

REVISIÓN

Uso de aditivos y métodos físicos para mantener la calidad de los productos de IV gama o mínimamente procesados

Silveira Ana Cecilia¹

¹ *Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Vegetal, Poscosecha de Frutas y Hortalizas. Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay. Correo electrónico: acsilver@fagro.edu.uy*

Recibido: 2015-06-10 Aceptado: 2017-05-08

Resumen

Los productos de IV gama o mínimamente procesados son los sometidos a una serie de operaciones unitarias, tales como pelado, cortado, lavado y desinfección, entre otros, que modifican su apariencia pero que mantienen vivos sus tejidos. El mantenimiento de la calidad organoléptica, nutricional y funcional de los productos de IV gama o mínimamente procesados hace necesario reducir procesos de deterioro como el pardeamiento enzimático y el ablandamiento. El control de estos procesos se realiza a través de aditivos químicos. En el caso del pardeamiento enzimático se emplean, entre otros, acidulantes y agentes quelantes, mientras que las sales de calcio son utilizadas para el mantenimiento de la firmeza. Sin embargo, la tendencia actual de reducir la utilización de aditivos químicos genera la necesidad de desarrollar métodos alternativos para el control de los procesos de deterioro, cobrando importancia los métodos físicos, entre los que se encuentran los tratamientos térmicos y las radiaciones ionizantes y no ionizantes (UV-C, microondas, ultrasonido). Por otra parte, tanto los métodos químicos como los físicos poseen una actividad limitada. Su combinación determina efectos sinérgicos (tecnologías de obstáculos) que conducen a una mayor preservación de la calidad. En este trabajo se aborda el uso de los aditivos químicos y los tratamientos físicos, tanto solos como combinados, para controlar el ablandamiento y el pardeamiento enzimático en productos de IV gama.

Palabras clave: procesado mínimo, ablandamiento, pardeamiento enzimático, métodos físicos, aditivos

Use of Additives and Physical Methods to Maintain the Quality of Fresh Cut Produce

Summary

Fresh cut or minimally processed products are those subjected to different unitary operations, such as peeling, cutting, washing, and disinfection, among others, that modify their appearance but keep their tissues alive. The maintenance of the nutritional and functional organoleptic quality of minimally processed products makes it necessary to reduce deterioration processes such as enzymatic browning and softening. These processes are controlled with chemical additives. In the case of enzymatic browning, acidulants and chelating agents, among others, are used, while calcium salts are used for firmness maintenance. However, the current trend of reducing the use of chemical additives generates the need to develop alternative methods for deterioration processes control, with emphasis on physical methods, including heat treatments and ionizing and non-ionizing radiation (UV-C, microwave, ultrasound). On the other hand, both chemical and physical methods by themselves have a limited activity. Their combination determines synergistic effects (obstacle technologies) that lead to greater preservation of quality. This work addresses the use of chemical additives and physical treatments, both alone and in combination, to control softening and enzymatic browning in minimally processed products.

Keywords: minimum processing, softening, enzymatic browning, physical methods, additives

Introducción

Los productos de IV gama o mínimamente procesados, son aquellos obtenidos a través de operaciones unitarias de preparación, tales como pelado, cortado, lavado, etc., que si bien modifican su apariencia, se caracterizan por el mantenimiento de sus tejidos vivos. Estos productos son además sometidos a una serie de tratamientos de conservación entre los que se incluyen necesariamente la refrigeración y la modificación de la atmósfera (Wiley, 1997). El mantenimiento de la calidad organoléptica, nutricional y funcional, así como de la inocuidad microbiológica, es una tarea bastante compleja que involucra muchos aspectos, tanto en la etapa de elaboración propiamente dicha, como en las etapas de campo y post-producción.

En cuanto a la etapa de elaboración, debe tenerse en cuenta que las operaciones realizadas durante el proceso provocan alteraciones significativas del metabolismo y generan un ambiente propicio para el desarrollo de microorganismos patógenos y causantes de deterioro (Gorny y Kader, 1996). Más recientemente aparece un aspecto nuevo a considerar, y es el hecho de que un número cada vez mayor de consumidores prefieren alimentos reducidos o libres de aditivos químicos porque los consideran contaminantes ambientales y/o nocivos para su salud. Esto obliga a la búsqueda de métodos alternativos a los tradicionalmente utilizados para el mantenimiento de la calidad organoléptica, nutricional y funcional.

Las alteraciones (pérdida de calidad) en los productos de IV gama son consecuencia de las operaciones unitarias que se realizan durante el proceso de elaboración, sobre todo el pelado y corte. Entre ellas aparecen aumentos en la respiración y producción de etileno (C_2H_4), ablandamiento, pardeamiento enzimático, oxidación de lípidos, acumulación de metabolitos secundarios que provocan alteraciones en el sabor y/o aroma, y aumentos en la síntesis de lignina y suberina, entre otros (Gorny, Gil y Kader, 1998; Martín-Belloso, Soliva-Fortuny y Oms-Oliu, 2006; Toivonen y Brummell, 2008).

La reducción de las alteraciones se centra principalmente en el manejo de los factores de pre-cosecha, donde se incluye la selección del material genético, manejo de las condiciones de cultivo, etc., y en la aplicación de aditivos químicos y/o métodos físicos para controlar el crecimiento microbiano, el ablandamiento y el pardeamiento enzimático durante el proceso de elaboración propiamente dicho. Estos dos últimos aspectos son los que se abordarán en este trabajo.

Pardeamiento enzimático

El pardeamiento enzimático se produce como resultado del proceso de oxidación de los compuestos fenólicos a α -quinonas, compuestos altamente reactivos que polimerizan formando melaninas de coloración parda. Esta reacción es catalizada por enzimas del tipo oxidasas, polifenol oxidasa (PPO) y peroxidasa (POD). En los productos enteros, los compuestos fenólicos (sustratos de la reacción) se encuentran en el citoplasma de la célula, separados de las enzimas responsables del pardeamiento, que se encuentran unidas a la membrana tilacoide de los cloroplastos y las membranas mitocondriales. En esta situación, al no haber contacto entre enzimas y sustratos, el pardeamiento puede ocurrir ocasionalmente y estaría asociado a los cambios en la permeabilidad de las membranas celulares que caracterizan el proceso de senescencia (Limbo y Piergiovanni, 2006). Sin embargo, en los productos de IV gama, la operación de corte provoca la pérdida de la compartimentalización celular con posterior contacto entre sustratos y enzimas, que en presencia de O_2 determina la ocurrencia del pardeamiento, caracterizado por la presencia de pigmentos marrones o pardos que afectan la apariencia (Sugumaran, Nellaippan y Valivittan, 2000). Por otro lado, el estrés generado por el procesamiento provoca un aumento en la producción de C_2H_4 que estimula el metabolismo de los compuestos fenólicos, sustratos de la reacción, proceso mediado por la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL), como una respuesta fisiológica del tejido para reducir la pérdida de agua y la prevención del ataque de patógenos.

Además de las condiciones antes mencionadas, necesarias para que ocurra la reacción de pardeamiento (sustratos, enzimas, O_2), en el caso de la PPO, metaloenzima que presenta en su centro activo dos átomos de cobre (Cu), es necesario que estos se encuentren en estado reducido para que la enzima tenga actividad (Mayer, 2006).

La velocidad del proceso es función de la concentración y actividad enzimática, la cantidad y naturaleza de los compuestos fenólicos, pH, temperatura, actividad de agua y cantidad de O_2 disponible, por lo que controlando estos factores se puede regular el proceso. Por lo tanto, la ocurrencia de pardeamiento enzimático se puede controlar a través de la inactivación de la enzima, exclusión o eliminación de los sustratos y/o por el cambio de las condiciones ambientales, especialmente el pH (Altunkaya y Gökmen, 2009). Teniendo en cuenta que la decisión de compra de los productos de IV gama está determinada por su

aparición, el control del pardeamiento enzimático se convierte en un factor de fundamental importancia.

Pérdida de la firmeza

Junto al pardeamiento enzimático, otro de los procesos importantes que ocurren en los productos de IV gama es la pérdida de firmeza, que es consecuencia de cambios a nivel de los polímeros que forman la pared celular y la laminilla media, tales como el aumento de la hidratación y la disminución de la cohesión entre pectinas, lo que hace que las células se puedan separar con mayor facilidad (Jarvis, 1984). Las pectinas son solubilizadas y/o despolimerizadas debido a la hidrólisis de los poliuronidos que con el transcurso de la maduración se vuelven más solubles (Brummell y Labavitch, 1997; Chun y Huber, 2000). La despolimerización de pectinas y la pérdida de galactosa y arabinosa en las cadenas laterales (Gross y Sams, 1984) incrementan la porosidad de las paredes, facilitando el acceso de las enzimas hidrolíticas a sus sustratos (Baron-Epel, Gharyal y Schindler, 1988). La degradación de las paredes celulares se produce por la acción de una serie de enzimas, siendo las principales la poligalacturonasa (PG) y la pectin metil esterasa (PME) y en menor extensión las pectato liasas (Jiménez Bermúdez et al., 2002; Brummell, 2006). Además de estas enzimas, se encuentran otras como β -galactosidasa, endo- β -1,4-D-glucanasa, β -xilosidasa, pectato liasa, arabinofuranosidasa, endo-1,4- β -mananasa, xiloglucano endotransglicosilasa. Más específicamente, las endoglucanasas, xyloglucanasas y endotransglicosidasas contribuyen a la despolimerización de los xyloglicanos (Brummell y Harpster, 2001) mientras que la acción secuencial de las xylanasas y xylosidasas degrada los xylanos (Cleemput et al., 1997). En este proceso también participan un grupo de proteínas denominadas expansinas, sin actividad enzimática detectable, pero que contribuyen al ablandamiento al causar una separación reversible de los puentes de hidrógeno que se encuentran entre las microfibrillas de celulosa y los xyloglicanos (Brummell y Harpster, 2001).

Métodos físicos empleados para el control del pardeamiento y la pérdida de firmeza

Entre los métodos empleados para el control del pardeamiento y la pérdida de firmeza aparecen los tratamientos físicos, tales como los tratamientos térmicos, radiación ionizante, radiación no ionizante (UV-C, microondas, ultrasonido), bajas temperaturas y manejo de la composición de la atmósfera, ya sea mediante el uso de envasado

en atmósfera modificada o recubrimientos comestibles. Los tratamientos térmicos y uso de radiación producen la inactivación de carácter reversible o irreversible de las enzimas responsables de los procesos.

A continuación se presentan algunos ejemplos de aplicación de los métodos antes mencionados. El uso de rayos γ con una intensidad de 0,5; 1 y 1,5 kGy, a una dosis de 0,5 kGy/h y a 15 °C, fue efectivo en el control del pardeamiento enzimático al ocasionar una inactivación reversible de la actividad de la PPO en lechuga de IV gama después de tres días de almacenamiento (Zhang et al., 2006). Con relación al uso de radiación no ionizante, el tratamiento de lechuga Lollo Rosso con UV-C (2,44, 4,07 y 8,14 kJ m⁻²) retardó la ocurrencia del pardeamiento enzimático posibilitando que el producto alcanzara una vida útil de 10 días a 5 °C (Allende y Artés, 2003). Por otra parte, los tratamientos térmicos también han resultado efectivos actuando a nivel de las enzimas. En peciolo de acelga tratados con calor (50 °C durante 90 s) ocurrió una reducción significativa en la actividad de la PAL inducida por el corte que determinó una reducción del pardeamiento (Loaiza-Velerde et al., 2007). Por otra parte, un tratamiento de choque térmico leve (50 °C durante 2 min) aplicado a rodajas de rábano permitió reducir el pardeamiento enzimático (Goyeneche et al., 2014).

En el caso de la pérdida de firmeza, tratamientos de inmersión en agua caliente (60 °C) durante 90 y 120 s en melón Galia de IV gama determinaron una mayor retención de la misma después de 10 días de almacenamiento a 5 °C, con un ablandamiento de tan solo del 10 al 14 % en relación con el valor inicial (Silveira et al., 2011b). También la radiación UV-C (4,4 kJ m⁻²) permitió mantener la firmeza de tomate durante 35 días de almacenamiento a 18 °C, como resultado de la reducción de la actividad de la PG y de la PME (Bu et al., 2013).

Uso de aditivos para el control del pardeamiento

El uso de aditivos químicos es la técnica más empleada para la reducción del pardeamiento enzimático. Estos productos pueden actuar sobre la enzima, el sustrato o los productos de la reacción, por ejemplo, mediante la reducción de las α -quinonas formadas. Dentro de los compuestos que actúan a nivel de las enzimas aparecen los que modifican el pH y los agentes quelantes. Puesto que la PPO tiene una actividad óptima a valores de pH entre 5 y 7, la acidificación del medio, a través de la utilización de ácidos orgánicos tipo GRAS (cítrico, ascórbico, málico, etc.) a valores de pH por debajo de 4, determina un control del pardeamiento. En el caso de los agentes quelantes actúan

eliminando los iones cobre del sitio activo de la enzima (Du, Dou y Wu, 2012).

Entre los agentes quelantes aparecen el ácido kójico y el ácido etilendiaminotetracético (EDTA). Otro potente inhibidor de la actividad de la PPO es el 4-hexilresorcinol que interactúa con la PPO formando un complejo inactivo incapaz de catalizar la reacción de pardeamiento (Jiménez y García-Carmona, 1997). Por otra parte los agentes complejantes tales como hexametáfosfato y la ciclodextrina reducen la actividad de la PPO al formar un complejo con el sustrato de la enzima (Ghidelli et al., 2013).

El pardeamiento enzimático también puede ser controlado a través del uso de agentes antioxidantes y complejantes, capaces de formar complejos con los sustratos de la PPO, o de interactuar con los productos de la reacción. La principal acción de los antioxidantes químicos es evitar el pardeamiento mediante la reducción de las α -quinonas a sus α -difenoles precursores. Los principales antioxidantes descritos en la literatura son el ácido ascórbico, ácido eritór-bico, ácido elágico, N-acetil cisteína, clorhidrato de cisteína, y glutatión (Arias et al., 2007). El ácido ascórbico es el agente reductor más comúnmente utilizado. En lechuga (*Lactuca sativa* var. capitata), el uso de ácido ascórbico redujo la actividad PPO en alrededor de 90 % (Landi et al., 2013). Si bien es efectivo para el control del pardeamiento, la desventaja de su utilización radica en el hecho de que se consume en la reacción, por lo que, una vez que se oxida completamente, ya no es capaz de controlar el pardeamiento. Por otra parte, en berenjena de IV gama la actividad de la PPO fue fuertemente inhibida por el uso de ácido cítrico, tartárico y acético (Todaro et al., 2011).

Es importante señalar que algunos acidulantes también pueden funcionar como antioxidantes y viceversa. Otros de los agentes que reducen el pardeamiento actúan a nivel de las enzimas. En este grupo aparecen la cisteína, compuesto que al oxidarse atrapa las α -quinonas formando productos no coloreados, los cuales son inhibidores competitivos de la PPO (Richard-Forget, Goupy y Nicolas, 1992).

El uso de L-cisteína ha tenido buenos resultados. Se ha evitado o reducido el pardeamiento en lechugas y coles (Gómez-López et al., 2009) y alcachofas (Cabeza-Serrano, Amodio y Colelli, 2013; Ghidelli et al., 2013) entre otras hortalizas. También en este grupo aparece el 4-hexilresorcinol (4HR), compuesto que reacciona con la PPO imposibilitando que esta catalice la reacción de pardeamiento.

En cuanto al mantenimiento de la firmeza, y por el hecho de que el ablandamiento es proporcional al nivel de calcio en los tejidos (Fallahi et al., 1997), también es posible retar-

darlo agregando calcio, ya sea por inmersión con o sin aumento de la temperatura, o por infiltración al vacío, siendo que los tratamientos de inmersión en agua caliente son los más comunes. El tratamiento de inmersión en agua caliente (60 °C) con las sales cloruro, lactato y ascorbato de calcio (0,15 g/g) durante 1 min, seguido de un enfriado en una solución de peróxido de hidrógeno (H₂O₂), permitió el mantenimiento de la firmeza por 10 días a 5 °C (Silveira et al., 2011a). En un trabajo más reciente también se encontró un efecto positivo de los tratamientos con cloruro, lactato y propionato de calcio (250 mM) en el mantenimiento de la firmeza de espinacas baby de IV gama almacenadas durante 7 días a 5 °C (Oliveira et al., 2016).

Combinación de técnicas

En general los métodos empleados para preservar la calidad de los productos de IV gama tienen una efectividad limitada, por lo que se hace necesario combinarlos para obtener mejores beneficios. La combinación de métodos se conoce también como tecnologías de obstáculos; procesos combinados o conservación multiblancos, entre otros, y se basa en el hecho de que la sinergia entre los factores de estrés permite asegurar la estabilidad, inocuidad y mantenimiento de la calidad al vencer respuestas homeostáticas microbianas pero al mismo tiempo reteniendo las características nutricionales y sensoriales deseadas (Leitsner, 2000).

Los aditivos químicos usados para prevenir o controlar el pardeamiento enzimático se aplican en soluciones, frecuentemente como formulaciones que contienen uno o más compuestos. Mezclas de agentes antipardeantes tales como el ácido ascórbico y el ácido cítrico se emplean comúnmente y tienen un efecto sinérgico. Por ejemplo, la combinación de sulfato ácido de sodio al 1 % con ácido cítrico y ácido ascórbico a la misma concentración fue efectiva para controlar el pardeamiento en papas de IV gama (Calder et al., 2011). También en papa la combinación de eritorbato de sodio con ácido cítrico fue efectiva en reducir el pardeamiento (Mosneaguta, Alvarez y Barringer, 2012). Arilos de granada tratados con UV-C (4,54 kJ m⁻²) y agua caliente (55 °C durante 30 s) en combinación o no con alta atmósfera de O₂ mostraron una menor actividad de las enzimas responsables del pardeamiento (PPO y POD) alcanzando una vida útil de 14 días a 5 °C (Maghoumi et al., 2013).

En cuanto al mantenimiento de la firmeza, la aplicación de citrato y ascorbato de calcio combinados con agua caliente (60 °C durante 1 min) permitió reducir la actividad de las enzimas PG y PME responsable del ablandamiento así

como de la PPO en berenjenas de IV gama (Barbagallo, Chisaril y Caputa, 2012).

Otro ejemplo de la combinación de métodos fue reportado por Maghoubi et al. (2013) quienes trataron arilos de granada con UV-C (4,54 kJ m⁻²), agua caliente (55 °C durante 30 s), combinada o no con almacenamiento en atmósfera de alto O₂ (90 kPa). Estos tratamientos se aplicaron solos o combinados y afectaron a las enzimas responsables del pardeamiento (PPO, PDO entre otros) de manera diferencial. Mientras que el agua caliente suprimió la PPO y aumentó la actividad de POD, por lo que no hubo una reducción significativa del pardeamiento. Sin embargo, la radiación UV-C combinada con el almacenamiento en atmósfera de alto O₂ fue efectiva en reducir la actividad de ambas enzimas lo que se tradujo en una reducción del pardeamiento.

Conclusiones

Con relación a la necesidad de preservar la calidad de los productos de IV gama, teniendo en cuenta las exigencias cada vez mayores de los consumidores, que demandan productos reducidos o libres de aditivos químicos, los trabajos experimentales en diferentes productos, demuestran que existen alternativas que permiten alcanzar ambos objetivos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco de la red CYTED HORTYFRESCO (113RT0480) «Producción artesanal de hortalizas de IV y V gama: inocuidad y valor funcional».

Bibliografía

- Allende, A. y Artés, F. (2003). UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed 'Lollo Rosso' lettuce. *Food Research International*, 36, 739-746.
- Altunkaya, A. y Gökmen, V. (2009). Effect of various anti-browning agents on phenolic compounds profile of fresh lettuce (*L. sativa*). *Food Chemistry*, 117, 122-126.
- Arias, E., González, J., Peiró, J. M., Oriá, R. y López-Buesa, P. (2007). Browning prevention by ascorbic acid and 4-hexylresorcinol: Different mechanisms of action on polyphenol oxidase in the presence and in the absence of substrates. *Journal of Food Science*, 72, 464-470.
- Barbagallo, R., Chisaril, M. y Caputa, G. (2012). Effects of calcium citrate and ascorbate as inhibitors of browning and softening in minimally processed 'Birgah' eggplants. *Postharvest Biology and Technology* 73, 107-114.
- Baron-Epel, O., Gharyal, P. K. y Schindler, M. (1988). Pectins as mediators of wall porosity in soybean cells. *Planta*, 175, 389-395.
- Brummell, D. A. (2006). Cell Wall Disassembly. *Functional Plant Biology*, 33, 103-119.
- Brummell, D. A. y Harpster, M. H. (2001). Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Molecular Biology*, 47, 311-340.
- Brummell, D. A. y Labavitch, J. M. (1997). Effect of antisense suppression of endopolygalacturonase activity on polyuronide molecular weight in ripening tomato fruit and in fruit homogenates. *Plant Physiology*, 115, 717-725.
- Bu, J., Yu, Y., Aisikaera, G. y Ying T. (2013). Postharvest UV-C irradiation inhibits the production of ethylene and the activity of cell wall-degrading enzymes during softening of tomato (*Lycopersicon esculentum*L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 86, 337-345.
- Cabeza-Serrano, A., Amodio, M. L. y Colelli G. (2013). Effect of solution pH of cysteine-based pre-treatments to prevent browning of fresh-cut artichokes. *Postharvest Biology and Technology*, 75, 17-23.
- Calder, B. L., Skonberg, D. I., Davis-Dentici, K., Hughes, B. H. y Bolton, J. C. (2011). The effectiveness of ozone and acidulant treatments in extending the refrigerated shelf life of fresh-cut potatoes. *Journal of Food Science*, 76, 492-498.
- Chun, J. P. y Huber, D. J. (2000). Reduced levels of b-subunit protein influence tomato fruit firmness, cell-wall ultrastructure, and PG2-mediated pectin hydrolysis in excised pericarp tissue. *Journal of Plant Physiology*, 157, 153-160.
- Cleepmut, G., Hessing, M., Van Oort, M., Deconynck, M. y de Cour J. A. (1997). Purification and characterization of a β -xylosidase and an endo-xylanase from wheat flour. *Plant Physiology*, 113, 377-386.
- Du, J., Dou, Q. y Wu J. (2012). Efficacy of phytic acid as an inhibitor of enzymatic and non-enzymatic browning in apple juice. *Food Chemistry*, 135, 580-582.
- Fallahi, E., Conway, W. S., Hickey, K. D. y Sams, C.E. (1997). The role of calcium and nitrogen in postharvest quality and disease resistance of apples. *Hortscience*, 32, 831-835.
- Ghidelli, C., Rojas-Argudo, C., Mateos, M. y Pérez-Gago, M. B. (2013). Effect of antioxidants in controlling enzymatic browning of minimally processed persimmon 'Rojo Brillante'. *Postharvest Biology and Technology*, 86, 487-493.
- Gómez-López, V., Rajkovic, A., Ragaert, P., Smigic, N. y Devlieghere, F. (2009). Chlorine dioxide for minimally processed produce preservation: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 20, 17-26.
- Gorny, J. R., Gil, M. I. y Kader, A. A. (1998). Quality changes in fresh-cut pears. *Acta Horticulturae*, 464, 231-236.
- Gorny, J. R. y Kader, A. A. (1996). Fresh cut fruit products. En *Fresh-cut products: Maintaining quality and safety*. California: University of California (pp. 1-14). (Postharvest Horticulture Serie, N°10).
- Goyeneche, R., Agüero, M. V., Roura, S. y Di Scala, K. (2014). Application of citric acid and mild heat shock to minimally processed sliced radish: Color evaluation. *Postharvest Biology and Technology*, 93, 106-113.
- Gross, K. C. y Sams, C. E. (1984). Changes in cell wall neutral sugar composition during fruit ripening: A species survey. *Phytochemistry*, 23, 2457-2461.
- Jarvis, M. C. (1984). Structure and properties of pectin gels in plant cell walls. *Plant Cell and Environment*, 7, 153-164.
- Jiménez, M. y García-Carmona, F. (1997). 4-Substituted resorcinols (sulfite alternatives) as slow-binding inhibitors of tyrosinase catecholase activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 2061-2065.
- Jiménez Bermúdez, S., Redondo-Nevado, J., Muñoz-Blanco, J., Caballero, J. L., López-Aranda, J. M., Valpuesta, V., Mercado, J. A. (2002). Manipulation of strawberry fruit softening by antisense expression of a pectate lyase gene. *Plant Physiology*, 128, 751-759.
- Landi, M., Degl'Innocenti, E., Guglielminetti, L. y Guidi, L. (2013). Role of ascorbic acid in the inhibition of polyphenol oxidase and the prevention of browning in different browning-sensitive *Lactuca sativa* var. capitata (L.) and *Eruca sativa* (Mill.) stored as fresh-cut produce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, 1814-1819.
- Leitsner, L. (2000). Hurdle technology in the design of minimally processed foods. En S. M. Alzamora, M. S. Tapia, A. López-Malo (Eds.). *Minimally processed fruits*

- and vegetables fundamental aspects and applications* (pp. 13-27). Gaithersburg: Aspen Publication.
- Limbo, S. y Piergiovanni, L.** (2006). Shelf life of minimally processed potatoes: Part 1. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acids on enzymatic browning. *Postharvest Biology and Technology*, 39, 254-264.
- Loaiza-Velerde, J. G., Mangrich, M. E., Campos-Vargas, R. y Saltveit, M.** (2007). Heat shock reduces browning of fresh-cut celery petioles. *Postharvest Biology and Technology*, 27, 305-311.
- Maghoughi, M., Gómez, P. A., Artés-Hernández, F., Mostofi, Y., Zamani, Z. y Artés, F.** (2013). Hot water, UV-C and superatmospheric oxygen packaging as hurdle techniques for maintaining overall quality of fresh-cut pomegranate arils. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, 1162-1168.
- Martin-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R. y Oms-Oliu, G.** (2006). Fresh-cut fruits. En Y. H. Hui (Ed.). *Handbook of fruits and fruit processing* (pp. 129-144). Iowa: Blackwell Publishing.
- Mayer, A. M.** (2006). Polyphenol oxidases in plants and fungi: Going places? A review. *Phytochemistry*, 67, 2318-2331.
- Mosneaguta, R., Alvarez, V. y Barringer S. A.** (2012). The effect of antibrowning agents on inhibition of potato browning, volatile organic compound profile, and microbial inhibition. *Journal of Food Science*, 77, 1234-1240.
- Oliveira, A. L. S., Amaro, A. L., de Sain, J. y Pintado, M.** (2016). Impact of different calcium dips and solution pH on quality of ready-to-eat baby-leaf spinach. *Postharvest Biology and Technology*, 121, 36-42.
- Richard-Forget, F. C., Goupy, P. M. y Nicolas, J. J.** (1992). Cysteine as an inhibitor of enzymatic browning: 2. Kinetic studies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, 2108-2113.
- Silveira, A. C., Aguayo, E., Chisari, M. y Artés, F.** (2011a). Calcium salts and heat treatment for quality retention of fresh-cut 'Galia' melon. *Postharvest Biology and Technology*, 62, 77-84.
- Silveira, A. C., Aguayo, E., Escalona, V. H. y Artés, F.** (2011b). Hot water treatment and peracetic acid to maintain fresh-cut Galia melon quality. *Innovative in Food Science and Emerging Technologies*, 12, 569-576.
- Sugumaran, M., Nellaippan, K. y Valivittan, K.** (2000). A new mechanism for the control of phenoloxidase activity: Inhibition and complex formation with quinone isomerase. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 379, 252-260.
- Todaro, A., Cavallaro, R., Argento, S., Branca, F. y Spagna, G.** (2011). Study and characterization of polyphenol oxidase from eggplant (*Solanum melongena* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 11244-11248.
- Toivonen, P. M. A. y Brummell, D. A.** (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 48, 1-14.
- Wiley, R. C.** (1997). Métodos de conservación de frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. En R. C. Wiley (Ed.). *Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas* (pp. 65-1330). Zaragoza: Acribia.
- Zhang, L., Lu, Z., Lu, F. y Bie, X.** (2006). Effect of γ irradiation on quality-maintaining of fresh-cut lettuce. *Food Control*, 17, 225-228.