

Evaluación de diferentes tratamientos físicos en pimiento (*Capsicum annuum* L.) verde y rojo mínimamente procesado

(Evaluation of different physical treatments in minimally processed green and red pepper (Capsicum annuum L.))

Rodoni LM^{1,2}, Massolo JF¹ y Vicente AR^{1,2}

Resumen:

Este trabajo compara tres estrategias de conservación complementarias a la refrigeración para pimiento mínimamente procesado en ambos estados de madurez. Frutos de pimiento verde y rojo se procesaron en bastones y se sometieron a los siguientes tratamientos: A) inmersión en agua (45 °C, 3 min) (TT), B) radiación UV-C (20 kJ m⁻²) (UV) o C) almacenamiento en atmósfera modificada (AM). Otro grupo de bastones fue dejado sin tratamiento como control. Los bastones se almacenaron a 5 °C durante 12 d. Se evaluaron el deterioro, la incidencia de podredumbre blanda y la tasa respiratoria de los bastones durante el almacenamiento. Los TT y UV lograron reducir el deterioro de los bastones verdes y rojos, y la tasa respiratoria a los 7 d del almacenamiento fue menor en los frutos tratados. Sin embargo, se encontró una respuesta dependiente del estado de madurez en el caso de las AM. Si bien los tres métodos fueron beneficiosos para mantener la calidad en frutos rojos, los mejores resultados se encontraron con los TT y UV, principalmente debido a que la AM tuvo menor control de la podredumbre blanda hacia el final del almacenamiento.

Palabras clave: Madurez; calidad; podredumbre; almacenamiento; presiones parciales

Abstract:

This work evaluates three different conservation methods for red and green fresh-cut peppers. Red and green fruit were processed into sticks and treated as follows: A) water batch immersion (45 °C, 3 min) (TT), B) UV-C radiation (20 kJ m⁻²) or C) modified atmosphere storage (AM). Other group of pepper sticks were left untreated (control). The sticks were stored at 5 °C during 12 d. Fruit decay, soft-rot and respiratory rate were evaluated during storage. The three treatments were effective to reduce sticks deterioration and the treated fruit evidenced lower respiratory rate at 7 d of storage with respect to control. While the three methods were beneficial to maintain quality, in the red sticks the best results were found with TT and UV, mainly because the AM had less control of the soft-rot at the end of storage. In green sticks all the treatments were equally effective.

Keywords: maturity; quality; decay; storage; partial pressures

¹ Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos - Universidad Nacional de La Plata, La Plata – Argentina (cidca@quimica.unlp.edu.ar)

² Laboratorio de Investigación en Productos Agroindustriales - Universidad Nacional de La Plata, La Plata – Argentina (ialecheria@agro.unlp.edu.ar)

1. Introducción

El mercado de vegetales en Argentina está predominantemente dominado por el producto fresco. Sin embargo, los productos mínimamente procesados (MP) han ganado terreno en diferentes países, por lo cual es posible que esta tendencia pueda replicarse en nuestra región, especialmente en las grandes ciudades (Arienzo et al, 2013). Este hecho se ve favorecido en parte por la creciente demanda de los consumidores en busca de un producto práctico, listo para consumir y de mínima o nula preparación (James y Ngarmsak, 2011), y además por la correlación que se ha encontrado entre una dieta rica en vegetales y la prevención de ciertas enfermedades degenerativas (Liu, 2003).

Debido a que el daño mecánico incrementa la tasa respiratoria, la pérdida de peso y el ataque microbiano, los MPs son mucho más perecederos que sus contrapartes enteras (Viña, 2001). Es por este motivo que deben mantenerse en refrigeración, pero aun en esta condición su vida útil no supera los 7-10 días (Singh y Alam, 2012). El empleo de cloro como sanitizante químico es el método más difundido de sanitización, ya sea como cloro gaseoso o hipoclorito (Fan et al., 2008). Sin embargo actualmente su utilización ha sido restringida en algunos países ya que pueden dejar residuos en los alimentos (Silveira et al., 2008; James y Ngarmsak, 2011). Esta situación es crítica en MPs listos para consumo que no se someten a una etapa de lavado posterior. En tal sentido el empleo de tecnologías limpias que no dejen residuos y que sean eficaces en mejorar la conservación de los productos refrigerados es motivo de numerosas investigaciones.

El pimiento es una baya hueca que puede cosecharse en estado de desarrollo tanto verde como rojo (Fernández Lozano et al., 1997). Los frutos de pimiento son no climatéricos (Cantwell, 2013), y pueden almacenarse a 7-10 °C por 2 o 3 semanas sin sufrir daño por frío (Paull, 1990). El fruto procesado puede almacenarse a 5 °C dado que el deterioro por microorganismos se manifiesta antes del daño por frío (González-Aguilar et al., 2004). Las AC/AM en frutos enteros no otorgan marcados beneficios (Mercado et al., 1995), sin embargo el almacenamiento del fruto procesado en AC (5 KPa O₂, 5 kPa CO₂) (Rodoni et al., 2015a) o AM (1 KPa O₂, 10-15 kPa CO₂) (González-Aguilar et al. 2004) sí ha resultado beneficioso. Los tratamientos de shock térmico son de utilidad para conservar la firmeza de pimientos enteros y procesados. La inmersión en agua a 45 °C por 3 min es la mejor combinación para mantener la firmeza de bastones de pimiento (Rodoni et al., 2016), mientras que en fruto entero se necesitan tratamientos más intensos para lograr un efecto similar (Sgroppo y Pereyra, 2009). Por último, tratamientos UV-C de 10 kJ m⁻² luego del procesado han reducido la podredumbre manteniendo la integridad de tejidos en bastones verdes (Rodoni et al., 2012) y rojos (Rodoni et al., 2015b). Sin bien cada una de las estrategias antedichas ha sido evaluada por separado, no hay bibliografía que compare la eficacia de los tratamientos en forma conjunta.

El objetivo de este trabajo fue comparar entre sí las tecnologías de almacenamiento en AM, los tratamientos de shock térmico y los tratamientos con UV-C de forma tal de dilucidar si alguno de los tratamientos es más efectivo y si dicha efectividad depende del estado de madurez de los frutos.

2. Materiales y métodos

2.1. Material vegetal y procesamiento

Se emplearon pimientos (*Capsicum annuum* L.) tipo Lamuyo en estado de madurez rojo y verde, obtenidos en el Mercado Regional de la Ciudad de La Plata, Buenos Aires. Los frutos se trasladaron inmediatamente al laboratorio donde se eliminaron aquellos que presentaron daño mecánico o defectos. Los pimientos seleccionados se lavaron con agua corriente 3 minutos. Posteriormente se eliminaron el pedúnculo y las semillas y se trozaron en bastones de 5 x 1 cm que fueron rápidamente enfriados a 4 °C. Los bastones se dividieron en cuatro grupos, uno fue dejado como control y los demás se sometieron a las siguientes condiciones de tratamiento.

2.2. Tratamiento UV-C

Los bastones se trataron en un banco de irradiación ultravioleta dotado con 12 lámparas UV-C (254 nm, TUV G30T8, 30W, Philips Argentina). Se llevó a cabo un tratamiento de radiación de 20,0 kJ m⁻² (10,0 kJ m⁻² en el lado interno del pericarpio y 10,0 kJ m⁻² en la zona externa) (Rodoni et al., 2015b). Para el tratamiento en ambos lados los frutos fueron colocados con el lado interno hacia arriba y luego rotados. La dosis de UV-C se midió con un radiómetro (Cole-Palmer Instrument Company, Vernon Hills, IL, Estados Unidos).

2.3. Tratamiento térmico

Los bastones fueron sumergidos en un baño con agua termostatazada con agitación. Los bastones se trataron a 45 °C por 3 min (Rodoni et al., 2016). Luego del tratamiento los bastones fueron sumergidos en agua a 2 °C para asegurar un rápido enfriamiento. Después del tratamiento los bastones fueron secados con aire forzado por 10 minutos.

2.4. Envasado en atmósfera modificada (AM)

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

Para determinar la cantidad de producto óptimo se prepararon envases con la película seleccionada a los que se le colocaron diferentes cantidades de bastones de pimiento rojo o verde

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

2.5. Almacenamiento

Tanto los bastones control como los tratados con UV o TT (200 g) se colocaron en bandejas de PVC perforadas. Otro grupo de bastones se colocó en los envases de AM. Los envases se almacenaron a 5 °C por 7 o 12 días. Se prepararon 20 envases para cada tiempo de almacenamiento. Las presiones parciales de O₂ y CO₂ en los envases de AM se monitorearon como se indicó anteriormente.

2.6. Índice de deterioro y podredumbre blanda

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

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

Se registró también el porcentaje de bastones con signos de podredumbre blanda. Los bastones fueron individualmente evaluados (n=150) por cada tratamiento, estado de madurez o tiempo de almacenamiento. Se analizaron 10 envases por cada tiempo de almacenamiento, estado de madurez y tratamiento.

2.7. Tasa respiratoria

La producción de CO₂ se midió con un sensor IR de dicho gas (ALNOR Compu-flow, Modelo 8650). Bastones de pimienta pesando aproximadamente 150 g se colocaron en un recipiente hermético y se registró la cantidad de CO₂ acumulado a 5 °C. Se efectuaron 3 determinaciones y los resultados se expresaron como mg de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

2.8. Análisis estadístico

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

3. Resultados

En la *Figura 1* se muestra la evolución de O_2 y CO_2 durante el almacenamiento a 5 °C en los dos estados de madurez ensayados. El CO_2 dentro de los envases ascendió a un valor del orden de 3 kPa en el primer día de almacenamiento, mientras que el O_2 se redujo cerca de 7 kPa. El equilibrio se alcanzó tanto para frutos rojo como verdes a los 3 días de almacenamiento. En pimiento rojo el equilibrio se alcanzó aproximadamente en 7,5 kPa O_2 y 7,5 kPa CO_2 . Por su parte, los frutos verdes se equilibraron cerca de 9,5 kPa de O_2 y 6,0 kPa de CO_2 .

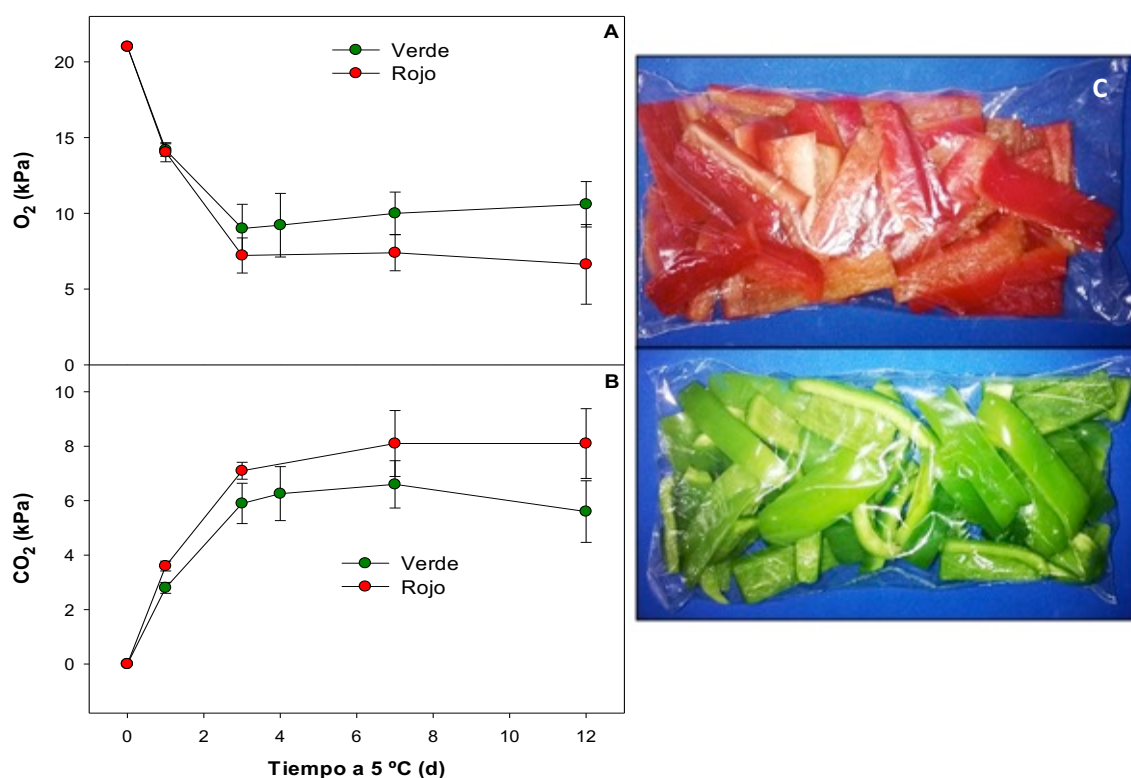


Figura 1. Evolución del A) O_2 y B) CO_2 dentro de los envases durante el almacenamiento a 5 °C de pimiento rojo y verde fresco cortado durante 12 d. Envases de AM para pimiento rojo y verde (C). Se muestran las barras de error estándar ($n=x$).

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

rojos, si bien todos los tratamientos limitaron marcadamente el deterioro, se observó una mejor respuesta por parte del TT y de radiación UV. A los 12 días, el tratamiento de UV redujo 70 % el ID, seguido por el TT y la AM con 60 y 40 % respectivamente (Figura 2).

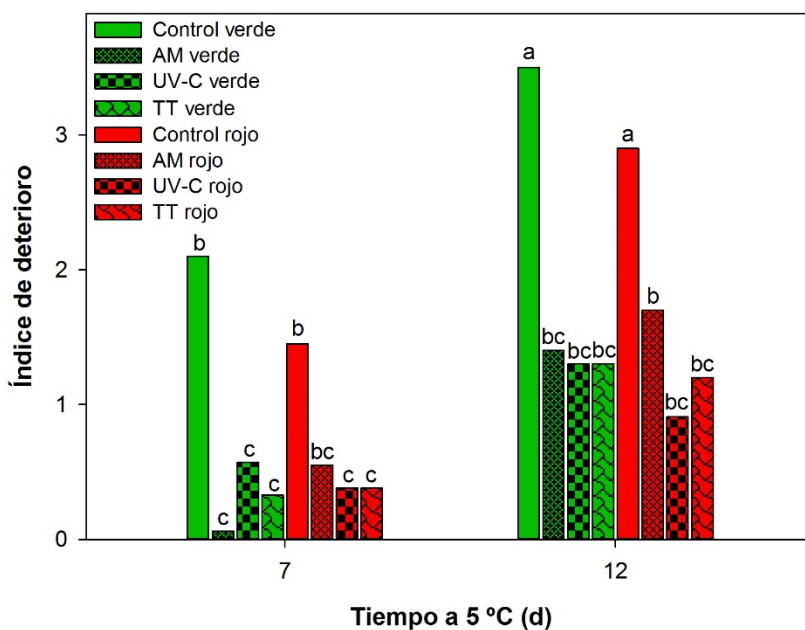


Figura 2. Índice de deterioro de bastones de pimiento verde y rojo, almacenados en AM, tratados con radiación UV (20 kJ m⁻²) o tratados térmicamente (TT, 45 °C, 3 min) y almacenados a 5 °C por 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05.

La mayor eficacia de los TT y UV en fruto rojo se evidenció claramente cuando se evaluó la incidencia de podredumbre blanda (Figura 3). En pimiento verde, y al igual que se describió para el ID, los tres tratamientos fueron igualmente eficaces para la reducción de podredumbre blanda.

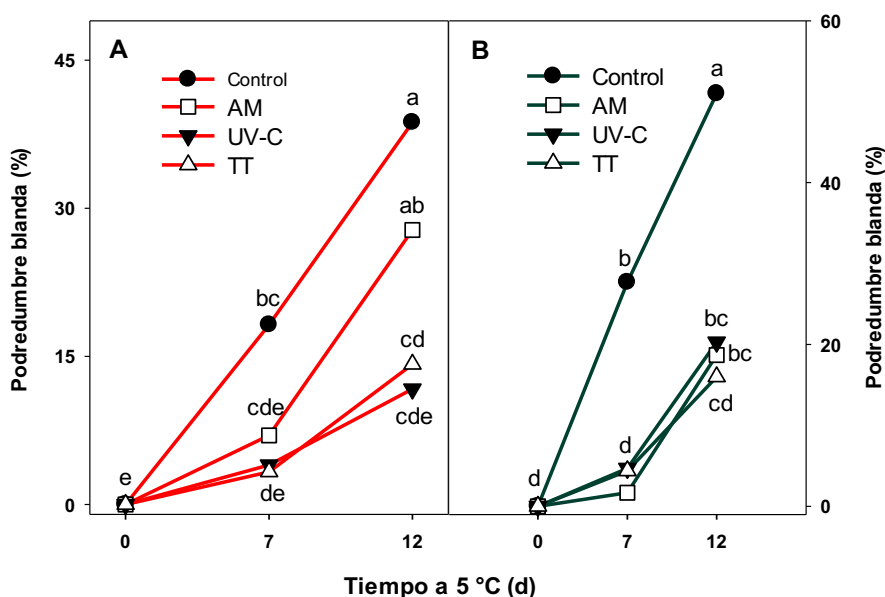


Figura 3. Podredumbre blanda en pimiento rojo y verde fresco cortado almacenado en AM, tratado con radiación UV (20,0 kJ m⁻²) o tratado térmicamente (TT, 45 °C, 3 min) y almacenado a 5 °C por 7 y 12 d. Las letras distintas indican diferencias en un test de Fisher con un nivel de significancia de P<0,05.



Figura 4. Apariencia en pimiento verde y rojo fresco cortado almacenado en AM, tratado con radiación UV ($20,0 \text{ kJ m}^{-2}$) o tratado térmicamente (TT, $45 \text{ }^\circ\text{C}$, 3 min) y almacenado a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 12 d. Las flechas azules indican zonas dañadas (podredumbre blanda o maceración).

Los datos de tasa respiratoria de los frutos luego de los 7 días de almacenamiento muestran que la AM fue eficaz para reducir la tasa respiratoria y que esto ocurrió no sólo en pimiento verde sino también en frutos rojos (*Figura 5*).

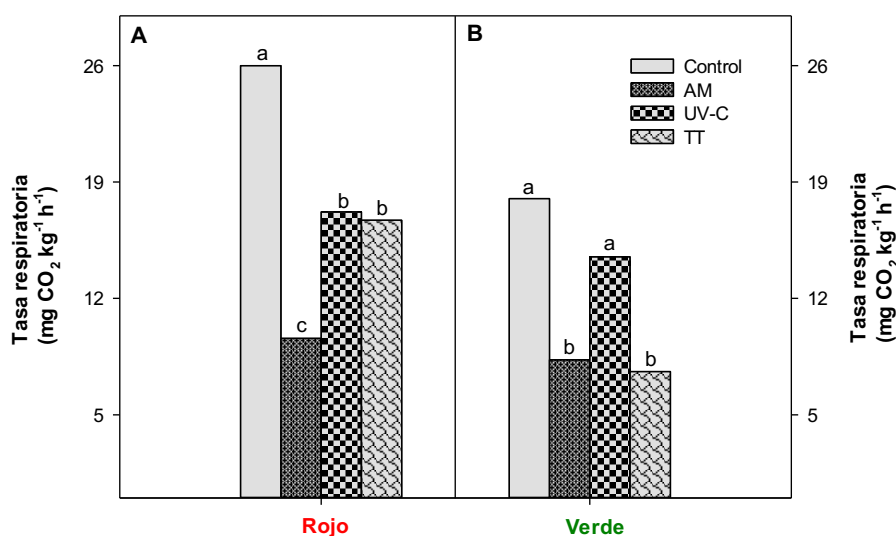


Figura 5. Tasa respiratoria en pimiento rojo (A) y verde (B) fresco cortado almacenado en AM, tratado con radiación UV ($20,0 \text{ kJ m}^{-2}$) o tratado térmicamente (TT, $45 \text{ }^\circ\text{C}$, 3 min) y almacenado a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 7 d. Las letras distintas indican diferencias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

4. Discusión

En cuanto al envasado en AM, para los dos estadios se lograron presiones parciales de O₂ y CO₂ relativamente cercanas al óptimo (Rodoni et al., 2015a). Esta diferencia seguramente se debió a la menor actividad respiratoria de los frutos menos maduros (*Figura 5*). En ese sentido, los envases de pimiento verde aceptarían o bien una película con una permeabilidad algo menor o bien un incremento de la masa de frutos para poder descender un poco más el nivel de O₂ (Rodríguez-Félix et al., 2005, Kader, 2007). De todos modos, los frutos verdes se benefician más por un incremento en la concentración de CO₂ que por una disminución en la de O₂ (Rodoni et al., 2015a). En fruto rojo la AM no llegó a niveles de CO₂ tan altos como 10 kPa o de O₂ menores a 5 kPa, que son los que, aun encontrándose dentro de las condiciones de AM comúnmente recomendadas para pimiento (Farber et al., 2003), pueden ejercer un efecto negativo en este estado de madurez (Rodoni et al., 2015a). En fruto rojo se evidenció claramente la mayor eficacia de los TT y UV cuando se evaluó la incidencia de podredumbre blanda (*Figura 3*). En pimiento verde, y al igual a lo descrito para el ID, los tres tratamientos fueron igualmente eficaces para reducir la podredumbre blanda.

La diferencia observada entre la eficacia de la AM entre frutos verdes y rojos podría deberse *a priori* a diversos factores. En primer término podría atribuirse la menor acción en frutos maduros a una menor acumulación de CO₂ y a un descenso más moderado de O₂ con un consecuente menor efecto fisiológico. De todos modos, este no fue el caso, puesto que fueron los frutos rojos los que lograron atmósferas con mayor nivel de CO₂. La diferencia entre ambos estados de madurez tampoco se debió a que en los envases de frutos rojos se hayan alcanzado valores de CO₂ u O₂ que puedan provocar algún daño (Cantwell, 2013). Por otro lado, a mayor tiempo de establecimiento del equilibrio menor es la eficacia en el control de la maduración y la senescencia. Como se mencionó anteriormente, este proceso demandó 3 días, que es un tiempo no despreciable, teniendo en cuenta la corta vida útil de los MP (Viña, 2001). Si bien es cierto que el tiempo para el establecimiento del equilibrio fue similar para fruto verde y rojo, es probable que el retraso en la llegada a esta condición sea menos favorable en frutos ya maduros cuyos tejidos son menos firmes y más susceptibles a la podredumbre. En tal sentido, para pimientos rojos, resultaría importante poder llegar antes a la atmósfera deseada. Esto podría lograrse mediante el desarrollo de AM activa, ya sea por inyección de 5 kPa CO₂ desde el inicio, o bien por empleo de *sachets* absorbentes de O₂ dentro del envase que permitan bajar más rápidamente los niveles de O₂ hasta valores que retrasen el deterioro.

5. Conclusiones

Los resultados confirmaron que la aplicación de AM, los TT y UV pueden ser considerados de utilidad para reducir el deterioro de pimientos frescos cortados. En frutos verdes, las tres metodologías ensayadas mostraron una eficacia similar. En el caso de frutos rojos, se obtuvieron

mayores beneficios con los TT y UV. Los menores efectos en el caso de las AM ensayadas en pimiento rojo podrían atribuirse al retraso en el establecimiento del equilibrio. Si bien este fenómeno fue común para frutos verdes y rojos, la pérdida de beneficios como consecuencia del retraso en lograr el equilibrio en los sistemas de AM pasiva es más marcada en pimiento maduro, por ser más susceptible a la podredumbre blanda ya desde el inicio del almacenamiento. Si se deseara mejorar los efectos de la AM, podría establecerse un sistema de AM activa, especialmente en pimiento rojo.

Bibliografía

- Arienzo, M., Cataldo, D., & Ferrara, L. (2013). Pesticide residues in fresh-cut vegetables from integrated pest management by ultra-performance liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Food Cont.* 31, 108-115.
- Cantwell, M. (2013). Pimientos: Recomendaciones para mantener la calidad poscosecha. Indicadores básicos en español. Agriculture and Natural Resources, University of California, Davis. Acceso 2016. En: http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Vegetables_English/?uid=5&ds=799
- Fan, X., Annous, B.A., Beaulieu, J.C., & Sites, J.E. (2008). Effect of hot water surface pasteurization of whole fruit on shelf life and quality of fresh-cut cantaloupe. *J. Food Sci.* 73, 91-98.
- Farber, J.N., Harris, L.J., Parish, M.E., Beuchat, L.R., Suslow, T.V., Gorny, J.R., Garrett, E.H., Busta, F.F. (2003). Microbiological safety of controlled and modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut produce. En: E. Allen Foegeding, E.A. (Ed.). *Compr. Rev. Food Sci. & Food Saf.* pp 142-160.
- Fernández Lozano, J., Liverotti, O., & Sánchez, G. (1997). Manejo poscosecha de pimiento. Secretaría de Comercio Interior, Corporación del Mercado Central de Buenos Aires. En: <http://www.mercadocentral.gob.ar/ziptecnicas/pimiento.pdf>.
- González-Aguilar, G.A., Ayala-Zavala, J.F, Ruiz-Cruz, S., Acedo-Félix, E., & Díaz-Cinco, M.E. (2004). Effect of temperature and modified atmosphere packaging on overall quality of fresh-cut bell peppers. *Lebensm. Swiss Soc. Food Sci. Technol.* 37, 817–826.
- James, J.B., & Ngarmsak, T. (2011). Processing of fresh-cut tropical fruits and vegetables: A technical guide. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Acceso 2016. En: <http://www.fao.org/docrep/014/i1909e/i1909e00.htm>

- Kader, A.A. (2007). Cap. 14, Atmósferas modificadas en el transporte y el almacenamiento. En: Kader, A.A. (Ed). Tecnología poscosecha de cultivos hortofrutícolas, Centro de Información e Investigación en Tecnología Postcosecha División de Agricultura y Recursos Naturales, Universidad de California Davis, California. pp 157-168.
- Liu, R.H. (2003). Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. *Am. J. Clin. Nutr.* 78, 517-520.
- Mercado, J.A., Valpuesta, V., Reid, M., Cantwell, M. (1995). Storage of bell peppers in controlled atmospheres at chilling and nonchilling temperatures. *Acta Hort.* 412, 134-142.
- Paull, R.E. (1990). Postharvest heat treatments and fruit ripening. *Postharvest News*, 355-363.
- Rodoni, L.M., Ortiz, C., Lemoine, M.L., Concellón, A., & Vicente, A.R. (2016). Combined use of mild heat treatment and refrigeration to extend the postharvest life of organic pepper sticks, as affected by fruit maturity stage. *Postharvest biology and technology* Volume 117, 168-176.
- Rodoni L.M., Azebedo S., Vicente A.R., Concellón A., & Cunha L.M. (2015a). Quality retention of fresh-cut pepper as affected by atmosphere gas composition and ripening stage. *LWT - Food Science and Technology* 60, 109-114.
- Rodoni, L.M., Zaro, M.J., Hasperué, J.H., Concellón, A., & Vicente, A.R. (2015b). UV-C treatments extend the shelf life of fresh-cut peppers by delaying pectin solubilisation and inducing local accumulation of phenolic. *LWT - Food Science and Technology* 63, 408-414.
- Rodoni, L., Casadei, N., Concellón, A., Chaves Alicia, A.R., & Vicente, A.R. (2012). Use of UV-C treatments to maintain quality and extend the shelf life of green fresh-cut bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Food Science* 77 (6), 632-639.
- Rodríguez-Félix, A., Rivera-Domínguez, M., & Gonzáles-Aguilar, G. (2005). Uso de atmósferas modificadas y controladas. En: Gonzáles-Aguilar, G.A., Gardea, A.A., Cumea-Navarro, F. (Edd). Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados pp. 447-474.
- Sgroppo, S.C., & Pereyra, M.V. (2009). Using mild heat treatment to improve the bioactive related compounds on fresh-cut green bell peppers. *Int. J. Food Sci. Technol.* 44, 1793-1801.
- Silveira, A.C., Conesa, A., Aguayo, E., & Artes, F. (2008). Alternative sanitizers to chlorine for use on fresh-cut "galia" (*Cucumis melo* var. *catalupensis*) melon. *J. Food Sci.* 73, 405-411.
- Singh, S., & Alam, M.S. (2012). Preservation of fresh-cut fruits and vegetables: Current status and emerging technologies. *Stewart Postharvest Rev.* 8, 1-10.

Viña, S. (2001). Hortalizas mínimamente procesadas: Producción y conservación. (Boletín Hortícola N° 9). Departamento de Desarrollo Rural de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (Ed). UNLP, La Plata, pp. 12-19.