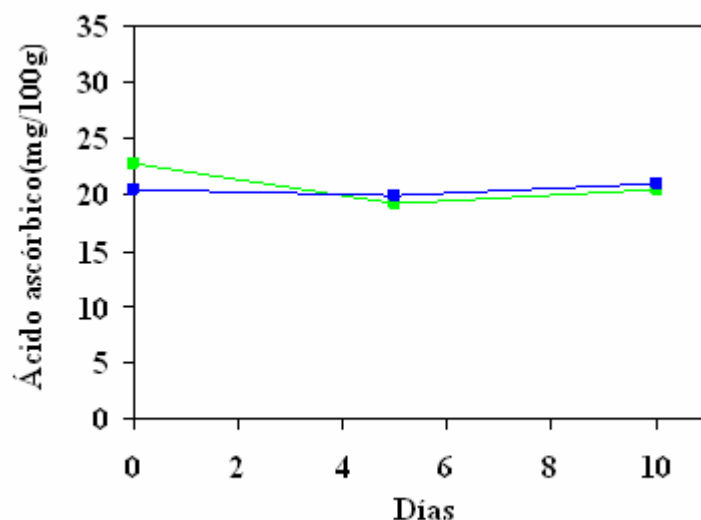


Fig. III.2.31. Cambios en el contenido de ácido ascórbico de pimientos descorazonados controles (■) y descorazonados tratados (■), durante el almacenamiento a 10 °C. (LSD_{0,05} = 2,0).

Inmediatamente después del tratamiento térmico, los pimientos descorazonados mostraron una concentración de ácido ascórbico 10% menor que la de los controles, al igual que lo observado por Viña y Chaves (2008) para apio cortado tratado por inmersión. Posteriormente, el contenido de ácido ascórbico de los frutos tratados permaneció constante hasta el día 10, mostrando a los días 5 y 10 valores similares a los controles (Fig. III.2.31.). Gonzalez-Aguilar et al. (2004) no encontraron cambios en los niveles de ASA en pimientos verdes cortados envasados en MAP almacenados a 10 °C, sin embargo, a 5 °C encontraron mayores valores por lo que la temperatura de almacenamiento fue un factor que afectó significativamente la retención del ASA. El efecto de la aplicación de los tratamientos térmicos por inmersión y aire caliente en apio cortado fue minimizar los cambios en la concentración de ASA con respecto a los controles durante el almacenamiento a 0°C (Viña y Chaves, 2008).

Durante el almacenamiento refrigerado de los frutos descorazonados, se encontraron disminuciones en el contenido de ácido dehidroascórbico, tanto para los pimientos controles como tratados, presentando ambos niveles menores del 3% del ASA total al final del almacenamiento (datos no mostrados). Sin embargo, en kiwi fresco cortado se

observó un incremento de ADA (correspondiente a una disminución de ASA) a los 6 días de almacenamiento a 10 °C (Agar et al., 1999).

Por otra parte, los frutos descorazonados que sufrieron sequía precosecha, presentaron inicialmente un valor de $34,9 \pm 1,5$ mg ácido ascórbico/100 g tejido fresco (Fig. III.2.32.). Tanto en los frutos controles y tratados, los niveles de ácido ascórbico aumentaron durante el almacenamiento, alcanzando un valor máximo a los 7 días y luego descendieron a un nivel superior al inicial. Los frutos descorazonados controles mostraron al día 12 un contenido de ácido ascórbico 25% mayor que el inicial y para los tratados sólo fue de un 13% superior.

A lo largo del ensayo, los pimientos tratados presentaron menores valores que los controles. Inmediatamente después del tratamiento, el ácido ascórbico descendió un 8% y al día 12 fue de un 15% menor que en los pimientos sin tratar (Fig. III.2.32.). Raffo et al. (2008) informaron que al cabo de 9 días a 8 °C los frutos cortados presentaban ligeras disminuciones (menores del 10%) en los niveles de ácido ascórbico con respecto del valor inicial, no encontrándose diferencias significativas en la evolución de pimientos controles (sin tratamiento) y tratados térmicamente.

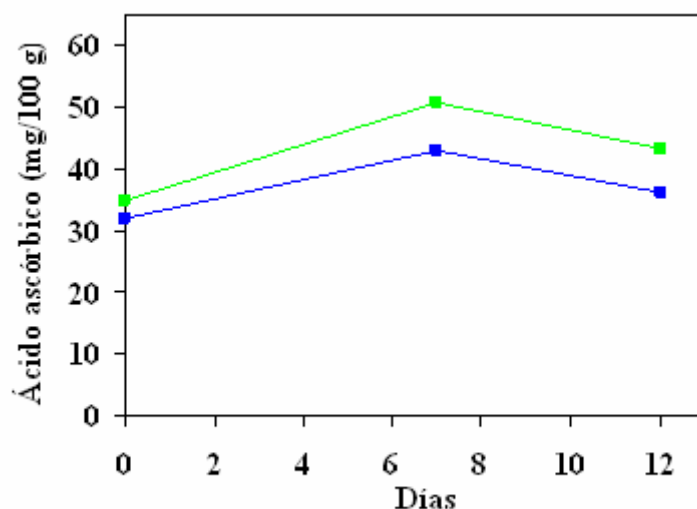


Fig. III.2.32. Cambios en el contenido de ácido ascórbico de frutos con estrés hídrico precosecha descorazonados controles (■) y tratados (■), durante el almacenamiento a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 2,7$).

Para los frutos que sufrieron un estrés hídrico precosecha, los niveles de ácido ascórbico representaron el 75% o más del contenido de vitamina C total, y los de ADA fueron inicialmente del 25%. Como se observa en la Fig. III.2.33., los pimientos

descorazonados con estrés hídrico, mostraron una evolución de ADA concordante con la del ácido ascórbico.

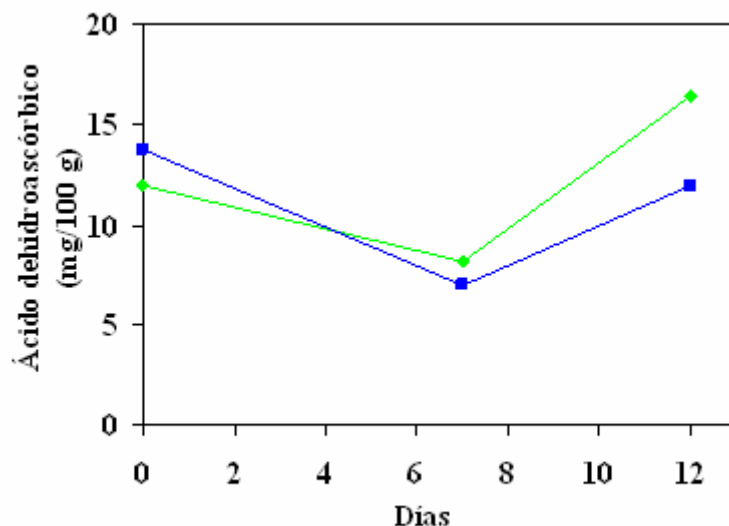


Fig. III.2.33. Cambios en el contenido de ácido dehidroascórbico de pimientos con estrés hídrico pre cosecha descorazonados controles (■) y descorazonados tratados (■), durante el almacenamiento a 10°C. (LSD_{0.05} = 3,8).

Los frutos controles mostraron un descenso del contenido de ADA al día 7 de almacenamiento aumentando posteriormente hasta alcanzar al día 12 un nivel superior al inicial. Por su parte, los pimientos tratados presentaron similares valores que los controles hasta el día 7 y después el contenido de ADA aumentó hasta un valor similar al inicial pero 27% menor que el control.

Como se observa en la Fig. III.2.34., en las experiencias llevadas a cabo para determinar la evolución durante las primeras horas de almacenamiento, para los frutos enteros controles se observó un aumento del 20% respecto de su valor inicial a las 4 horas, manteniéndose luego constante hasta el final del ensayo. Los tratamientos térmicos no tuvieron un efecto inmediato en los frutos enteros, sin embargo, los contenidos de ASA se incrementaron en forma continua hasta el final del ensayo, apareciendo las diferencias más importantes a las 24 horas, donde los valores fueron un 11% mayores que en los controles.

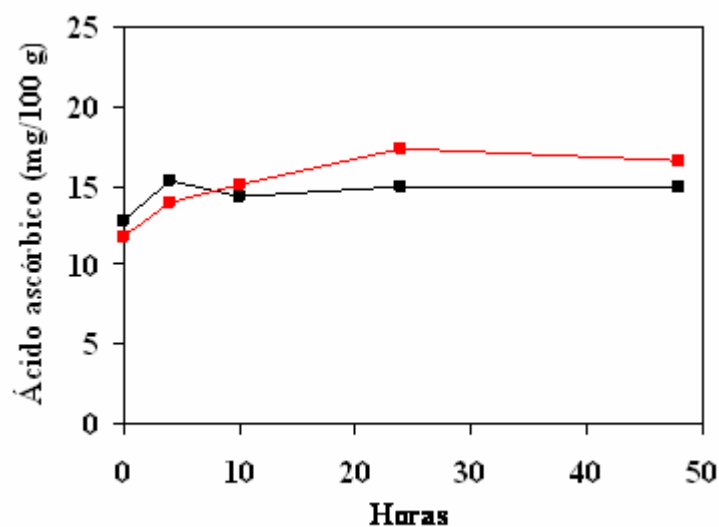


Fig. III.2.34. Cambios en el contenido de ácido ascórbico de frutos enteros controles (■) y enteros tratados (■), durante el almacenamiento por 48 horas a 10 °C. (LSD_{0,05} = 1,3).

Al igual que en los pimientos enteros, el contenido de ASA aumentó un 20% en los frutos descorazonados controles a las 4 horas de almacenamiento y posteriormente se mantuvo constante hasta el final del ensayo (Fig. III.2.35.).

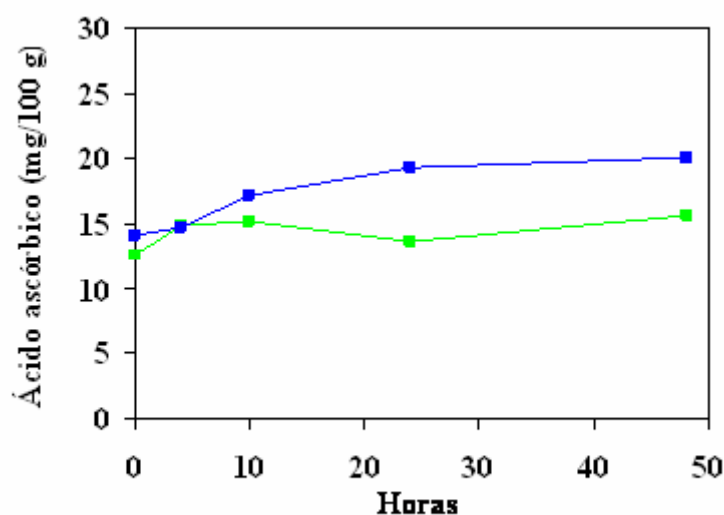


Fig. III.2.35. Cambios en el contenido de ácido ascórbico de frutos descorazonados controles (■) y descorazonados tratados (■), durante el almacenamiento por 48 horas a 10 °C. (LSD_{0,05} = 1,3).

En estas experiencias, tampoco se encontraron diferencias en el nivel de ASA luego del tratamiento térmico y posterior descorazonado. A las 4 horas de almacenamiento, los

frutos descorazonados tratados mostraron un incremento sin existir diferencias significativas ($p = 0,14$) con respecto a los controles y continuaron aumentando progresivamente en los pimientos tratados, finalizando los ensayos con valores mayores que los frutos descorazonados controles y que los pimientos enteros.

Por otra parte, el corte no provocó variaciones en el contenido de ácido ascórbico, presentando los frutos controles (enteros y descorazonados) similar evolución a lo largo del almacenamiento. Para todas las presentaciones, el contenido de ácido ascórbico representó más del 70% del nivel de vitamina C, mostrando los frutos enteros y descorazonados tratados mayores contenidos que los correspondientes pimientos controles a partir de las 24 horas de almacenamiento ((Fig. III.2.34. y III.2.35.).

El contenido de ácido deshidroascórbico estuvo inicialmente en el orden del 25-30% del contenido de vitamina C y los valores fueron similares en las cuatro presentaciones (frutos enteros controles y tratados; pimientos controles y tratados), por lo que no se observó una respuesta inmediata ni al corte ni al tratamiento térmico (Fig. III.2.36. y III.2.37.).

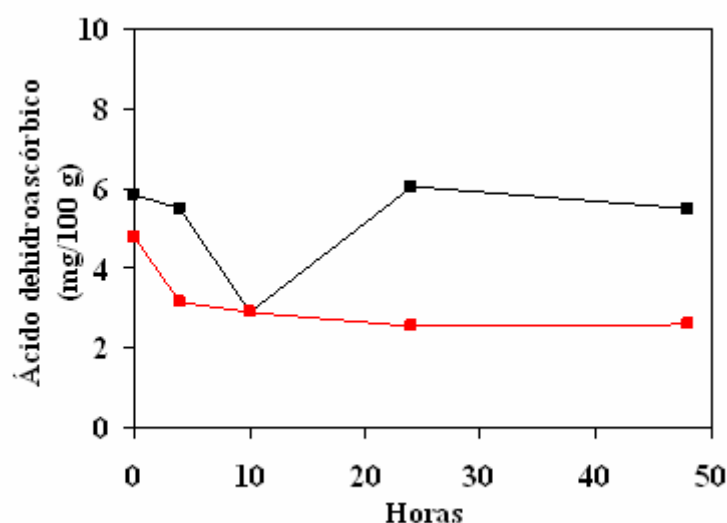


Fig. III.2.36. Cambios en el contenido de ácido deshidroascórbico de frutos enteros controles (■) y enteros tratados (■), durante el almacenamiento por 48 horas a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 1,4$).

En los pimientos Cherry enteros controles se encontró una notoria disminución a las 10 horas y luego aumentó alcanzando los valores iniciales, mientras que en los frutos enteros tratados hubo marcada caída y posteriormente permaneció constante hasta el final del almacenamiento (Fig. III.2.36.). Asimismo, Yahia et al. (2007) informaron un

descenso del contenido de ácido deshidroascórbico en tomates enteros almacenados a 4 °C por el tratamiento con aire caliente.

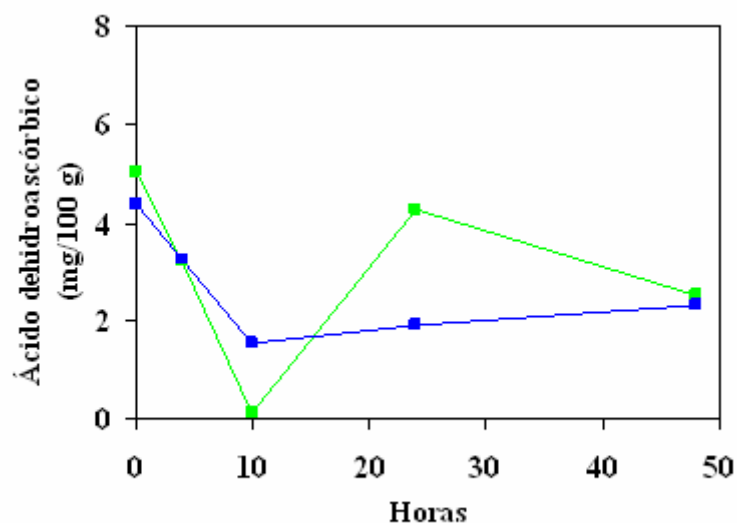


Fig. III.2.37. Cambios en el contenido de ácido dehidroascórbico de frutos descorazonados controles (■) y descorazonados tratados (■), durante el almacenamiento por 48 horas a 10 °C. (LSD_{0,05} = 1,4).

Además, los pimientos descorazonados controles y tratados presentaron tendencias similares a las observadas para los correspondientes frutos enteros (Fig. III.2.37.). Dentro de las primeras 10 horas se observó una importante disminución en los niveles de ADA de los pimientos enteros y descorazonados (controles y tratados), en concordancia con el aumento presentado en el contenido de ASA.

III.2.3.4. Poder antirradical

Como se observa en la Fig. III.2.38, donde se muestra la evolución de la actividad antirradical durante el almacenamiento refrigerado, expresada en valores de EC₅₀⁻¹, los frutos enteros controles y tratados presentaron ligeras diferencias del comportamiento de la actividad antioxidante durante el almacenamiento a 10 °C. El poder antioxidante de los pimientos enteros controles, fue inicialmente de $13,97 \pm 0,01 \text{ g}^{-1}$ tejido fresco y se mantuvo constante hasta el día 5 para después aumentar ligeramente alcanzando al día 14 un valor 13% mayor que el inicial. En pimientos rojos cv. Cornago almacenados a 0 °C, se informaron de aumentos en la actividad antirradical más acusados, del orden del 61% (Andrade Cuvi, 2008).

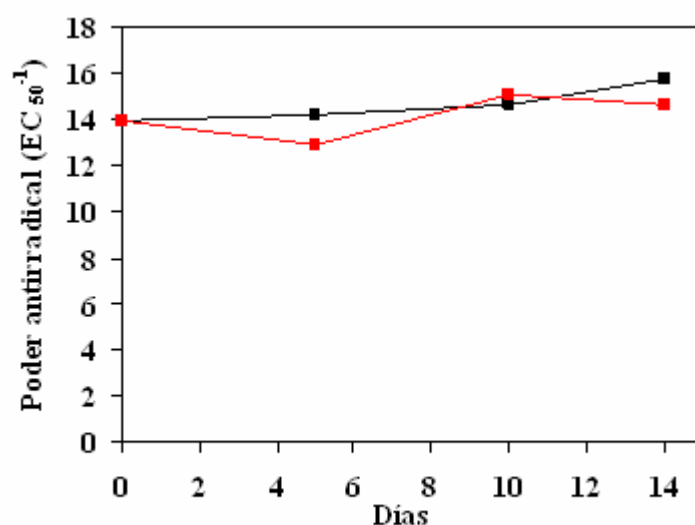


Fig. III.2.38. Cambios en los valores de EC_{50}^{-1} (g^{-1} tejido fresco) de frutos enteros controles (■) y enteros tratados (■) durante el almacenamiento a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 0,48$).

Inmediatamente después de ser tratados térmicamente, los frutos presentaron una actividad antirradical similar a la de los pimientos controles (Fig. III.2.38.), pero, dicha actividad disminuyó a los 5 días, incrementando luego a valores próximos al inicial al día 14.

Los pimientos descorazonados tuvieron valores de EC_{50}^{-1} similares a los encontrados en los pimientos enteros, al igual que lo reportado para seis cultivares de tomates (Odriozola-Serrano et al., 2008) (Fig. III.2.39.). Durante el almacenamiento, la capacidad antirradicalaria descendió un 32% a los 5 días y luego aumentó alcanzando a los 10 días un valor un 15% menor que el nivel inicial. En apio mínimamente procesado se informó de una disminución del poder antioxidante durante los primeros 7 días de almacenamiento a 10 °C, seguida de un incremento alcanzando un valor máximo a los 14 días. En tomates cortados almacenados a 4 °C los descensos en la actividad antioxidante fueron atribuidos al estrés por corte (Odriozola-Serrano et al., 2008) Mientras en brócoli mínimamente procesado almacenado a 4 °C la actividad antirradical permaneció constante hasta el día 14 y luego disminuyó ligeramente (Lemoine et al., 2007).

En nuestras experiencias, el tratamiento térmico no tuvo influencia sobre el poder antioxidante inicial de los pimientos Cherry descorazonados, a diferencia de lo encontrado en apio cortado tratado por inmersión (50 °C/90 s) por Viña y Chaves

(2008) quienes reportaron una disminución del 41% en el poder antioxidante. Posteriormente, a los 5 días de almacenamiento, los frutos tratados presentaron un descenso del 39%, manteniéndose invariable hasta el final del ensayo (Fig. III.2.39.). En todos los ensayos, los pimientos tratados mostraron valores más reducidos que los controles, al igual que lo informado para otros pimientos de la región (Sgroppo y Montiel, 2004; Sgroppo et al., 2005), mientras en apio tratado térmicamente, Viña y Chaves (2008), encontraron menores valores respecto del no tratado hasta el día 7 de almacenamiento a 0 °C pero no distinguieron diferencias en el comportamiento a partir del día 14.

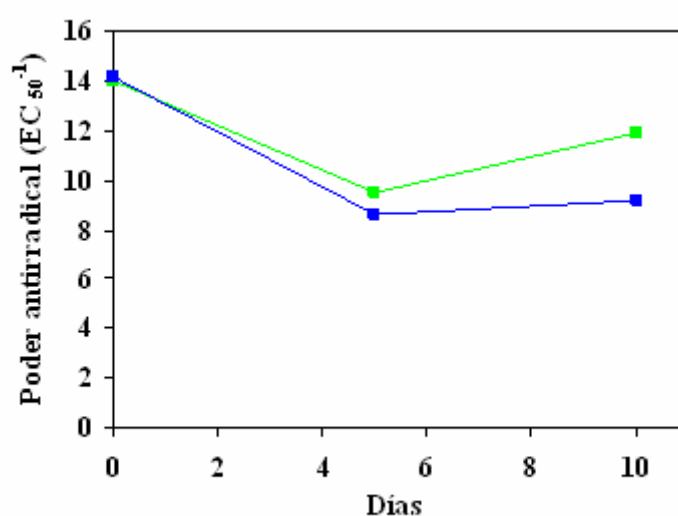


Fig. III.2.39. Cambios en los valores de EC_{50}^{-1} (g^{-1} tejido fresco) de frutos descorazonados controles (■) y descorazonados tratados (■), durante el almacenamiento a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 0,75$).

En los frutos con estrés hídrico sometidos al corte, se encontraron valores iniciales de EC_{50}^{-1} de $19,02 \pm 0,13 g^{-1}$ tejido fresco (Fig. III.40.), superior a lo observado en el resto de los ensayos. A diferencia de lo encontrado anteriormente en los frutos descorazonados, la actividad antirradicalaria presentó un valor máximo a los 7 días de almacenamiento, para disminuir al día 12 hasta un valor un 14% superior al inicial. La aplicación del tratamiento térmico resultó en una disminución del poder antirradical del 10% pero, durante el almacenamiento refrigerado se observó un máximo a los 7 días (similar al presentado en los pimientos controles), descendiendo luego al día 12 a un nivel un 13% superior al inicial y ligeramente menor que el de los controles.

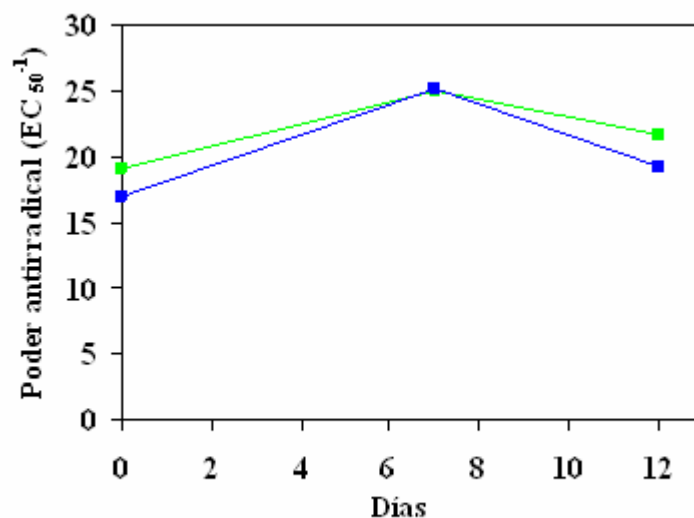


Fig. III.2.40. Cambios en los valores de EC_{50}^{-1} (g^{-1} tejido fresco) de frutos con estrés hídrico precosecha descorazonados controles (■) y tratados (■), durante el almacenamiento a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 0,61$).

Durante el almacenamiento refrigerado, los pimientos descorazonados con estrés hídrico precosecha mostraron un incremento de todos los componentes antioxidantes analizados (fenoles totales, flavonoides totales, ácido ascórbico) y del poder antirradical. En todos los casos se distinguió un máximo a los 7 días, alcanzando al final del almacenamiento valores al menos un 10% superiores al inicial. Ese incremento podría relacionarse con el estrés precosecha debido a la sequía que pudo haber promovido el aumento de los compuestos antioxidantes. Estos frutos, cuando se los trató térmicamente, presentaron valores ligeramente menores que los controles para fenoles, flavonoides y poder antioxidante a los días 0 y 12, mientras los contenidos de ácido ascórbico fueron más reducidos durante todo el período de almacenamiento. El tratamiento térmico afectó la evolución de los componentes antioxidantes, reduciendo la acumulación de los mismos. Como se observa en la Fig. III.2.41., en las experiencias llevadas a cabo para determinar los cambios en pimientos Cherry durante las primeras horas de almacenamiento, inicialmente los pimientos enteros controles presentaron un valor de EC_{50}^{-1} de $14,09 \pm 0,08 g^{-1}$, mientras que se produjo un ligero aumento (13%) inmediatamente después del tratamiento térmico (55 °C/60 s). Durante el almacenamiento a 10 °C, los pimientos enteros presentaron una caída de la actividad antioxidante hasta las 10 horas, siendo más marcada a las 4 horas (del 20% para los frutos controles y del 40% para los

tratados), presentando los pimientos tratados valores menores que los controles. Posteriormente, estos valores se incrementaron hasta alcanzar a las 48 horas valores similares a los presentados a las 4 horas.

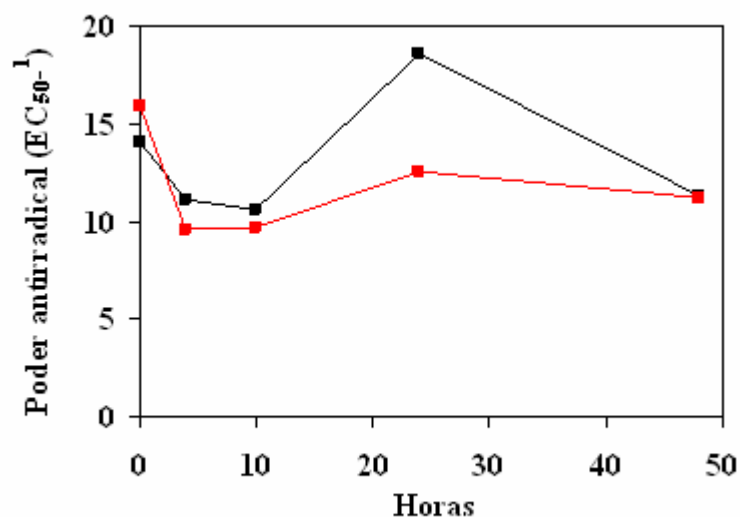


Fig. III.2.41. Cambios en los valores de EC_{50}^{-1} (g^{-1} tejido fresco) de frutos enteros controles (■) y enteros tratados (■), durante el almacenamiento por 48 horas a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 0,47$).

Por otra parte, el corte prácticamente no afectó el poder antioxidante al inicio del ensayo, ya que inmediatamente después del descorazonado los frutos presentaron un valor ligeramente mayor (5%) que los pimientos enteros. Sin embargo, durante el almacenamiento los frutos descorazonados controles tuvieron valores 20-30 % menores que los correspondientes enteros (Fig. III. 2.41. y III.2.42.).

En los frutos tratados térmicamente y descorazonados, inmediatamente después del tratamiento los valores de EC_{50}^{-1} fueron menores (15%), pero, a lo largo del almacenamiento, presentaron valores marcadamente mayores que los frutos descorazonados controles. Al igual que lo observado en frutos enteros controles y tratados, se detectó un importante descenso (20-40%) en la actividad antirradicalaria a las 4 horas de almacenamiento. Posteriormente, los frutos controles prácticamente no presentaron cambios, mientras que en los tratados se produjo un progresivo aumento hasta alcanzar un valor 20% mayor que el inicial (Fig. III.2.42.). Sgroppo y Montiel (2004), encontraron una ligera caída de la actividad antioxidante en pimientos morrones trozados controles y un marcado pero menor descenso en los tratados a los 2 días de almacenamiento a 11 °C.

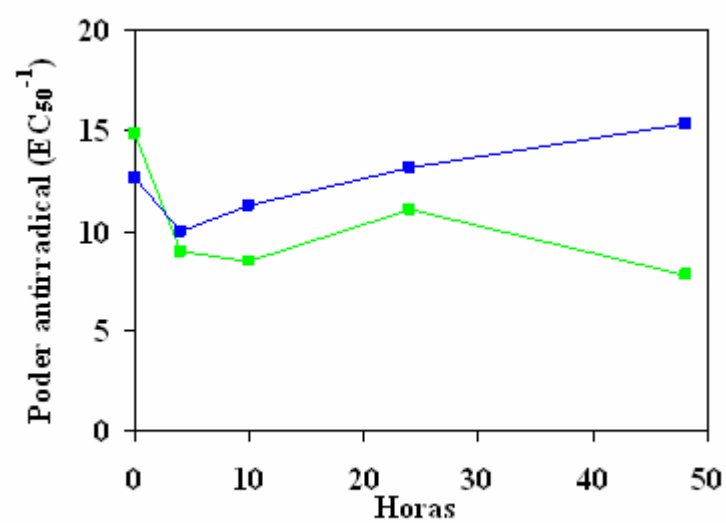


Fig. III.2.42. Cambios en los valores de EC_{50}^{-1} (g^{-1} tejido fresco) de frutos descorazonados controles (■) y descorazonados tratados (■), durante el almacenamiento por 48 horas a 10 °C. ($LSD_{0,05} = 0,47$).

III.2.4. CONCLUSIONES

El tratamiento térmico por inmersión en agua a 55 °C durante 60 segundos retardó la acumulación de carotenoides en los frutos enteros y descorazonados refrigerados y en general retuvo un 85% o más los componentes fenólicos y el ASA.

Por otra parte, no afectó los contenidos de compuestos fenólicos y provocó una acumulación de ASA durante las primeras 48 horas de almacenamiento de frutos enteros y descorazonados. Además el tratamiento térmico produjo una menor pérdida de la actividad antioxidante en los pimientos descorazonados dentro de las 10 horas de almacenamiento a 10 °C, induciendo a partir de las 24 horas un incremento de la misma. Los resultados sugieren que el tratamiento térmico por inmersión en agua a 55 °C durante 60 segundos es efectivo en mantener los compuestos bioactivos de pimientos Cherry frescos enteros y descorazonados.

CAPÍTULO III

PARTE 3

Efecto del tratamiento térmico
sobre las enzimas involucradas en el
metabolismo fenólico en pimientos

Cherry almacenados a 10 °C

III.3.1. INTRODUCCIÓN

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas que afectan ciertas características de calidad de los vegetales como ser apariencia, sabor, aroma y propiedades promotoras de la salud. El contenido de estos compuestos depende de muchos factores que influyen sobre su estabilidad, biosíntesis y degradación. En cuanto a su biosíntesis, interviene la enzima fenilalanina-amonio-liasa (PAL, EC 4.3.1.5) que puede ser inducida por diferentes condiciones de estrés ambientales. Por otra parte, las enzimas polifenoloxidasas (PPO, EC 1.14.18.1) y peroxidasa (POX, EC. 1.11.1.7.) son las principales enzimas responsables de las pérdidas de calidad debidas a la degradación de los fenoles en frutas y vegetales (Tomás- Barberán y Espín, 2001).

La fenilalanina-amonio-liasa es una de las enzimas involucradas en el mecanismo de defensa de las plantas y es clave en la regulación del metabolismo de los fenilpropanoides en frutos y vegetales. Se ha señalado su importancia en la biosíntesis de fenoles y flavonoides (Dixon y Paiva, 1995). La mayoría de los compuestos fenólicos son sintetizados a partir de fenilalanina a través de la acción de la PAL y la formación de ácido cinámico (Fig. III.3.1.), que luego es convertido a ácido cumárico y demás derivados.

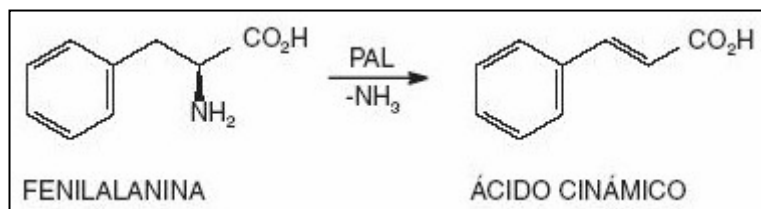


Fig. III.3.1. Desaminación de la L-fenilalanina catalizada por PAL.

La polifenoloxidasas es una enzima intracelular localizada en cloroplastos, mitocondrias, microsomas, peroxisomas, o en el citoplasma; aunque no se conoce con certeza su ubicación exacta en la estructura celular. Esta enzima cataliza la oxidación O-dependiente de fenoles a quinonas (Thiyapong y Steffens, 1997). Inicialmente la PPO cataliza la hidroxilación en posición orto de los fenoles para producir o-difenoles (actividad cresolasa), y posteriormente oxida dichos difenoles para formar o-quinonas (actividad catecolasa) (Fig. III.3.2.). El pardeamiento final de los vegetales frescos cortados es consecuencia de la síntesis de compuestos coloreados (melaninas)

producidos por la polimerización de las quinonas. Según varios autores, la PPO juega un papel importante en la resistencia de las plantas a infecciones virales y microbianas, así como también ante condiciones climáticas adversas, siendo los principales sustratos de estas enzimas los polifenoles.

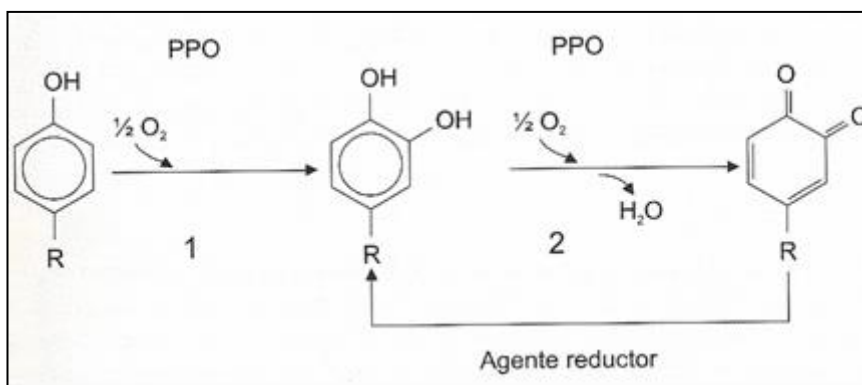


Fig. III.3.2. Reacciones catalizadas por PPO. 1) o-hidroxilación de un monofenol para originar un o-difenol (actividad monofenolasa); 2) oxidación de un o-difenol para dar lugar a una o-quinona (actividad difenolasa).

La peroxidasa es una oxidorreductasa muy ubicua en plantas que puede hallarse en una forma soluble y en otra ligada a membrana. Se encuentra en vacuolas, tonoplasto, plasmalema y en la pared celular (interna y externamente) (Thongsook y Barret, 2005). Es una de las enzimas participantes de la detoxificación del H_2O_2 en tejidos vegetales, además de la catalasa y la ascorbatoperoxidasa (Zhang et al. 2009). También ha sido relacionada con la defensa de los tejidos (Tomás-Barberán y Espín, 2001). La función principal de POX es catalizar la reducción del H_2O_2 , actuando como donadores de átomos de hidrógeno los fenoles o las aminas aromáticas.

Se ha propuesto un efecto sinérgico de PPO-POX, esto es, que la PPO podría actuar como promotor de la actividad POX mediante la generación de H_2O_2 durante la oxidación de compuestos fenólicos en reacciones catalizadas por PPO y también por el uso por la POX de intermediarios semiquinónicos (o formas quinónicas) de reacciones catalizadas por PPO como sustratos oxidantes (sustratos de peróxido) (Richard-Forget y Gauillard, 1997; Tomás-Barberán y Espín, 2001; Chisari et al., 2008).

La calidad de los vegetales relacionada a los compuestos fenólicos puede ser afectada por: factores genéticos, agronómicos, tratamientos tecnológicos aplicados durante el almacenamiento postcosecha y el procesamiento y almacenamiento de los productos procesados. Algunos tratamientos postcosecha (almacenamiento refrigerado, atmósferas

controladas o modificadas, etc.) pueden mejorar la calidad relacionada a los compuestos fenólicos (Tomás- Barberán y Espín, 2001).

En cuanto al almacenamiento refrigerado, la PAL se asocia con el estrés por baja temperatura en los tejidos vegetales (Chen et al., 2008) presentando la mayor actividad enzimática a bajas temperaturas (Faragher, 1983), sin embargo, las temperaturas de refrigeración (0- 4 °C) preservan las enzimas PPO y POX. Cambios en ambas enzimas durante el almacenamiento refrigerado dependen de otros factores: si los frutos son enteros o cortados, su estado de madurez, la humedad relativa (Tomás-Barberán y Espín, 2001).

Los tratamientos térmicos pueden ser usados para prevenir trastornos fisiológicos que llevan a la pérdida de calidad en productos enteros y frescos cortados, frecuentemente relacionada con el metabolismo fenólico y el pardeamiento (Tomás-Barberán y Espín, 2001). Podría haber un orden jerárquico de respuesta de las plantas frente a diferentes tipos de estrés abiótico. El tejido expuesto simultáneamente al tratamiento térmico y al corte, responde preferentemente al tratamiento generando proteínas de shock térmico (HSPS) en lugar de enzimas del metabolismo fenilpropanoide inducidas por el corte (ej. PAL) (Loaiza-Velarde et al., 1997; Saltveit, 2000).

III.3.2. OBJETIVO

Estudiar la evolución de las enzimas PAL, PPO y POX durante el almacenamiento refrigerado de los pimientos Cherry.

Evaluar el efecto del tratamiento térmico (55 °C/60 s) sobre las enzimas en pimientos Cherry enteros y descorazonados dentro de las primeras 48 horas.

Determinar la relación que se establece entre los compuestos fenólicos de los pimientos Cherry almacenados a 10°C y las enzimas asociadas al metabolismo fenólico.

III.3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

III.3.3.1. Actividad Fenilalanina-amonioliase (PAL)

En los pimientos Cherry enteros, la actividad específica de la enzima PAL tuvo inicialmente un valor de $114,96 \pm 5,52$ UAE_{PAL} (Δ DO/h.g proteína). Estos valores estuvieron en el orden de los informados en castaña de agua de China (Pen y Jiang, 2003), mientras que fueron mayores que los niveles encontrados en brócoli (Lemoine, 2009) y menores que los presentados por tomates Cherry (Zhao et al., 2009).

Como se observa en la Fig. III.3.3., los frutos enteros controles presentaron inicialmente una actividad PAL de $114,96 \pm 5,52$ Δ DO/h.g proteína, que disminuyó un 73% al 5° día de almacenamiento refrigerado para después aumentar gradualmente hasta alcanzar al día 14 valores próximos a los iniciales. En otros frutos como mangos almacenados durante 15 días a 25°C, se informó un máximo de actividad PAL a las 24 horas de almacenamiento (González-Aguilar et al., 2007), al igual que en cáscaras de bananas almacenadas a 8 °C, Chen et al. (2008), observaron un máximo de actividad al 9° día y en lechugas romanas el máximo apareció a los 2 días durante el almacenamiento a 10 °C (Campos-Vargas y Saltveit, 2002). En duraznos, Ghaouth et al. (2003), encontraron un continuo aumento de actividad PAL durante 4 días a 24 °C, al igual que Nguyen et al. (2003) en cáscara de bananas enteras almacenadas a temperaturas de refrigeración, siendo el incremento más notorio cuanto más baja fue la temperatura. Independientemente de la temperatura de almacenamiento, en bananas y duraznos se informó que el incremento en la actividad PAL estaba relacionado con aumento en los transcriptores de RNAm y un aumento en la concentración de PAL (Ghaouth et al., 2003; Chen et al., 2008). Campos-Vargas y Saltveit (2002) atribuyeron la caída de la actividad de la PAL, posterior al máximo, a una disminución de la síntesis o a un incremento de la actividad del sistema de inactivación de la PAL.

Según se señaló en el capítulo III parte 2, el contenido de fenoles totales de los frutos enteros prácticamente no varió durante 14 días de almacenamiento, mientras que los flavonoides totales mostraron ligeras disminuciones desde el día 10 (coincidentes con los menores niveles de PAL a partir del día 5).

En mangos y en bananas, se encontró que la activación de la enzima PAL fue acompañada de un incremento de compuestos fenólicos (González-Aguilar et al., 2007; Chen et al., 2008), informándose particularmente de una acumulación de flavonoides en mangos.

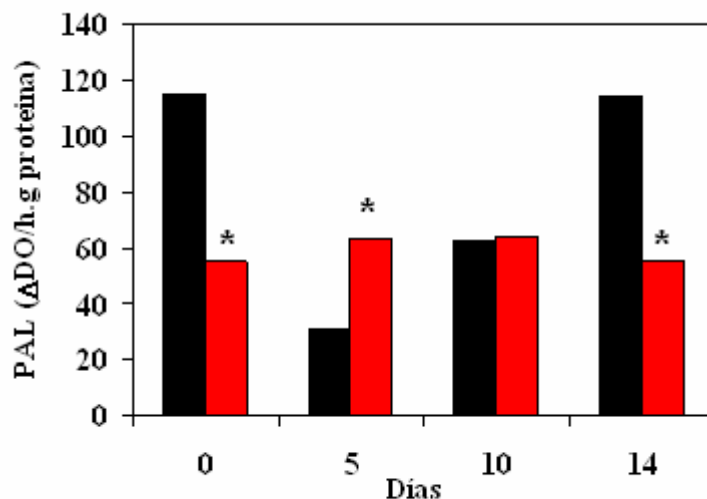


Fig. III.3.3. Evolución de la actividad específica de la enzima PAL en pimientos enteros controles (■) y tratados (■), almacenados durante 14 días a 10 °C. UAE_{PAL} : $\Delta DO/h.g$ proteína. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. ($LSD_{0,05} = 17,19$).

En nuestras experiencias, inmediatamente después del tratamiento térmico por inmersión, la actividad PAL de los pimientos Cherry enteros disminuyó un 52% respecto de los frutos controles y luego, durante el almacenamiento refrigerado, los pimientos tratados mostraron valores de actividad PAL constantes. Por ende, al día 14 la actividad enzimática de los frutos tratados fue muy inferior a la actividad observada en los frutos controles (Fig. III.3.3.). Sin embargo, los contenidos de fenoles y flavonoides totales fueron similares o ligeramente inferiores que los niveles de los frutos controles aunque permanecieron prácticamente invariables durante el almacenamiento refrigerado. En mandarinas Fortuna almacenadas a bajas temperaturas (Martínez-Tellez y Lafuente, 1997) informaron que el tratamiento térmico (37 °C/3 días) previno el incremento de PAL. Estos resultados fueron coincidentes con lo informado por Vicente (2004) en frutillas tratadas con aire caliente (45 °C/3 h) almacenadas durante 48 horas a 20 °C, quien además encontró que el tratamiento térmico no afectó el contenido de fenoles totales. Mientras tanto, en bananas enteras tratadas térmicamente (38 °C/3 días)

y almacenadas durante 12 días a 8 °C, Chen et al. (2008), encontraron un incremento de la actividad PAL con un simultáneo aumento en el contenido de fenoles totales en la cáscara, presentando las muestras tratadas mayores valores que los controles desde el inicio y hasta el final del período de almacenamiento. Estas diferencias de comportamiento ante el tratamiento térmico podrían deberse a las características de los tejidos vegetales y su respuesta frente al estrés térmico.

En ciertos tejidos vegetales el corte produce una señal que induce la síntesis de proteínas específicas, entre ellas enzimas del metabolismo fenólico como la PAL, esta señal causa la transcripción del RNAm y la traducción, con lo que el incremento de la PAL lleva a una acumulación de compuestos fenólicos (Saltveit, 2000). Sin embargo, en los pimientos Cherry descorazonados controles no se encontraron cambios significativos en la actividad PAL a los 7 días de almacenamiento refrigerado. Inicialmente, estos frutos presentaron una actividad de $92,90 \pm 3,39 \Delta\text{DO/h.g proteína}$ (Fig. III.3.4.), mostrando un valor de $103,69 \pm 9,30 \Delta\text{DO/h.g proteína}$ al día 7 no siendo estadísticamente diferentes entre sí ($p > 0,05$), al igual que lo informado por Loaiza-Velarde et al. (2003) para apio cortado a los 7 días de almacenamiento a 10 °C. Por otra parte, Lemoine (2009) encontró valores prácticamente constantes para brócoli mínimamente procesado durante el almacenamiento a 20 °C y un posterior aumento al día 7.

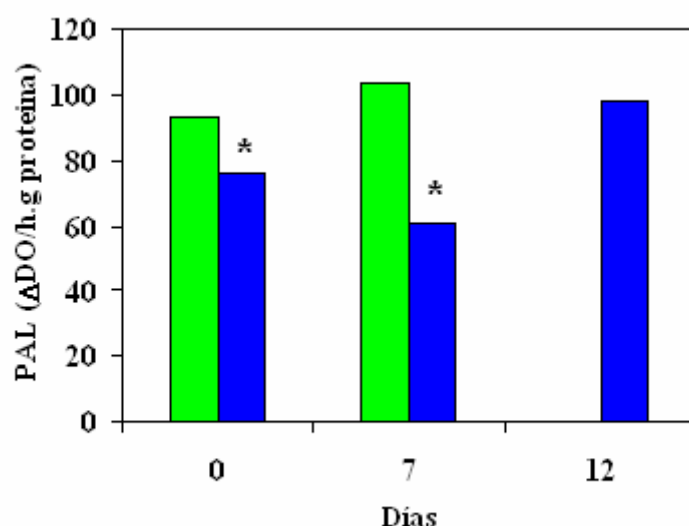


Fig. III.3.4. Evolución de la actividad específica PAL de los pimientos descorazonados controles (■) y tratados (■) durante el almacenamiento a 10 °C. UAE_{PAL} : $\Delta\text{DO/h.g proteína}$. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. ($\text{LSD}_{0,05} = 14,83$).

Los contenidos de fenoles y flavonoides totales, presentados en el capítulo III parte 2 correspondientes a los pimientos descorazonados controles también se mantuvieron constantes hasta el día 7. En experiencias efectuadas con otros vegetales cortados, lechuga, zanahoria y jícama almacenados a mayor temperatura, 20 °C, Heredia y Cisneros-Zevallos (2009 a) encontraron un marcado incremento de la actividad PAL a los 4 días de almacenamiento, con un simultáneo aumento en el contenido de fenoles.

Los resultados encontrados en este trabajo indican que el tratamiento térmico aplicado provocó una disminución en la actividad PAL. Es así que, una vez tratados los pimientos y luego descorazonados, se observó una disminución en la actividad PAL, del orden del 18% con respecto a la actividad determinada en los frutos descorazonados controles (Fig. III.3.4.). Si bien a los 7 días de almacenamiento a 10 °C, los pimientos tratados presentaron una caída del 20% respecto de la actividad PAL inicial, al día 12 se observó un marcado incremento alcanzando un valor de $98,26 \pm 8,42 \Delta\text{DO/h.g proteína}$, similar a la actividad inicial determinada en los frutos controles. Se ha demostrado en otros productos cortados la reducción de la actividad PAL por el tratamiento térmico. En lechuga iceberg cortada, Loaiza-Velarde et al. (1997), informaron que tratamientos entre 45-55 °C durante cortos tiempos redujeron el incremento de PAL, la acumulación de fenoles y el pardeamiento observado en las muestras controles. En apios cortados sometidos a un tratamiento térmico (50 °C/90 s), Loaiza-Velarde et al. (2003), no encontraron un efecto significativo en la actividad PAL inmediatamente después de aplicado, pero, transcurridas 24 horas almacenamiento a 10 °C también reportaron una actividad enzimática significativamente menor que en los apios controles.

Como se señaló en el capítulo III.2. , los contenidos de fenoles y flavonoides totales en los pimientos tratados descorazonados fueron ligeramente inferiores que los niveles de los frutos controles y aumentaron durante el almacenamiento alcanzando un máximo a los 7 días, no encontrándose una correlación lineal de los compuestos fenólicos con la actividad PAL.

En las experiencias llevadas a cabo para determinar la evolución de la actividad PAL en pimientos enteros durante las primeras horas de almacenamiento, se detectó un marcado incremento en la actividad de dicha enzima dentro de las 10 horas a 10 °C (Tabla III.3.1.). En lechugas, también almacenadas a 10 °C, varios autores informaron que actividad PAL permaneció casi constante durante las primeras 24 horas de

almacenamiento (Campos-Vargas y Saltveit, 2002; Campos-Vargas et al., 2005). De igual forma, en bananas enteras almacenadas a 22 °C durante 48 horas, Chen et al. (2009), no encontraron cambios en los niveles de proteína PAL ni en el RNAm de PAL, siendo consistente con el contenido de fenoles determinado durante el almacenamiento. Sin embargo, González-Aguilar et al. (2007), encontraron un progresivo aumento de la actividad PAL de mangos enteros controles hasta las 24 h de almacenamiento a 25 °C.

Como se observa en la Tabla III.3.1., los pimientos enteros tratados térmicamente, mostraron valores de actividad PAL prácticamente constantes dentro de las primeras horas, aunque inferiores a la determinada en pimientos controles al final del almacenamiento, debido al descenso en la misma como resultado del choque térmico aplicado. También en lechugas se observó que los tratamientos térmicos (45 °C/2 min) aplicados indujeron una actividad PAL más reducida que la encontrada en las hojas controles durante 12 horas de almacenamiento a 10 °C (Campos-Vargas et al., 2005).

Tabla III.3.1. Valores de actividad PAL específica relativa a la actividad enzimática inicial en pimientos enteros y descorazonados controles y tratados durante el almacenamiento por 10 horas a 10 °C.

Corte/Tratamiento*	Horas a 10 °C		
	0	4	10
EC	1	4,17	5,51
ET	1	0,96	0,91
DC	1	1,49	1,23
DT	1	1,57	1,51

*EC: enteros controles, ET: enteros tratados, DC: descorazonados controles, DT: descorazonados tratados. (LSD_{0,05} = 0,17).

Una vez descorazonados los pimientos, la actividad PAL se incrementó a las 4 horas un 49% respecto al valor inicial y luego disminuyó a las 10 h de almacenamiento refrigerado alcanzando un valor 23% mayor que la actividad inicial (Tabla III.3.1.). Estos resultados son coincidentes con los obtenidos en apio cortados, aunque los incrementos han sido inferiores en los pimientos descorazonados (Loaiza-Velarde et al., 2003). También las bananas cortadas mostraron un aumento en la actividad PAL, siendo estos niveles superiores a los encontrados en bananas enteras durante 48 horas de

almacenamiento a 22 °C, lo que llevó a la acumulación de fenoles (Chen et al., 2009). En ensayos realizados con lechuga romana se observó un máximo a las 18 horas de almacenamiento a 10 °C (Campos-Vargas y Saltveit, 2002).

Si bien los pimientos Cherry descorazonados tratados por inmersión también mostraron un notorio aumento en la actividad enzimática a las 4 horas de ensayo, la actividad PAL se mantuvo invariable a las 10 horas, presentando un valor un 51% superior que la actividad inicialmente determinada (Tabla III.3.1.). A lo largo del almacenamiento, la actividad específica de los pimientos tratados fue menor que en los frutos controles debido al efecto del tratamiento térmico, según se mostró en la Fig 2. Resultados similares informaron Loaiza-Velarde et al. (2003) donde se evidenció el efecto del tratamiento térmico sobre la actividad PAL luego del corte en apios, al igual que Campos-Vargas et al. (2005) en lechugas cortadas tratadas térmicamente (45 °C/2 min).

III.3.3.2. Actividad polifenoloxidasa (PPO)

La actividad de la enzima PPO determinada para los frutos enteros controles estuvo entre $25,82 \pm 1,96$ y $35,30 \pm 2,17$ UAE_{PPO} (Δ DO/min.g proteína), y no se observaron fenómenos de pardeamiento enzimático durante el almacenamiento refrigerado.

En los ensayos efectuados con diferentes tipos de corte, tratamiento térmico y tiempos de almacenamiento se encontraron valores comprendidos entre $75,42 \pm 6,02$ y $4,10 \pm 0,33$ Δ DO/min.g proteína, siendo superiores a los reportados para pimientos dulces rojos y verdes (Castro et al., 2008). En otros vegetales como berros, se encontraron valores cercanos (Zhan et al., 2009), mientras que fueron menores a los niveles encontrados en lechugas (Hisaminato et al., 2001), brócolis (Yuan et al., 2010), castañas de agua china (Pen y Jiang., 2003).

Como se observa en la Fig. III.3.5., los pimientos enteros controles presentaron una actividad PPO inicial de $25,82 \pm 1,96$ Δ DO/min.g proteína que permaneció prácticamente constante hasta el día 14 de almacenamiento refrigerado, observándose a los 10 días un ligero incremento no significativo estadísticamente. En frutos de carambola, Weller et al. (1997) informaron un ligero incremento a las 2 semanas de almacenamiento a 4,4 °C, mientras en otros tejidos almacenados 5 días a 20 °C, Yuan et al. (2010) encontraron un marcado y continuo aumento al finalizar las experiencias.

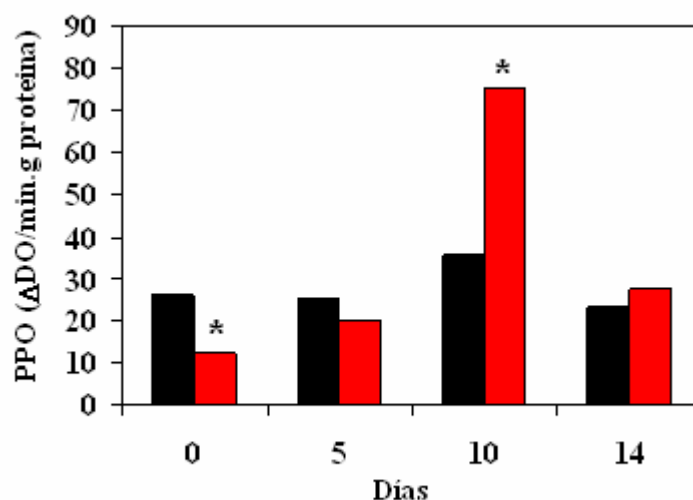


Fig. III.3.5. Evolución de la actividad específica PPO de los pimientos enteros controles (■) y tratados (■) durante 14 días de almacenamiento a 10 °C. UAE_{PPO} : $\Delta DO/min.g$ proteína. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. ($LSD_{0,05} = 11,07$).

Como resultado del tratamiento térmico aplicado, la actividad PPO de los pimientos enteros descendió a un valor de $12,20 \pm 0,89 \Delta DO/min.g$ proteína, pero luego, durante el almacenamiento, la actividad enzimática aumentó hasta alcanzar un valor máximo de $75,42 \pm 6,02 \Delta DO/min.g$ proteína a los 10 días, descendiendo nuevamente hasta $27,61 \pm 1,98 \Delta DO/min.g$ proteína a los 14 días de almacenamiento. Los valores de la actividad PPO al finalizar el almacenamiento fueron próximos a los determinados en los frutos controles (Fig. III.3.5.).

Como se observa en la Fig. III.3.6., en las experiencias con frutos descorazonados controles, se observó que la actividad PPO inicial fue de $4,10 \pm 0,33 \Delta DO/min.g$, aumentando 3 veces a los 7 días de almacenamiento refrigerado. Una tendencia similar en la evolución de la actividad PPO fue informada por Chisari et al. (2008) para melones frescos (cv. Amarillo) cortados almacenados a 5 °C durante 10 días. En varios cultivares de lechuga se observaron incrementos en la actividad PPO después del corte y durante los 7 días de almacenamiento a 5 °C (Cantos et al., 2001). Mientras que, Martín-Diana et al. (2005), vieron el aumento en lechugas Iceberg cortadas a partir del día 10 de almacenamiento a 4 °C.

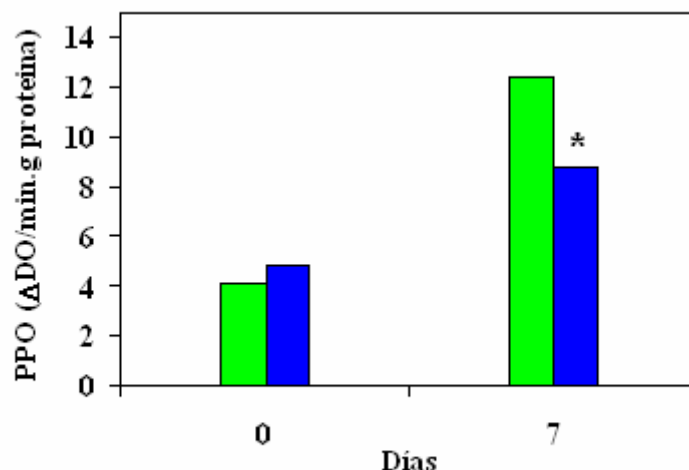


Fig. III.3.6. Evolución de la actividad específica PPO de los pimientos descorazonados controles (■) y tratados (■) durante 7 días de almacenamiento a 10 °C. UAE_{PPO} : $\Delta DO/min.g$ proteína. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. ($LSD_{0,05} = 3,70$).

Los tratamientos térmicos por inmersión efectuados, no modificaron la actividad inicial de PPO de los pimientos descorazonados, siendo los valores similares a los determinados en los frutos antes del tratamiento. Luego de 7 días de almacenamiento, se detectó un incremento de 1,8 veces en la actividad de los frutos tratados con respecto a su valor inicial, pero, a pesar de esto, su valor fue significativamente inferior al observado en los frutos controles al final de las experiencias (Fig. III.3.6.). En lechugas iceberg cortadas, Loaiza-Velarde et al. (1997), informaron una reducción en la actividad PPO luego de realizar tratamientos entre 45-55 °C durante cortos tiempos, mientras Fukumoto et al. (2002) encontraron resultados similares después del tratamiento térmico y a lo largo del almacenamiento, aunque la actividad permaneció constante durante 7 días a 5°C. Otros autores reportaron una disminución en la actividad PPO inducida por el tratamiento térmico en lechugas tratadas a 50 °C/60 s, recién a partir de los 8 días de almacenamiento a 4 °C (Martin-Diana et al., 2005).

Como se observa en la Tabla III.3.2., en las experiencias llevadas a cabo para determinar la evolución de la actividad PPO en pimientos Cherry durante las primeras horas de almacenamiento, los frutos enteros controles mostraron un progresivo incremento de la actividad específica PPO relativa a su valor inicial durante las primeras 10 horas a 10 °C, llegando a valores 1,89 veces superiores al inicial. Por su parte, para los pimientos tratados térmicamente se detectó un marcado descenso de la actividad

enzimática a las 4 horas de almacenamiento, la cual volvió a aumentar alcanzando valores 25% menores que el inicial a las 10 horas, aunque estos incrementos siempre fueron menores a los observados en los frutos controles. Además, durante los ensayos, los frutos enteros tratados presentaron una menor actividad específica que los pimientos enteros controles debido a la caída inicial de la actividad enzimática por efecto del tratamiento térmico, según se mostró en la Fig III.3.5. También en ramilletes de brócoli almacenados 24 horas a 20 °C fue reportado un aumento en la actividad PPO por Yuan et al. (2010).

Tabla III.3.2. Valores de actividad PPO específica relativa a la actividad enzimática inicial en pimientos enteros y descorazonados controles y tratados durante el almacenamiento por 10 horas a 10 °C.

Corte/Tratamiento*	Horas a 10 °C		
	0	4	10
EC	1	1,42	1,89
ET	1	0,32	0,75
DC	1	0,82	0,98
DT	1	0,47	1,28

*EC: enteros controles, ET: enteros tratados, DC: descorazonados controles, DT: descorazonados tratados. (LSD_{0,05} = 0,22).

En cuanto a los frutos descorazonados controles, según puede observarse en la Tabla III.3.2., la actividad PPO específica relativa permaneció invariable hasta las 10 horas de almacenamiento con respecto al valor inicial. Sin embargo, en los frutos tratados se observó un descenso cercano a la mitad de la actividad inicial a las 4 horas de almacenamiento, aumentando significativamente a las 10 horas de almacenamiento hasta un valor 28% mayor que la actividad inicial. Además, los pimientos tratados presentaron al final del almacenamiento una actividad absoluta superior al valor de los frutos controles dado que, como se mencionó anteriormente, el tratamiento térmico de los frutos descorazonados no afectó inicialmente la actividad enzimática.

III.3.3.3. Actividad peroxidasa (POX)

Para los diferentes tipos de corte, tratamiento y tiempos de almacenamiento, los valores de actividad de la POX de los pimientos Cherry, se encontraron comprendidos en el

rango de $12254,63 \pm 263,46$ a $2516,22 \pm 151,78$ UAE_{POX} ($\Delta\text{DO}/\text{min.g}$ proteína) . Estos valores fueron menores que los encontrados en pimientos 80-90% rojos cv. Cornago (Andrade Cuvi, 2008) pero resultaron superiores comparados con los observados para pimientos dulces rojos y verdes (Castro et al., 2008). En otros vegetales como el brócoli (Lemoine, 2009) se encontraron valores cercanos a los Cherry, mientras fueron menores que los informados en brócoli y en castaña de agua (Pen y Jiang, 2003; Yuan et al., 2010) y mayores que los encontrados en frutillas (Fernández-Trujillo et al., 2007).

Como se observa en la Fig. III.3.7., los pimientos enteros controles presentaron una actividad POX de $2582,78 \pm 34,31$ $\Delta\text{DO}/\text{min.g}$ proteína al inicio del almacenamiento a 10°C . Posteriormente, la actividad enzimática incrementó alcanzando un valor máximo de $6230,90 \pm 50,64$ $\Delta\text{DO}/\text{min.g}$ proteína a los 10 días de almacenamiento refrigerado, llegando al día 14 con un valor un 53% superior al inicial. De la misma forma, Erkan et al. (2008) encontraron en frutillas enteras almacenadas a 10°C un máximo de actividad POX a los 5 días y mostrando a los 15 días una actividad enzimática similar a la inicial. Cuando el almacenamiento de las frutillas se efectuó a una temperatura más reducida, 2°C , Fernández-Trujillo et al. (2007), observaron un retardo de 4 días en el inicio del aumento de la actividad POX, mostrando al día 12 un valor 4 veces mayor al inicial, lo cual fue relacionado con la senescencia.

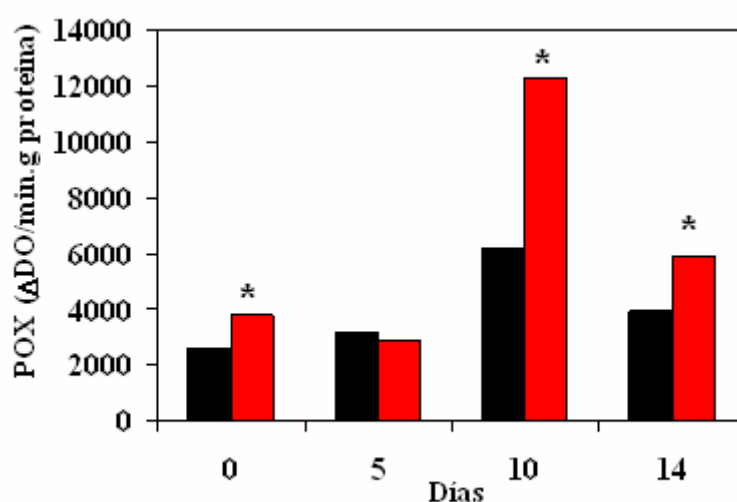


Fig. III.3.7. Evolución de la actividad específica POX de los pimientos enteros controles (■) y tratados (■) durante 14 días de almacenamiento a 10°C . UAE_{POX} : $\Delta\text{DO}/\text{min.g}$ proteína. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. ($\text{LSD}_{0,05} = 354,80$).

Inmediatamente después del tratamiento térmico de los pimientos enteros, la actividad POX aumentó a un valor de $3783,54 \pm 226,29 \Delta\text{DO}/\text{min.g proteína}$. A los 10 días de almacenamiento, se observó un incremento más notorio encontrándose una actividad de $12254,64 \pm 263,46 \Delta\text{DO}/\text{min.g proteína}$ en los frutos tratados, la cual luego disminuyó a un valor un 56% mayor que el inicial (Fig. III.3.7.). Los pimientos tratados presentaron mayores actividades enzimáticas que los pimientos controles a los días 0, 10 y 14 de almacenamiento. Sin embargo, Vicente et al. (2006), encontraron un incremento de la actividad POX de frutillas almacenadas durante 14 días a 0 °C, no observando diferencias entre frutos controles y tratados con aire caliente (45 °C/3 h) inmediatamente después del tratamiento y a lo largo del almacenamiento; aunque las frutillas tratadas tuvieron menores valores cuando fueron sometidas a un estrés secundario debido al almacenamiento durante 2 días a 20 °C, lo que podría indicar que experimentaron menor daño de tejido que los controles. En cabezas de brócoli a los 6 días de almacenamiento a 10 °C, Zhang et al. (2009), no detectaron cambios en la evolución de la actividad entre vegetales controles y tratados (55 °C/30 s).

A excepción de lo que se observó luego de los tratamientos térmicos, la evolución de la actividad POX fue similar a la presentada por la PPO (Fig. III.3.5.).

Como se muestra en la Fig. III.3.8., al inicio del almacenamiento refrigerado, los frutos descorazonados controles presentaron una actividad POX de $2516,22 \pm 151,78 \Delta\text{DO}/\text{min.g proteína}$, aumentando un 20% al día 7.

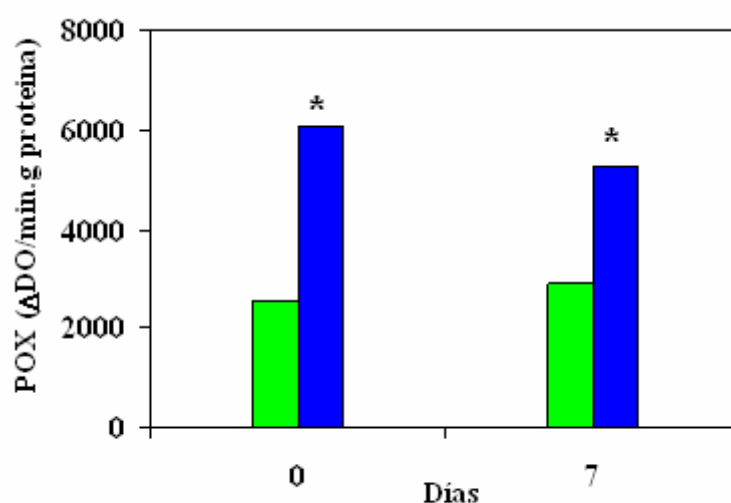


Fig. III.3.8. Evolución de la actividad específica POX de los pimientos descorazonados controles (■) y tratados (■) durante 14 días de almacenamiento a 10 °C. UAE_{POX} : $\Delta\text{DO}/\text{min.g proteína}$. *Valores significativamente diferentes de los correspondientes pimientos controles. ($\text{LSD}_{0,05} = 252,01$).

En otros vegetales frescos cortados, los valores de la actividad POX, se mantuvieron constantes durante el almacenamiento a 5 °C, como en el melón cv. Charentais o aumentaron ligeramente como el cv. Amarillo (Chisari et al., 2008). En zanahorias cortadas almacenadas durante 10 días a 5 °C, se informó una actividad enzimática máxima a los 7 días (Alegría et al., 2010). En brócoli mínimamente procesado, Lemoine (2009) también observó un incremento de la actividad POX durante 7 días de almacenamiento a 20 °C, presentando un máximo al 5 día.

En nuestras experiencias, en los pimientos tratados térmicamente y luego descorazonados, la actividad POX presentó un valor inicial de $6050,75 \pm 148,52$ DO/min.g proteína y a los 7 días de almacenamiento, la actividad disminuyó un 13% respecto de la actividad inicial (Fig. III.3.8.). Los frutos tratados presentaron valores marcadamente mayores que los pimientos controles. Estudios del efecto del tratamiento térmico en lechugas cortadas y luego tratadas térmicamente fueron realizados por Loaiza-Velarde et al. (1997), Fukumoto et al. (2002), Martín-Diana et al. (2005) entre otros. En las lechugas iceberg frescas cortadas tratadas a 47 °C/3 min almacenadas (5°C/7días) no se observaron modificaciones en la actividad POX mientras que en las controles hubo un incremento continuo durante el almacenamiento, presentando mayores valores que las tratadas (Fukumoto et al., 2002). Ke y Saltveit (1989) asociaron el incremento de la actividad POX en lechuga iceberg con la lignificación de la pared celular en respuesta al corte. Por su parte, Loaiza-Velarde et al. (1997) informaron que para las mencionadas lechugas, los tratamientos térmicos (45-55 °C/cortos tiempos) reducían la actividad POX respecto a lechugas controles pero ese descenso fue en menor medida que el provocado sobre la PPO. También Martín-Diana et al. (2005) reportaron disminuciones en la actividad POX en lechugas cortadas tratadas térmicamente (50 °C/60 s) almacenadas durante 10 días a 4 °C, aunque las mismas se detectaron a partir del día 8, por lo que el tratamiento térmico provocaría una reducción de la síntesis de PPO y POX en forma indirecta, debido a una inhibición de la retroalimentación producida por la disminución de los compuestos fenólicos, o a un bloqueo de un receptor implicado en la síntesis enzimática o a una desviación de la síntesis proteica hacia la producción de proteínas de choque térmico. En zanahorias cortadas tratadas a 100 °C/45 s, Alegría et al. (2010) encontraron menores valores de la

actividad POX inmediatamente después del tratamiento y durante los 10 días de almacenamiento a 5 °C.

Como se observa en la Tabla III.3.3., en las experiencias llevadas a cabo para determinar la evolución de la actividad POX durante las primeras horas de almacenamiento, los pimientos Cherry enteros controles mostraron un incremento del 30% de la actividad específica relativa a las 4 horas de almacenamiento a 10 °C para disminuir después a un valor similar al inicial. Sin embargo, en otros vegetales, como frutillas y ramilletes de brócoli, no se encontraron cambios en la actividad enzimática POX a las 24 h de almacenamiento a 2 y 20°C respectivamente (Fernández-Trujillo et al., 2007; Yuan et al., 2010).

En los pimientos Cherry tratados la actividad POX se mantuvo constante las primeras 4 horas de almacenamiento refrigerado, disminuyendo a las 10 horas un 34% con respecto a su valor inicial (Tabla III.3.3.). Los pimientos tratados presentaron mayores actividades enzimáticas que los controles durante todo el almacenamiento dado que, como se señaló anteriormente, el tratamiento térmico incrementó marcadamente en la actividad POX inicial.

Tabla III.3.3. Valores de actividad POX específica relativa a la actividad enzimática inicial en pimientos enteros y descorazonados controles y tratados durante el almacenamiento por 10 horas a 10 °C.

Corte/Tratamiento*	Horas a 10 °C		
	0	4	10
EC	1	1,30	0,99
ET	1	0,97	0,66
DC	1	1,09	1,25
DT	1	0,35	0,38

*EC: enteros controles, ET: enteros tratados, DC: descorazonados controles, DT: descorazonados tratados. (LSD_{0,05} = 0,06).

La actividad específica relativa de los pimientos Cherry descorazonados controles aumentó progresivamente alcanzado a las 10 horas de almacenamiento refrigerado un valor 25% mayor que el inicial (Tabla III.3.3.).

Por otra parte, en los pimientos tratados térmicamente y luego descorazonados, a las 4 horas de almacenamiento la actividad específica POX disminuyó un 65% con respecto a

su actividad inicial y luego se mantuvo constante hasta las 10 horas. A pesar que, como se mostró en la Fig. III.3.8., el tratamiento térmico aumentó unas 2,5 veces la actividad enzimática inicial de los pimientos descorazonados, en todos estos ensayos, los valores de la actividad específica fueron ligeramente menores respecto de las actividades de los frutos controles a las 4 y 10 horas debido a la marcada caída observada a esos tiempos de almacenamiento.

III.3.3.4. Análisis de la evolución de enzimas del metabolismo fenólico y compuestos antioxidantes durante el almacenamiento refrigerado de los pimientos Cherry

Si bien durante el almacenamiento en los pimientos enteros controles, se distinguió inicialmente una disminución de la actividad PAL y luego aumentó a valores iniciales, el contenido en fenoles totales mostró un incremento del 10% al finalizar el ensayo siendo los derivados del ácido hidroxicinámico los que aumentaron en mayor medida. Esta ligera acumulación de fenoles podría haber sido el resultado de la generación de compuestos fenólicos por la alta actividad PAL inicial y su simultáneo consumo por la actividad PPO y POX que presentaron un máximo a los 10 días de almacenamiento.

En los frutos enteros tratados, coincidentemente con los valores constantes de actividad PAL, los niveles de fenoles totales no tuvieron variaciones durante el almacenamiento, aunque las actividades PPO y POX tuvieron a las 10 horas una disminución superior al 25% y luego aumentaron marcadamente.

Como resultado del tratamiento térmico aplicado en los pimientos enteros, el descenso en la actividad enzimática PAL del orden del 52% detectado, no se evidenció inmediatamente en los contenidos iniciales de los fenoles, pero sí al final de los ensayos.

Realizando el análisis por medio de tres componentes principales (PC1, PC2 y PC3), se pueden explicar el 86% de las variaciones encontradas en los frutos enteros controles y tratados, de los cuales entre PC1 y PC2 suman el 65% de la variación

Por medio del componente principal PC1 se explica el 41% de la variación, asociándose a altos contenidos de ASA, del poder antirradicalario (pa) y altas

actividades de las enzimas oxidativas (PPO y POX) con los tiempos más largos de almacenamiento (10 y 14 días) (Fig. III.3.9.).

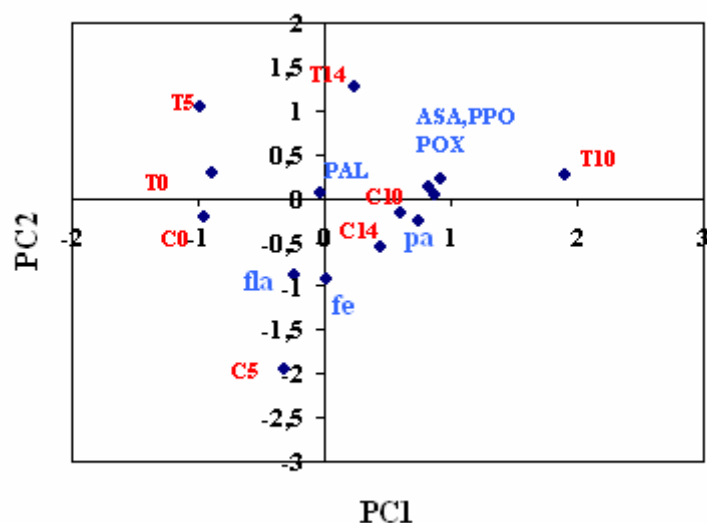


Fig. III.3.9. Análisis por componentes principales de pimientos enteros controles y tratados (PC1 y PC2). Abreviaturas: fe: fenoles totales; fla: flavonoides totales; ASA: ácido ascórbico; pa: poder antioxidante; PAL, PPO, POX: enzimas del metabolismo fenólico; C: tiempos de almacenamiento de los frutos controles en días; T: tiempos de almacenamiento de los pimientos tratados en días.

En la misma Fig. III.3.9. se muestra el componente principal 2, que representa el 24% de la variación. PC2 correlaciona negativamente con el contenido de fenoles y flavonoides y divide el gráfico en dos zonas, ubicándose los vectores correspondientes a los frutos tratados todos por encima de cero.

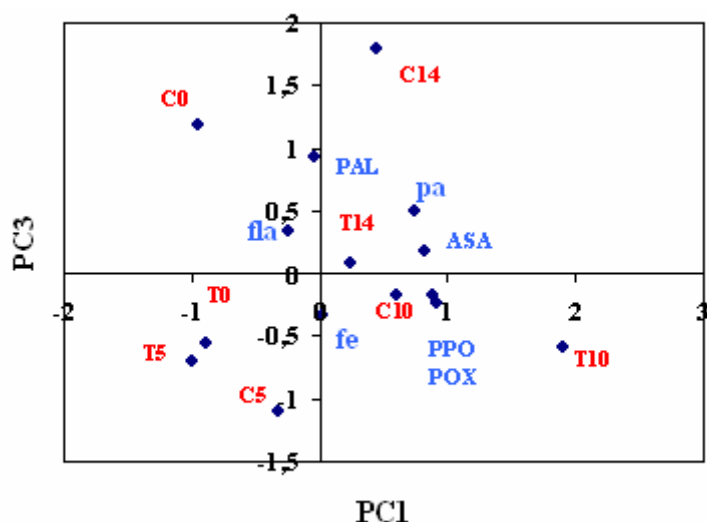


Fig. III.3.10. Análisis por componentes principales de pimientos enteros controles y tratados (PC1 y PC3). Abreviaturas: fe: fenoles totales; fla: flavonoides totales; ASA: ácido ascórbico; pa: poder antioxidante; PAL, PPO, POX: enzimas del metabolismo fenólico; C: tiempos de almacenamiento de los frutos controles en días; T: tiempos de almacenamiento de los pimientos tratados en días.

El componente principal PC3 correlaciona positivamente con la actividad PAL. En la Fig. III.3.10. se observa que valores altos de actividad de la PAL están asociados a los tiempos inicial y final de los frutos controles. Se observa además que no hay una separación definida entre el resto de los tiempos para frutos enteros controles y tratados. Nguyen et al. (2003) observaron una disminución en el contenido de fenoles totales en cáscaras de bananas refrigeradas almacenadas a 6 y 10 °C, acompañado además de incremento de la PPO y PAL por lo que atribuyeron los cambios en los fenoles a una acción concertada de ambas enzimas.

En los pimientos descorazonados la actividad PAL presentó un valor máximo a las 4 horas de almacenamiento y volvió a su valor inicial al final del almacenamiento, lo cual explicaría el incremento en fenoles totales observado a los 12 días, a pesar de que las enzimas PPO y POX mostraron incrementos notorios a los 7 días, aunque no se observó la aparición de pigmentos coloreados.

El tratamiento térmico inicialmente produjo un descenso en la actividad PAL que no tuvo un efecto inmediato sobre el contenido de fenoles totales. Sin embargo, durante el almacenamiento se observó un notorio aumento en el contenido de fenoles totales para la fracción de los derivados del ácido hidroxicinámico, probablemente como resultado del aumento detectado en la actividad PAL al final del ensayo. Estos niveles habrían sido modificados por la actividad PPO que no fue alterada por el tratamiento térmico y aumentó durante el almacenamiento. Además, la POX tuvo un aumento importante por la aplicación del tratamiento y bajó en forma acusada durante el almacenamiento.

En los pimientos descorazonados, con el análisis de tres componentes principales se alcanza a explicar el 84% de las variaciones encontradas, distribuyéndose proporcionalmente entre los tres componentes.

Con el CP1 se asocian los contenidos de ASA, PA altos y una alta actividad de la enzima PPO, principalmente al final del almacenamiento de los pimientos descorazonados controles y tratados, algo similar a lo determinado para los frutos enteros, Fig. III.3.11., evidenciándose mayores valores para los niveles de PA y de la actividad de la enzima PPO que en los tiempos iniciales.

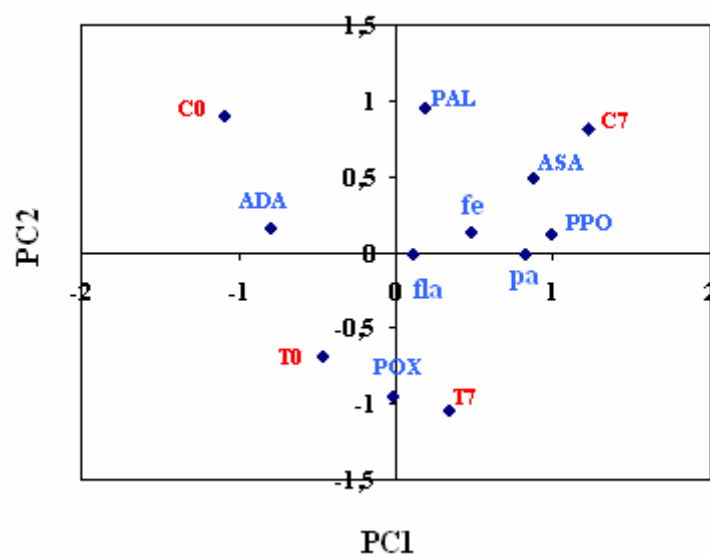


Fig. III.3.11. Análisis por componentes principales de pimientos descorazonados controles y tratados (PC1 y PC2). Abreviaturas: fe: fenoles totales; fla: flavonoides totales; ASA: ácido ascórbico; ADA: ácido deshidroascórbico; pa: poder antioxidante; PAL, PPO, POX: enzimas del metabolismo fenólico; C: tiempos de almacenamiento de los frutos controles en días; T: tiempos de almacenamiento de los pimientos tratados en días.

PC2 está asociado positivamente con la actividad PAL y negativamente con la actividad POX. Nuevamente divide frutos descorazonados controles de tratados. En los pimientos cortados se nota una alta actividad de PAL en los frutos controles, mientras que la actividad POX se mantiene baja (Fig. III.3.11.) distinguiéndose la agrupación de los tiempos en los frutos controles por encima de cero, mientras que los tiempos de los tratados se encuentran por debajo.

Se encuentra una asociación positiva de PC3 con fenoles y flavonoides totales, respondiendo a estas características los tiempos de almacenamiento largos (T7) de los frutos tratados. No se encontró una clara separación entre los tiempos de almacenamientos ni los tratamientos aplicados (Fig. III.3.12.).

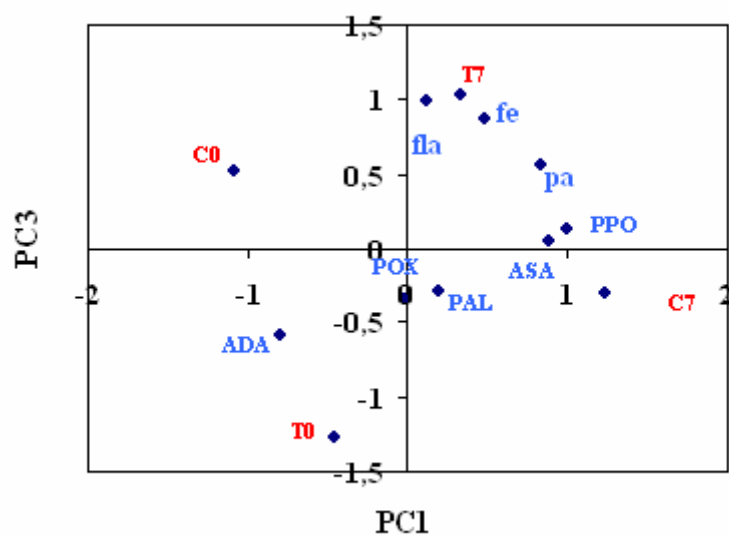


Fig. III.3.12. Análisis por componentes principales de pimientos descorazonados controles y tratados (PC1 y PC3). Abreviaturas: fe: fenoles totales; fla: flavonoides totales; ASA: ácido ascórbico; ADA: ácido deshidroascórbico; pa: poder antirradicalario; PAL, PPO, POX: enzimas del metabolismo fenólico; C: tiempos de almacenamiento de los frutos controles en días; T: tiempos de almacenamiento de los pimientos tratados en días.

III.3.4. CONCLUSIONES

El tratamiento térmico 55 °C/60 s evitó el aumento de la actividad de la fenilalanina-amonio-liasa en los pimientos enteros almacenados a 10 °C y redujo significativamente el incremento inducido por el corte retrasando su aumento durante el almacenamiento refrigerado.

El tratamiento térmico provocó una notoria disminución de la actividad PPO inicial de los frutos enteros, mientras que no afectó la actividad enzimática inicial de los pimientos que fueron descorazonados una vez tratados, por lo que se habrían compensado el efecto de cada estrés aplicado. Durante el almacenamiento redujo la actividad PPO respecto de los frutos controles tanto en pimientos enteros como en cortados, salvo un notorio aumento registrado en los frutos enteros hacia los 10 días.,

El tratamiento térmico indujo un aumento de la actividad enzimática POX en pimientos enteros, respecto de los frutos controles, como respuesta inmediata a la aplicación y durante el almacenamiento; efecto que fue potenciado por el corte en los pimientos tratados y luego descorazonados.

CONCLUSIONES GENERALES

CONCLUSIONES GENERALES

*Los pimientos Cherry (*C. annuum*, L. cv. Cherry) son frutos pequeños que tienen una baja actividad respiratoria y presentan valores de acidez, pH y concentraciones de azúcares, carotenoides, compuestos fenólicos y ácido ascórbico, en el orden de los encontrados en otros cultivares de pimientos.

*El lugar de procedencia, las condiciones climáticas y la época de cosecha fueron los factores precosecha que afectaron los parámetros físico-químicos analizados al caracterizar el fruto. Además, el contenido de azúcares totales, la actividad antirradical y el contenido de ácido ascórbico fueron especialmente influenciados por la estación del año.

*La diferenciación del grado de madurez de los frutos quedó evidenciada por los contenidos en carotenoides totales, fenoles, poder antirradical y pH.

*El estrés hídrico precosecha de los frutos tuvo influencia directa en el peso y tamaño de los frutos. Simultáneamente, se detectaron incrementos en los contenidos de ASA, ADA y en el poder antirradical.

*Los frutos enteros retuvieron sus características de calidad sin presentar cambios notorios en los componentes analizados durante 10 días de almacenamiento a 10 °C. El corte provocó un incremento en la actividad respiratoria y mayor deterioro de los pimientos sin observarse cambios notorios en el contenido de azúcares, carotenoides, fenoles, flavonoides, ASA y actividad antirradical durante el almacenamiento a 10 °C, a pesar de haberse detectado fuertes incrementos en las actividades PAL y PPO.

*La aplicación de un tratamiento térmico por inmersión en agua a 55 °C/60 s prolongó el periodo de almacenamiento en pimientos enteros y descorazonados, en particular, reteniendo su calidad organoléptica y minimizando el desarrollo de hongos y podredumbres.

*En los pimientos descorazonados los tratamientos térmicos retrasaron el deterioro del producto, disminuyeron la pérdida de peso y la actividad respiratoria, aunque la firmeza se vio reducida hacia el final del almacenamiento.

*El tratamiento térmico por inmersión en agua a 55 °C durante 60 segundos fue efectivo en mantener los compuestos bioactivos de pimientos Cherry frescos enteros y descorazonados, reteniendo o incrementando los contenidos de los componentes antioxidantes dentro de las primeras 48 horas de almacenamiento. Además, evitó la acumulación de carotenoides y fenoles reteniendo un 85% o más el contenido de ASA hacia tiempos más prolongados de almacenamiento refrigerado.

*Mientras que en los frutos descorazonados que no estuvieron sometidos a sequía precosecha las propiedades analizadas tendieron permanecer constantes o disminuir ligeramente, en los pimientos descorazonados estresados hídricamente se observaron valores máximos durante el almacenamiento. A pesar de ello, el efecto del tratamiento térmico en todos los casos fue reducir la acumulación de compuestos antioxidantes durante el almacenamiento.

*El tratamiento térmico redujo la actividad enzimática PAL y PPO, y las mantuvo en niveles inferiores a los controles durante el almacenamiento. Sin embargo en POX se vio un efecto contrario.

*El análisis por componentes principales permitió correlacionar los tiempos de almacenamiento prolongado de los frutos enteros, con los altos contenidos de ASA, PA y actividades de las enzimas oxidativas PPO y POX, al igual que en los frutos cortados, a excepción de la actividad POX.

* El tratamiento térmico aplicado incrementó el tiempo de almacenamiento refrigerado de los pimientos Cherry enteros y descorazonados respecto de los controles, mejorando su calidad y manteniendo los niveles de compuestos bioactivos presentes.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Agar I. T., Massantini R., Hess-Pierce B., Kader A. A., 1999. Postharvest CO₂ and ethylene production and quality maintenance of fresh-cut kiwifruit slices. *J. Food Sci.* 64, 433–440.

Ahvenainen, R. 1996. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. *Trends in Food Science & Technology.* 71, 179-187.

Alegria C., Pinheiro J., Gonçalves E. M., Fernandes I., Moldão M., Abreu M. 2010. Evaluation of a pre-cut heat treatment as an alternative to chlorine in minimally processed shredded carrot. *Innovative Food Science and Emerging Technologies.* 11, 155–161.

Andrade Cuví, M. J. 2008. Relación entre la capacidad antioxidante y el desarrollo de daño por frío en pimientos. Efecto de la radiación UV-C. Tesis de Magíster en Tecnología e Higiene de Alimentos. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Exactas. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis.* 15th ed. Vol II. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.

Arnao M. B., Cano A., Acosta M. 1998. Total antioxidant activity in plant material and its interest in food technology Recent Res. Devel. In *Agricultural & Food Chem.* 2, 893-905.

Barés C. 1997. Publicación técnica: Uso de envases y embalajes en la comercialización de productos frutihortícolas. Corporación del Mercado Central de Buenos Aires. pp. 9. Buenos Aires, Argentina.

Barkai-Golan R., Phillips D. J., 1991. Postharvest heat treatment of fresh fruits and vegetables for decay control. *Plant Dis.* 75, 1085–1089.

Barth M. M., Zhuang H., Saltveit M. E. 2004. Fresh-cut Vegetables. Disponible en: <http://www.usna.usda.gov/hb66/147freshcutvegetables.pdf>. Acceso: 25 de octubre de 2007.

Beaulieu J. C., Gorny J. R. 2003. Fresh-cut fruits. Disponible en: <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/146freshcutfruits.pdf>. Acceso: 15 de septiembre de 2007.

Bradford, M. M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72, 248–254.

Brand-Williams W., Cuvelier M. E., Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft und–Technologie.* 28, 25-30.

Bruhn C. M. 2007. Aspectos de Calidad y Seguridad Alimentaria de Interés para el Consumidor. En: Kader A. A. (Ed.). *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas*. Tercera Edición. pp. 37-44. UC Davis, USA.

Campos-Vargas R., Saltveit M. E. 2002. Involvement of putative chemical wound signals in the induction of phenolic metabolism in wounded lettuce. *Physiologia Plantarum.* 114, 73–84.

Campos-Vargas R., Nonogaki H., Suslow T., Saltveit. M. E. 2005. Heat shock treatments delay the increase in wound-induced phenylalanine ammonia-lyase activity by altering its expression, not its induction in Romaine lettuce (*Lactuca sativa*) tissue. *Physiologia Plantarum.* 123, 82–91.

Cano M. P., Sánchez-Moreno C., de Pascual-Teresa, S., de Ancos, B. Procesado mínimo y valor nutricional. 2005. En: González-Aguilar G. A., Gardea A. A., Cuamea-Navarro F. (Eds.). *Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados*. pp. 119-152. CIAD, México.

Cantos E., Espín J. C., Tomás-Barberán F. A. 2001. Effect of Wounding on Phenolic Enzymes in Six Minimally Processed Lettuce Cultivars upon Storage. *J. Agric. Food Chem.* 49, 322-330.

Cantwell, M. 2002. Pimiento (Pimentón, Chile dulce). Recomendaciones para Mantener la Calidad Postcosecha. Disponible en: <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Espanol/Pimiento.shtml> Acceso: 15 de octubre de 2007.

Cantwell M. I., Suslow T. V. 2007. Sistemas de Manejo Postcosecha: Frutas y Hortalizas Precortadas (Mínimamente Procesadas). En: Kader A. A. (Ed.) *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas*. Tercera Edición. pp. 497-518. UC Davis, USA.

Castro S. M., Saraiva J. A., Lopes-da-Silva J. A., Delgadillo I., Van Loey A., Smout C., Hendrickx M. 2008. Effect of thermal blanching and of high pressure treatments on sweet green and red bell pepper fruits (*Capsicum annuum* L.). *Food Chemistry*. 107, 1436–1449.

Conesa, A., Verlinden B. E., Artés-Hernández F., Nicolai B., Artés F. 2007 (a). Respiration rates of fresh-cut bell peppers under superatmospheric and low oxygen with or without high carbon dioxide. *Postharvest Biology and Technology*. 45, 81–88.

Conesa, A., Artés-Hernández F., Geysen S., Nicolai B., Artés F., 2007 (b). High oxygen combined with high carbon dioxide improves microbial and sensory quality of fresh-cut peppers. *Postharvest Biology and Technology*. 43, 230–237.

Couey, H. M. 1989. Heat treatment for control of postharvest diseases and insect pests of fruits. *HortScience*. 24, 198-202.

Chen J., He L., Jiang Y., Wang Y., Joyce D. C., Ji Z., Lu W. 2008. Role of phenylalanine ammonia-lyase in heat pretreatment-induced chilling tolerance in banana fruit. *Physiologia Plantarum*. 32, 318–328.

- Chen J., He L., Jiang Y., Kuang J., Lu C., Joyce D. C., Macnish A., He Y., Lu W. 2009. Expression of PAL and HSPs in fresh-cut banana fruit. *Environmental and Experimental Botany*. 66, 31–37.
- Chisari M., Barbagallo R. N., Spagna G. 2008. Characterization and Role of Polyphenol Oxidase and Peroxidase in Browning of Fresh-Cut Melon. *J. Agric. Food Chem.* 56, 132–138.
- Davies, B. H., Mathews S., Kirk J.T.O. 1970. The nature and biosynthesis of the carotenoids of different colour varieties of *Capsicum annum*. *Phytochemistry*. 9, 797-805.
- de Ancos B., Sánchez-Moreno C., de Pascual-Teresa S., Martínez J. A., Crespo I., Cano M. P. 2007. Efecto del proceso de elaboración de frutas y hortalizas frescas cortadas sobre el potencial saludable de floretes de brócoli y gajos de naranja. En: González-Aguilar G., Cuamea- Navarro F. (Eds.) *Avances tecnológicos en el procesado mínimo hortofrutícola. Aspectos nutricionales y sensoriales*. pp. 1-11. CYTED, México.
- Deepa N., Kaur Ch., Singh B., Kapoor H. 2006. Antioxidant activity in some red sweet pepper cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19, 572-578.
- Degl’Innocenti E., Pardossi A., Tognoni F., Guidi L. 2006. Physiological basis of sensitivity to enzymatic browning in ‘lettuce’, ‘escarole’ and ‘rocket salad’ when stored as fresh-cut products. *Food Chem.* 104, 209-215.
- Dergal, S. B. 1999. *Química de los alimentos*. 3º Edición, México.
- Dixon R. A., Paiva N. L. 1995. Stress-Induced Phenylpropanoid Metabolism. *The Plant Cell*. 7, 1085-1097.
- El-Bassuoni R., Cantwell M. 1994. Low temperatures and controlled atmospheres maintain quality of fresh cut bell pepper. *HortScience*. 29, 448.

Erkan M., Wang S. Y., Wang C. Y. 2008. Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit Postharvest Biology and Technology. 48, 163–171.

Fallik E., Grinberg S., Alkalai S, Lurie S. 1996. The effectiveness of postharvest hot water dips on the control of gray and black mould in sweet red pepper (*Capsicum annuum*) Plant Pathol. 45, 644-649.

Fallik E., Grinberg S., Alkalai S., Yekutieli O. 1999. A unique rapid hot water treatment to improve storage quality of sweet pepper. Postharv. Biol. Technol. 15, 25-32.

Fang Y. Z., Yang S., Wu G., 2002. Free radicals, antioxidants and nutrition. Nutrition 18, 872-879.

FAO, 2006. Fichas técnicas. Productos frescos y procesados. PIMIENTO (*Capsicum annuum*). Disponible en:
<http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/ae620s/Pfrescos/PIMIENTO.HTM>
M. Acceso: 25 de marzo de 2007.

Faragher, J. D. 1983. Temperature Regulation of Anthocyanin Accumulation in Apple Skin. J. Exp. Bot. 34, 1291-1298.

Ferguson I. B., Ben-Yehoshua S., Mitcham E. J., McDonald R. E., Lurie S. 2000. Postharvest heat treatments: introduction and workshop summary. Postharv. Biol. Technol. 21, 1-6.

Fernández-Trujillo J .P., Nock J. F., Watkins C. B. 2007. Antioxidant enzyme activities in strawberry fruit exposed to high carbon dioxide atmospheres during cold storage. Food Chemistry. 104, 1425–1429.

Flurkey W. H. y Jen J. J. 1978. Peroxidase and polyphenoloxidase activities in developing peaches. J. of Food Sc. 43, 1826–1828.

Fukumoto L. R., Toivonen P. M. A., Delaquis P. J. 2002. Effect of Wash Water Temperature and Chlorination on Phenolic Metabolism and Browning of Stored Iceberg Lettuce Photosynthetic and Vascular Tissues. *Agric. Food Chem.* 50, 4503-4511.

Garret, E. 2002. Fresh-cut Produce: Tracks and Trends. En: *Fresh-cut Fruits and Vegetables. Science, Technology, and Market*. Lamikanra, O (Ed.). pp. 4-9. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA.

Ghaouth A. E., Wilson C. L., Callahan A M. 2003. Induction of Chitinase, β -1,3-Glucanase and Phenylalanine Ammonia Lyase in Peach Fruit by UV-C Treatment. *Phytopathology*. 93 (3), 349-355.

Gómez F., Fernández L., Gergoff G., Guamet J. J., Chaves A., Bartoli C. G. 2008. Heat shock increases mitochondrial H₂O₂ production and extends postharvest life of spinach leaves. *Postharv Biology and Technol* 49, 229-234.

González-Aguilar, G. A., Cruz R., Baez R. 1999. Storage quality of bell peppers pretreated with hot water and polyethylene packaging. *Journal of Food Quality*. 22, 287-299.

González-Aguilar G. A., Gayosso L., Cruz R., Fortiz J., Baez R., Wang C. Y. 2000. Polyamines induced by hot water treatments reduce chilling injury and decay in pepper fruit. *Postharvest biology and technology* .18, 19-26.

González-Aguilar, G. A.; Ayala-Zavala J. F.; Ruiz-Cruz, S.; Acedo-Felix, E. M.; Diaz-Cinco, E. 2004. Effect of temperature and modified atmosphere packaging on overall quality of fresh cut bell-peppers. *Lebensmish-Wiss Technol*. 37(8), 817-826.

González-Aguilar G. A., Zavaleta-Gatica R., Tiznado-Hernández M. E., 2007. Improving postharvest quality of mango 'Haden' by UV-C treatment. *Postharvest Biology and Technology* 45, 108–116.

Gross, J. 1991. Pigments in vegetables. Chlorophylls and carotenoids. AVI. Van Nostrand Reinhold. New York. pp. 1-208.

Guerzoni M. I., Gianotti A., Corbo M. R., Sinigaglia M. 1996. Shelf life modelling for fresh-cut vegetables. *Postharvest Biol. And Technol.* 9, 195-207.

Hampshire T. J., Payne F. A., Weston L. 1987. Bell pepper texture measurement and degradation during cold storage. *Transactions of the ASAE - American Society of Agricultural Engineers (USA)*. 30, 1494-1500.

Heredia J. B., Cisneros-Zevallos L. 2009 (a). The effects of exogenous ethylene and methyl jasmonate on the accumulation of phenolic antioxidants in selected whole and wounded fresh produce. *Food Chemistry* 115, 1500–1508.

Heredia J. B., Cisneros-Zevallos L. 2009 (b). The effect of exogenous ethylene and methyl jasmonate on PAL activity, phenolic profiles and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota*) under different wounding intensities. *Postharvest Biol Technol.* 51(2):242–249.

Hisaminato H., Murata M., Homma S. 2001. Relationship between the enzymatic browning and phenylalanine ammonia-lyase activity of cut lettuce, and the prevention of browning by inhibitors of polyphenol biosynthesis. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 65, 1016-1021.

Hodges D. M., Toivonen P. M. A. 2008. Quality of fresh-cut fruits and vegetables as affected by exposure to abiotic stress. *Postharvest Biology and Technology*, 48, 155–162.

Holmberg N., Bülow L. 1998. Improving stress tolerance in plants by gene transfer. *Trends Plant Sci.* 3, 61–66.

Hornero-Méndez D., Gómez-Ladrón de Guevara R., Mínguez-Mosquera M. I. 2000. Carotenoid Biosynthesis Changes in Five Red Pepper (*Capsicum annuum* L.) Cultivars during Ripening. Cultivar Selection for Breeding. J Agric Food Chem 48, 3857–3864.

Howard L. R., Hernandez-Brenes C. 1998. Antioxidant content and market quality of jalapeno pepper rings as affected by minimal processing and modified atmosphere packaging. J Food Quality 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.

Hubbard N. L., Pharr D. M. 1992. Development changes in carbohydrate concentration and activities of sucrose metabolizing enzymes in fruits of two *Capsicum annuum* L. genotypes. Plant Sci. 86, 33-39.

Hung S., Yu C., Lin C. 2005. Hydrogen peroxide functions as a stress signal in plants Bot. Bull. Acad. Sin. 46, 1-10.

Hussein A., Odumeru J. A., Ayanbadejo T., Faulkner H., McNab W. B., Hager H., Szijarto L. 2000. Effects of processing and packaging on vitamin C and β -carotene content of ready-to-use (RTU) vegetables. Food Research Internacional. 33, 131-136.

InfoStat/Estudiantil. 2002. Versión 2.0. Universidad Nacional de Córdoba. Estadística y Diseño. FCA.

INTA, 2000. Horticultura. El cultivo de pimiento para pimentón: sus posibilidades en la región cuyana. Disponible en: <http://www.a-campo.com.ar/espanol/horticultura/horticult5.htm>. Acceso: 15 de octubre de 2007.

Ishikawa, A. 2003. En Corrientes. El Cultivo de Pimiento en Invernadero Plástico. IDIA XXI N° 4. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia/horticola/pimiento02.pdf>. Acceso: 21 de marzo de 2007.

Jacxsens L., Devlieghere, F., Debevere J. 2002. Temperature dependence of shelf-life as affected by microbial proliferation and sensory quality of equilibrium modified atmosphere packaged fresh produce. *Postharvest Biology and Technology*. 26, 59-73.

Jacxsens L., Devlieghere F., Ragaert P., Vanneste E., Debevere J. 2003. Relation between microbiological quality, metabolite production and sensory quality of equilibrium modified atmosphere packaged fresh-cut produce. *International Journal of Food Microbiology*. 83, 263-280.

Jiménez A, Romojaro F, Gómez J. M., Llanos M. R., Sevilla F. 2003. *J Agric Food Chem* 51, 6293–6299.

Kampfenkel K., Van Montagu M., Inzé D. 1995. Extraction and determination of ascorbate and dehydroascorbate from plant tissue. *Analytical Biochemistry*. 225, 165-167.

Kang, J. S., Lee D. S. 1997. Susceptibility of minimally processed green pepper and cucumber to chilling injury as observed by apparent respiration rate. *International Journal of Food Science and Technology*. 32, 421-426.

Ke D., Saltveit M. E. 1989. Wound-induced ethylene production, phenolic metabolism and susceptibility to russet spotting in iceberg lettuce. *Physiol. Plant*. 76, 412-418.

Kim D.-O., Jeong S. W.; Lee C. Y. 2003 Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chemistry*. 81, 321-326.

Klein J. D., Lurie S. 1992. Prestorage heating of apple fruit for enhanced postharvest quality: interaction of time and temperature. *HortScience*. 27, 326-328.

Lana M. M., Tijskens L. M. M. 2006. Effects of cutting and maturity on antioxidant activity of fresh-cut tomatoes. *Food Chemistry*. 97(2), 203–211.

Lee Y., Howard. L. R., Villalón B. 1995. Flavonoids and antioxidant activity of Fresh pepper (*Capsicum annuum*, L.). Journal of Food Science. 60,3-473-465.

Lee S. K., Kader A. A. 2000. Preharvest and post harvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. Postharvest Biology and Technology. 20, 207–220.

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 Agric 87,1132–1139.

Lemoine, M. L. 2009. Efecto de la aplicación de tecnologías limpias sobre la prolongación de la vida postcosecha de brócoli mínimamente procesado. Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Exactas. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Loaiza-Velarde, J.G., Tomás-Barberán, F. A., Saltveit, M. E. 1997. Effect of intensity and duration of heat-shock treatments on wound-induced phenolic metabolism in iceberg lettuce. J. Am. Soc. Hort. Sci. 122, 873-877.

Loaiza-Velarde J. G., Mangrich M. E., Campos-Vargas R., Salveit M. 2003. Heat shock reduces browning of fresh-cut celery petioles. Postharvest Biology and Technology, 27, 305-311.

Lurie S. 1998. Review: Postharvest heat treatments. Postharvest Biology and Technology. 14, 257–269.

Luthria D. L., Mukhopadhyay S. 2006. Influence of sample preparation on assay of phenolic acids from eggplant J. Agric. Food Chem. 54, 41-47.

Marín A, Ferreres F., Tomás-Barberán F. A., Gil M. 2004. Characterization and Quantitation of Antioxidant Constituents of Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.) J. Agric. Food Chem. 52, 3861-3869.

Martín-Belloso O., Rojas Graü M. A. 2005. Factores que afectan la calidad. En: González-Aguilar G. A., Gardea A. A., Cuamea-Navarro F. (Eds). Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. pp. 77-93. CIAD, CYTED. México.

Martin-Diana A. B., Rico D., Barry-Ryan C., Mulcahy J., Frias J., Henahan G. T. M. 2005. Effect of Heat Shock on Browning-Related Enzymes in Minimally Processed Iceberg Lettuce and Crude Extracts. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 69, 1677-1685.

Martínez, C. V. 2007. El pimiento, fuente de vitamina C y analgésico natural. Disponible en: <http://www.botanical-online.com/pimientos.htm> Acceso: 25 de marzo de 2007.

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 Biology and Techonolgy.* 49, 38–45.

Martínez-Téllez M. A., Lafuente M. T. 1997. Effect of high temperature conditioning on ethylene, phenylalanine ammonia-lyase, peroxidase and polyphenol oxidase activities in flavedo of chilled ‘Fortune’ mandarin fruit. *J Plant Physiol.* 150, 674–678.

Materska M., Piacente S., Stochmal A., Pizza C., Oleszek W., Perucka I. 2003. Isolation and structure elucidation of flavonoid and phenolic acid glycosides from pericarp of hot pepper fruit *Capsicum annuum* L. *Phytochemistry.* 63, 893–898.

Matsufuji H., Ishikawa K., Nunomura O., Chino M., Takeda M. 2007. Anti-oxidant content of different coloured sweet peppers, white, green, yellow, orange and red (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Food Science and Technology.* 42, 1482–1488.

Mirdehghan S. H., Rahemic M., Martínez-Romero D., Guillén F., Valverde J. M., Zapata P. J., Serrano M., Valero D. 2007. Reduction of pomegranate chilling injury during storage after heat treatment: Role of polyamines. *Postharv Biology and Technol.* 44, 19-25.

Mitcham E. J., Mitchell F. G., Arpaia M. L., Kader A. A. 2007. Tratamientos Postcosecha para el Control de Insectos En: Kader A. A. (Ed.) UC Davis, Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas. Tercera Edición. (pp. 287-294). USA.

Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance Trends in Plant Science. 7, 405-410.

Mittler R., Vanderauwera S., Gollery M., Van Breusegem F., 2004. Reactive oxygen gene network of plants. Trends Plant Sci. 9, 490–498.

Navarro J. M., Flores P., Garrido C., Martinez V. 2006. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. Food Chemistry. 96, 66–73.

Nguyen T. B. T., Ketsa S., van Doorn W. G. 2003. Relationship between browning and the activities of polyphenol oxidase and phenylalanine ammonia lyase in banana peel during low temperature storage. Postharvest Biology and Technology. 30, 187-193.

Nisperos-Carriedo M. O., Buslig B. S., Shaw P. E. 1992. Simultaneous detection of dehydroascorbic, ascorbic, and some organic acids in fruits and vegetables by HPLC. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 40, 1127-1130.

Odriozola-Serrano I., Hernandez-Jover T., Martin-Belloso O. 2007. Comparative evaluation of UV-HPLC methods and reducing agents to determine vitamin C in fruits. Food chemistry. 105, 1151-1158.

Odriozola-Serrano I., Soliva-Fortuny R., Martín-Belloso O. 2008. Effect of minimal processing on bioactive compounds and color attributes of fresh-cut tomatoes. Lebensmittel-Wissenschaft und–Technologie. 41, 217–226.

Parr A. J., Bolwell G. P. 2000. Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. JSci Food Agric. 80, 985-1012.

Paull R. E., Chen N. J. 2000. Heat treatment and fruit ripening Postharvest Biology and Technology. 21, 21–37.

Pen L. T., Jiang Y. M. 2003. Effects of chitosan coating on shelf life and quality of fresh-cut Chinese water chestnut. Lebensm.-Wiss. U.-Technol. 36, 359–364.

Perucka I., Materska M. 2001. Phenylalanine ammonia-lyase and antioxidant activities of lipophilic fraction of fresh pepper fruits *Capsicum annum* L. Innovative Food Science & Emerging Technologies 2, 189-192.

Pilon L., Oetterer M., Gallo C. R., Spoto M. H. F. 2006. Shelf Life Of Minimally Processed Carrot And Green Pepper. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas. 26, 150-158.

Pirovani, M. E., Güemes, D. R., Piagentini, A. M. 2006. Vegetales Frescos cortados. Procesamiento y calidad. 1º Edición. Ediciones. pp. 33-36. UNL. Santa Fe.

Raffo A., Baiamonte I., Nardo N., Paoletti F. 2007. Internal quality and antioxidants content of cold-stored red sweet peppers as affected by polyethylene bag packaging and hot water treatment. European Food Research and Technology. 225, 395–405.

Raffo, A., Baiamonte I., Paoletti F. 2008. Changes in antioxidants and taste-related compounds content during cold storage of fresh-cut red sweet peppers. European Food Research and Technology. 226, 1167-1174.

Richard-Forget F. C., Gaillard F. A. 1997. Oxidation of Chlorogenic Acid, Catechins, and 4-Methylcatechol in Model Solutions by Combinations of Pear (*Pyrus communis* cv. Williams) Polyphenol Oxidase and Peroxidase: A Possible Involvement of Peroxidase in Enzymatic Browning. J. Agric. Food Chem. 45, 2472–2476.

Rico D., Martín-Diana A. B., Barat J. M., Barry-Ryan C. 2007. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. Trends in Food Science & Technology. 18, 373-386.

Rocha A. M. C. N., Brochado C. M., Kirby R., Morais A. M. M. B. 1995. Shelf-life of chilled cut orange determined by sensory quality. *Food Control*. 6, 317-321.

Saltveit M. E. 2000. Wound induced changes in phenolic metabolism and tissue browning are altered by heat shock. *Postharvest Biology and Technology*. 21, 61-69.

Salunkhe D. K., Desai B. B. 1984. Pepper (*Capsicum* sp.). En: *Postharvest Biotechnology of Vegetables*. Vol. II. pp 49-57. CRC Press, Inc. Boca Ratón, Florida, USA.

Salunkhe D., Desai B. (Eds.). 1991. *Postharvest Biotechnology of Vegetables*. Editorial CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Sarli, A. E. 1958. *Horticultura*. pp 358-364. Editorial Acme SACI. Buenos Aires, Argentina.

Sgroppo, S.C. 1997. Efecto del Etileno sobre la maduración Post-cosecha de Pimientos (*Capsicum annuum* L.). Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Exactas. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Sgroppo S. C., Montiel G. M. 2004. Estado actual del mercado de frutos y vegetales frescos cortados en Argentina. En: González-Aguilar G., Cuamea-Navarro F. (Eds.). *Estado actual del mercado de frutos y vegetales cortados en Iberoamérica*. pp. 61-69. CYTED, México.

Sgroppo S. C., Pereira M. V., Avalos Llano K. R. 2005. Efectos de la aplicación de luz UV-C en pimientos frescos cortados. En: González-Aguilar G., Cuamea- Navarro F. (Eds.). *Vegetales frescos cortados*. pp. 59-64. CYTED, México.

Sgroppo S. C., Chaves A. R. 2009. Pimientos frescos cortados. En: González-Aguilar G. A., Alvarez Parrilla E., de la Rosa L., Olivas I. G., Ayala Zavala J. F. (Eds.). *Aspectos nutricionales y sensoriales de vegetales frescos cortados*. pp 98-119. CYAD, México.

Sgroppo S. C., Pereyra M. V. 2009. Using mild heat treatment to improve the bioactive related compounds on fresh-cut green bell peppers International Journal of Food Science and Technology. 44, 1793–1801.

Shahidi, F. 2004. Phenolic compounds in fruits and vegetables. En: Shahidi F., Naczk M. (Eds.). Phenolics in Food Nutraceuticals. pp. 1-15, 197–200. CRC press. Boca Raton, Florida, USA.

Simonne A., Simonne E., Eitenmiller R., Mills H., Green N. 1997. Journal of Food Composition and Analysis. 10, 299-311.

Singleton V. L., Orthofer R., Lamuela-Raventós R. M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. Methods in Enzymology. 299, 152-178.

Smith D. L., Stommel J. R., Fung R. W. M., Wang C. Y., Whitaker B. D. 2006. Influence of cultivar and harvest method on postharvest storage quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit. Post Biol and Tech 42, 243-247.

Soliva-Fortuny R., Martín Belloso, O. 2003. New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. Trends in Food Science and Technology. 14, 341-353.

Soto-Zamora G., Yahia E. M., Brecht J. K., Gardea A. 2005. Effects of postharvest hot air treatments on the quality and antioxidant levels in tomato fruit. LWT - Food Science and Technology. 38, 657-663.

Southgate, D. A. T. 1976. Determination of Food Carbohydrates (pp. 108). London: Applied Science Publishers.

Thipyapong P., Steffens J. C. 1997. Tomato Polyphenol Oxidase Differential Response of the Polyphenol Oxidase F Promoter to Injuries and Wound Signals Plant Physiol. 115, 409-418.

Thongsook T., Barrett D. M. 2005. Purification and Partial Characterization of Broccoli (*Brassica oleracea* Var. Italica) Peroxidases. J. Agric. Food Chem. 53, 3206-3214.

Toivonen P. M. A., DeEll J. R. 2002. Physiology of Fresh-cut Fruits and Vegetables. En: Lamikanra O. (Ed.). Fresh-cut Fruits and Vegetables. Science, Technology and Market. pp. 101-123. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA.

Toivonen, P. M. A., Stan S. 2004. The effect of washing on physicochemical changes in packaged, sliced green peppers. International Journal of Food Science and Technology. 39, 43-51.

Tomás-Barberán F. A., Espín J. C. 2001. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. Journal of the Science of Food and Agriculture. 81, 853-876.

Toor, R. K., Savage G. P. 2006. Changes in major antioxidant components of tomatoes during post-harvest storage. Food Chemistry. 99, 724–727.

Urquiaga I., Leighton F. 2000. Plant polyphenol antioxidants and oxidative stress Biological Research. 33, 55-64.

USDA (2007). Nacional Agricultural Library. National Nutrient Database for Standard Reference. Disponible en: http://www.nal.usda.gov/fnic/cgibin/nut_serach.pl?pepper Acceso: 15 de octubre del 2007.

Uyttendaele M., Neyts K., Vanderswalmen H., Notebaert E., Debevere J. 2004. Control of Aeromonas on minimally processed vegetables by decontamination with lactic acid, chlorinated water, or thyme essential oil solution. Food Microbiology. 90, 263-271.

Valencia M. E., Robles-Sardín A. E. 2005. El valor nutrimental y protector de las frutas y verduras en la dieta humana En: González-Aguilar G. A., Gardea A. A., Cuamea-Navarro F. (Eds). Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados pp. 1-14. CIAD CYTED. México.

Vicente A. R., Martínez G. A., Civello P. M., Chaves A. R. 2002. Quality of heat-treated strawberry fruit during refrigerated storage Postharvest Biology and Technology. 25, 59–71.

Vicente A. R., Martínez G. A., Chaves A. R., Civello P. M. 2003. Influence of self-produced CO₂ on postharvest life of heat-treated strawberries Postharvest Biology and Technology. 27 265-275.

Vicente, A. R. 2004. Efecto de tratamientos térmicos de alta temperatura sobre calidad y fisiología postcosecha de frutillas (*Fragaria x ananassa* Duch.). Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Exactas. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Vicente A. R., Costa M. L., Martínez G. A., Chaves A. R., Civello P. M. 2005 (a). Effect of heat treatments on cell wall degradation and softening in strawberry fruit Postharvest Biology and Technology. 38, 213-222.

Vicente, A. R., Pineda C., Lemoine L., Civello P. M., Martinez G. A., Chaves A. R. 2005 (b). UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper. Postharvest Biology and Technology. 35, 69-78.

Vicente A. R., Martínez G. A., Chaves A. R., Civello P. M. 2006. Effect of heat treatment on strawberry fruit damage and oxidative metabolism during storage. Postharvest Biology and Technology. 40, 116–122.

Viña, S. Z., Chaves A. R. 2006. Antioxidant responses in minimally processed celery during refrigerated storage. Food Chemistry. 94, 68–74.

Viña, S. Z., Chaves A. R. 2008. Effect of heat treatment and refrigerated storage on antioxidant properties of pre-cut celery (*Apium graveolens* L.). International Journal of Food Science and Technology. 43, 44-51.

- Watada A. E., Ko N. P., Minott D. A. 1996. Postharvest Biology and Technology. 9. 115-125.
- Watada A. E., Qi L. 1999. Quality of fresh-cut produce. Postharvest Biology and Technology. 15, 201–205.
- Weller A., Sims C. A., Matthews R. F., Bates R.P., Brecht J. K. 1997. Browning Susceptibility and Changes in Composition During Storage of Carambola Slices. Journal of Food Science. 62, 256-260.
- Wills R. B. H., Wimalasiri P., Greenfield H. 1984. Dehydroascorbic acid levels in fresh fruit and vegetables in relation to total vitamin C activity Journal of Agriculture and Food Chemistry. 32, 836-838.
- Yahia E. M., Contreras-Padilla M., Gonzalez-Aguilar G. 2001. Ascorbic acid content in relation to ascorbic acid oxidase activity and polyamine content in tomato and bell pepper fruits during development, maturation and senescence. Lebensm.-Wiss. Technol. 34, 452-457.
- Yahia E. M., Soto-Zamora G., Brecht J. K., Gardea A. 2007. Postharvest hot air treatment effects on the antioxidant system in stored mature-green tomatoes. Postharvest Biology and Technology. 44, 107–115.
- Yuan G., Sun B., Yuan J., Wang Q. 2010. Effect of 1-methylcyclopropene on shelf life, visual quality, antioxidant enzymes and health-promoting compounds in broccoli florets. Food Chemistry. 118, 774–781.
- Zhan L J, Fontana E., Tibaldi G., Nicola S. 2009. Qualitative and physiological response of minimally processed garden cress (*Lepidium sativum* L.) to harvest handling and storage conditions. Journal of Food, Agriculture & Environment. 7, 43-50.

Zhang Z., Nakano K., Maezawa S. 2009. Comparison of the antioxidant enzymes of broccoli after cold or heat shock treatment at different storage temperatures. *Postharvest Biology and Technology*. 54, 101–105.

Zhao Y., Tu K., Su J., Tu S., Hou Y., Liu F., Zou X. 2009. Heat Treatment in Combination with Antagonistic Yeast Reduces Diseases and Elicits the Active Defense Responses in Harvested Cherry Tomato Fruit *J. Agric. Food Chem.* 57, 7565–7570.

Páginas de Internet

www.corrientes.gov.ar/municipios.asp