

Tecnologías de conservación de frutas y hortalizas mínimamente procesadas

Recibido: 5 de febrero de 2014

Aceptado: 29 de septiembre de 2014

Resumen

Los productos mínimamente procesados son demandados por un mercado en crecimiento, debido a que el consumidor busca productos con valor agregado y listos para su consumo; sin embargo, su comercialización está limitada por una vida útil corta y un rápido deterioro de sus componentes debido a daños en el tejido por las operaciones de procesamiento, los cuales influyen en la calidad sensorial del producto final debido principalmente a cambios enzimáticos, bioquímicos y de crecimiento microbiano. Por consiguiente, hay una necesidad de encontrar alternativas para la conservación de las frutas y vegetales frescos precortados, que permitan reducir al mínimo los cambios que ocurren en el tejido vegetal. Dentro de las alternativas que han sido propuestas, se tienen: la aplicación de agentes antimicrobianos, antioxidantes y calcio, recubrimientos comestibles y empaque bajo atmósferas modificadas. Por tanto, el objetivo de esta revisión es presentar una visión de las tecnologías disponibles y con potencial para ser empleadas por la industria hortofrutícola colombiana para la conservación de frutas y vegetales mínimamente procesados, de manera que se le dé valor agregado a nuestros productos y acceder a nuevos mercados.

Palabras clave: productos precortados, agentes antioxidantes y antimicrobianos, calcio, recubrimiento comestible, atmósferas modificadas y vida útil.

Conservation technologies of minimally processed fruits and vegetables

Abstract

Minimally processed products are demanded by a growing market because consumers are looking for value-added products and ready to eat, but their marketing is limited by a short life and rapid deterioration of their components due to damage tissue processing operations, this affect the sensory quality of the final product mainly due to enzymatic, biochemical changes and microbial growth. Consequently, there is a need to find alternatives for the conservation of fresh-cut fruits and vegetables, allowing to reduce to a minimum the changes occurring in plant tissue. Among the alternatives that have been proposed, they are:

.....
¹ Ingeniera de Producción Agroindustrial. MSc. Diseño y Gestión de Procesos con énfasis en Alimentos. Fundación Universitaria Agraria de Colombia - UNIAGRARIA, Docente Programa de Ingeniería de Alimentos. Bogotá, Colombia. Email: casas.nidia@uniagraria.edu.co

The application of antimicrobial and antioxidants agents, calcium, edible coatings and packaging under modified atmospheres. Therefore, the aim of this review is to present an overview of available technologies with the potential to be used by the Colombian agricultural industry for the conservation of minimally processed fruits and vegetables, so that you will give added value to our products and access to new markets.

Key Words: Pre-cut products, antimicrobial and antioxidants agents, calcium, edible coatings, modified atmospheres and shelf life.

Introducción

Los productos mínimamente procesados son demandados por un mercado que está en crecimiento, debido principalmente a que el consumidor está buscando productos hortofrutícolas con valor agregado, listo para su consumo, y que a su vez garantice su calidad nutricional, sensorial e inocuidad. Sin embargo, su comercialización exige una vida útil prolongada que permita llegar al consumidor con un producto en condiciones óptimas de calidad. Por consiguiente, se ha generado el desarrollo de nuevas tecnologías de conservación, dando lugar a los productos de IV gama, definidos como “aquellas frutas y hortalizas procesadas para aumentar su funcionalidad sin cambiar de forma apreciable sus propiedades originales” (Salunkhe & Desai, 1991).

El proceso de obtención de las frutas y vegetales precortados implican un cambio en el tejido, debido a que la integridad celular ha sufrido una disrupción por efecto del proceso de corte afectando la producción de etileno, tasa de respiración, degradación de las membranas, acumulación de metabolitos, pérdida de agua y deterioro microbiano; generando reacciones metabólicas, las cuales desencadenan en siete problemas principalmente: pérdida de peso por los procesos de exudación de líquidos de la fruta, aumento en la intensidad respiratoria del tejido por efecto del corte, alteraciones microbiológicas, pardeamiento y ablandamiento de los tejidos por acciones de enzimas presentes en la fruta, pérdida de nutrientes como vitaminas y de las caracterís-

ticas organolépticas propias del producto como: sabor, aroma y color (Oey et al., 2007).

Como mecanismo para la reducción de estos problemas, se requiere trabajar en dos frentes: (1) en relación al tejido vegetal, el cual es un tejido vivo en el que interactúan diversos fenómenos, reacciones, procesos de deshidratación, oxidación, elevada velocidad de respiración, actividad enzimática, algunas de las cuales, si no son controladas, pueden conducir a la rápida senescencia, y (2) la posibilidad de desarrollo microbiano, el cual es mayor debido a la mayor superficie expuesta, la presencia de jugos celulares, y al daño de los tejidos por el corte, por lo que la proliferación microbiológica debe ser minimizada y retardada (Piagentini et al., 2003).

Durante los últimos años, se han estudiado muchas técnicas para minimizar los efectos de los fenómenos degradativos en los productos mínimamente procesados y extender su vida útil, entre estos estudios se tienen: el empaque bajo atmósferas modificadas que permitan controlar los procesos respiratorios típicos de los tejidos vivos y retardar la senescencia (Allende et al., 2007), el empleo de agentes antioxidantes para evitar el oscurecimiento superficial (Amodio et al., 2011) y la aplicación de compuestos antimicrobianos para prevenir la proliferación de microorganismos causantes de alteraciones (Costa et al., 2011a), y el más reciente es el empleo de películas y recubrimientos comestibles (Dhall, 2013; Bierhals et al., 2011).

Por tanto, el objetivo de esta revisión es presentar una visión general de la microbiota que

influye en la pérdida de calidad en las frutas y vegetales precortados y las tecnologías disponibles para procesamiento de productos hortofrutícolas mínimamente procesados, las cuales tienen un alto potencial para ser empleadas en el procesamiento de las frutas y vegetales producidos en Colombia y son tecnologías que permiten incrementar la vida útil de estos productos.

Microbiología de las frutas y vegetales

Las frutas y vegetales por naturaleza presentan microorganismos en su parte externa, su presencia y número depende del tipo de producción, prácticas agronómicas, condiciones de cosecha y transporte (Olaimat & Holley, 2012), dentro de los microorganismos presentes se encuentran principalmente bacterias gram negativa, hongos y levaduras, entre estos cabe destacar: *E. Coli*, *Clostridium botulinum*, *Listeria Monocytogenes*, *Salmonella*, *Shigella*, *Staphylococcus aureus*; bacterias ácido lácticas como *Leuconostoc* y *Lactobacillus*, *Pseudomonas* spp., *Erwinia*, *Xanthomonas*, *Enterobacter*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Aspergillus* (Ramos et al., 2013; Goodburn & Wallace, 2013; De Azeredo et al., 2011).

Oliveira et al. (2010) reporta valores de 10^3 a 10^9 UFC/g de mesófilos en vegetales después de su cosecha. Asimismo, Abadías et al., (2008), reporta valores de mesófilos entre 4.3 y 8.9 log UFC/gr en vegetales frescos y de 2.0 to 7.1 log UFC/gr en frutas. Y en zanahoria reportan valores de 5,97log UFC/gr de *E. coli* (O'Beirne et al., 2014).

Durante las etapas de pelado y corte, la superficie del producto se expone al aire y a la posible contaminación con bacterias, levaduras y mohos, debido a que la barrera protectora de la epidermis se rompe, lo que aumentará la disponibilidad de nutrientes y proporcionará grandes áreas de superficie que pueden facilitar el crecimiento microbiano (Ramos et al., 2013). Además, el daño mecánico causado a las células durante el procesamiento puede aumentar la

tasa senescencia del tejido, reduciendo su resistencia al deterioro microbiano, y la ausencia de tratamientos capaces de garantizar la estabilidad microbiana y el metabolismo activo de tejido de la fruta, aumentan el potencial crecimiento de los microorganismos disminuyendo la vida útil del producto (Plaza et al., 2014; Siroli et al., 2014).

Teniendo en cuenta que en muchos casos las frutas y hortalizas frescas se consumen crudas, se debe tener especial atención en el riesgo en la inocuidad y seguridad alimentaria que esto implica, por lo tanto, se deben implementar estrategias que reduzcan el riesgo microbiológico a lo largo del proceso de transformación de los productos mínimamente procesados aplicando métodos seguros de desinfección y de conservación que permitan garantizar un producto inocuo y con calidad óptima en relación con sus propiedades físicas y organolépticas. A continuación se describen las tecnologías: aplicación de agentes antioxidantes, antimicrobianos, soluciones de calcio, atmósferas modificadas y recubrimientos comestibles.

Agentes antioxidantes

Durante el procesamiento de los productos precortados, las células sufren un daño mecánico que se traduce en la deslocalización de las enzimas celulares y sus sustratos, que conduce a alteraciones bioquímicas como oscurecimiento enzimático, olores desagradables y ablandamiento de los tejidos (Rojas-Graü et al., 2006). Este fenómeno es causado por la acción de las enzimas, principalmente por la polifenoloxidasas (PPO), que en la presencia de oxígeno, convierte los compuestos fenólicos en pigmentos de color oscuro. Para retrasar este efecto, se sugiere la disminución del pH mediante la inmersión del producto en soluciones de ácidos orgánicos, agentes reductores, acidulantes, quelantes o compuestos que actúan directamente inhibiendo la PPO (Ahvenainen, 1996).

Dentro de los agentes antioxidantes empleados para reducir el impacto de la PPO, se tiene

la aplicación de ácido ascórbico, logrando una vida útil de 8 días para melón tratado con ácido ascórbico al 1 % empaquetado en bolsas PET (Lima et al., 2011), la aplicación de ácido cítrico a una concentración de 250 ppm junto con empaque en atmósferas modificadas, que permitió obtener 15 días de almacenamiento en rodajas de zanahoria Chantenay (González et al., 2010), y la combinación de ácido cítrico 1 % y ácido ascórbico al 4 % en cubos de papa fue efectivo en la reducción del oscurecimiento (Rinaldi et al., 2010). Sin embargo, estudios indican que las acciones de los ácidos ascórbico y cítrico tienen acción temporal (Özöglü & Bayındırlı, 2002), por lo cual estos ácidos, en algunos casos, se emplean combinados con otros agentes.

Rojas-Graü et al., 2006, han aplicado compuestos que contienen compuestos thiol como inhibidores del pardeamiento enzimático, tales como la cisteína, N-acetilcisteína y glutatión reducido, estos compuestos reaccionan con las quinonas formando durante la fase inicial de las reacciones de pardeamiento enzimático productos incoloros. Rojas-Graü et al. (2007) encontró que la inmersión de rodajas de manzana Fuji en soluciones de N-acetilcisteína al 1 %, previene el pardeamiento superficial y preserva la apariencia inicial de las rodajas de manzana Fuji. Asimismo, soluciones de L-cisteína al 0,5 % ayuda a prevenir el pardeamiento en alcachofas frescas cortadas (Cabezas-Serrano et al., 2013), y si se reduce el pH a 3, su eficacia se mejora (Amodio et al., 2011).

Agentes antimicrobianos

Los agentes antimicrobianos son sustancias producidas por organismos vivos que son capaces de influir en el desarrollo de los microorganismos (Batista & Borges, 2013), y pueden ser aplicados, adicionándolos directamente sobre el alimento, sin embargo, este mecanismo genera cambios en la percepción sensorial principalmente en el sabor, y en algunos casos, presencia de microorganismos

en la superficie, o incorporándolos en el material de empaque, reduciendo el contacto directo con el alimento (Kuorwel et al., 2011).

Los agentes antimicrobianos pueden provenir de fuentes vegetales (hierbas y aceites esenciales), animales (lisozima, lactoferrina), microbios (nisina, natamicina) o polímeros antimicrobianos (quitosano). Siendo, los más empleados los extraídos de plantas como albahaca, tomillo, orégano, canela, clavo de olor y romero. Estos extractos contienen compuestos naturales como el timol, linalol, ácido cinámico y carvacrol con una amplia acción antimicrobiana frente a diferentes patógenos y microorganismos incluidos bacterias Gram-positivas, Gram-negativas, mohos y levaduras (Ramos et al., 2013).

Roller y Seedhar (2002) utilizaron soluciones de carvacrol de 5 - 15mM para inhibir el crecimiento microbiano en kiwi fresco precortado, encontrando una reducción entre 2 y 6 ciclos log durante 21 días a 4 °C, y Wang y Buta (2003) emplearon jasmonato de metilo, reportando que la calidad microbiológica de las rebanadas de kiwi se mantuvieron durante 3 semanas a 10 °C. Dentro de los últimos avances se tiene la aplicación de nanopartículas antimicrobianas de Ag-MMT en el envase de ensaladas de frutas frescas para su vida útil, tratamiento que permitió inhibir el crecimiento microbiano, manteniendo la calidad sensorial del producto (Costa et al., 2011a). Mientras, Ramos et al. (2013) probaron un sistema de envasado activo para fresas frescas basado en la liberación de carvacrol y timol en películas de polipropileno, encontrando que la adición de un 8 % en peso de polipropileno de los agentes antimicrobianos, presentan un efecto positivo en la extensión de la vida útil de las frutas, manteniendo su calidad y seguridad.

Aplicación de agentes de calcio

El calcio ayuda a mantener la estructura de la pared celular, debido a su capacidad para servir

como puente entre las sustancias pécticas, tanto de la pared celular como de la lámina media, formándose pectato cálcico que aporta estructura al tejido evitando el ablandamiento (Alandes et al., 2009). Se puede emplear diferentes tipos de sales, como el cloruro de calcio que a pesar de sus beneficios en la textura puede impartir sabores amargos no deseados (Varela et al., 2007), el lactato y propionato de calcio (Alandes et al., 2009). Asimismo, se ha reportado que la aplicación de baños cálcicos a temperaturas entre 40 y 60 °C favorecen la activación de la enzima pectin metil esterasa, desmetilando las pectinas de la pared celular, lo que permite la unión del Ca^{2+} endógeno o exógeno con los grupos carboxílicos libres de los polímeros de pectinas existentes, estabilizando la pared celular (Casas & Caez, 2011).

Rico et al. (2007) reporta que el uso de altas temperaturas incrementa la difusión de calcio en el tejido de zanahorias y mejoran la calidad, especialmente relacionado con el mantenimiento de la textura y una reducción del oscurecimiento en comparación con las bajas temperaturas, asimismo, indica que el tratamiento combinado de lactato de calcio con un tratamiento térmico ayuda en el mantenimiento de la turgencia de las células del tejido cortical y la reducción de la extensión de la lignificación en las zonas de borde de corte en las zanahorias. Por otro lado, Inam-ur-Raheem, et al. (2013) reportan que la aplicación de cloruro de calcio al 2,7 % y lactato de calcio al 3,6 % a temperaturas bajas, ayudan a retrasar la pérdida de la firmeza y el oscurecimiento de rebanadas de guayaba durante 8 días de almacenamiento a 5 °C.

El melón precortado es susceptible al ablandamiento durante el almacenamiento, por lo cual, Silveira et al. (2011), aplicaron a muestras de melón Galia soluciones de cloruro, citrato, lactato, ascorbato, tartrato, silicato, propionato y acetato de calcio, durante 1 minuto a 60 °C, encontrando que las sales de calcio reducen el crecimiento microbiano; sin embargo, cabe resaltar que el cloruro, el lactato y el ascorbato de calcio

mantuvieron mejor la firmeza y la percepción sensorial. Por su parte, Casas, & Caez (2011), evaluaron el efecto de cloruro de calcio, lactato de calcio y propionato de calcio (0,5 y 1 %) a 60 °C, en melón cantaloupe mínimamente procesado, encontrando un efecto positivo para lactato y cloruro de calcio al mantener la integridad de la pared celular permitiendo conservar las características del tejido del melón

La sandía precortada es otra fruta con una vida útil corta, debido a la lixiviación de sus jugos, pérdida de textura, color y sabor durante el almacenamiento, por lo cual Aguayo et al. (2013) evaluó el efecto del cloruro de calcio en sandía precortada almacenada en atmósferas modificadas, encontrando que la aplicación de baños de cloruro de calcio al 1 % a 45 °C, es un tratamiento eficaz para mantener la calidad del producto durante 8 días de almacenamiento a 5 °C.

Estudios en rábano indican que la inmersión de láminas de rábano en soluciones de ácido cítrico al 0,3 % durante 1 min a 50 °C, permite reducir la pérdida de color durante 10 días de almacenamiento (Goyeneche et al., 2014).

Empaque bajo Atmósferas Modificadas

La técnica de conservación en atmósferas modificadas (AM) consiste en empaquetar el producto en materiales con barrera a la difusión de gases, en los cuales se ha sustituido el aire que rodea el producto por un gas o mezcla de gases, para disminuir la actividad respiratoria, reducir el crecimiento microbiano y retrasar el deterioro enzimático con el propósito de extender la vida útil del producto (Ospina & Cartagena, 2008).

Esta tecnología ha sido empleada en diferentes tipos de matrices hortofrutícolas, entre estos estudios se destacan, el modelamiento de la tasa de respiración de brócoli mínimamente procesado y envasado a diferentes composiciones de la mezcla de gases (1 %, 5 %, 10 %, 15 % y 21 % de O_2 con la N_2 equilibrio, una mezcla de

10 % y 20 % de dióxido de carbono con el aire equilibrio y una mezcla al 3 % de O₂ y 15 % de CO₂ con la N₂ equilibrio), encontrando que la temperatura de almacenamiento y la composición de la atmósfera influye directamente en la velocidad de respiración del brócoli (Torrieri et al., 2010). Asimismo, Costa et al. (2011b), aplicaron atmósferas modificadas para la conservación de uva de mesa en diferentes películas compuestas de polipropileno orientado, encontrando que el ambiente generado no permitió prolongar la vida útil, debido a la deshidratación del producto durante el almacenamiento, afectando el equilibrio de la mezcla de gases. Por su parte, Simón et al. (2010) establecieron que la aplicación de atmósferas modificadas con concentraciones de CO₂ dentro de los paquetes que van desde 6,9 % a 3,1 % y, las concentraciones de O₂ que van desde 2 % a 6 %, para envasar rebanadas de champiñones a 5 °C, reducen los recuentos microbianos en 0,8 unidades log durante el almacenamiento.

Estudios en lechuga verde y morada crespa, mínimamente procesada, indican que el almacenamiento en una atmósfera modificada que contiene 5 % O₂, 5 % CO₂, 90 % N₂ y empacada en película PET/PEBD permite tener una vida útil de 15 días (Galvis et al., 2010). En el caso de tomate larga vida y zanahoria Chantenay, en rodajas, la mezcla de gases que mantiene las características de calidad fisicoquímicas y sensoriales por 15 días es 2 % O₂, 10 % CO₂ y 88 % N₂ (Flórez, et al., 2010; González et al., 2010).

Recubrimientos comestibles

Los recubrimientos comestibles se definen como una capa delgada de material comestible que se aplica en forma líquida sobre el alimento por inmersión o por aspersion, formando un revestimiento sobre el producto, el cual actúa como barrera reduciendo la difusión de gases, y por tanto, retrasa el deterioro, reduce la pérdida de agua, controla el transporte de gases: O₂, CO₂

y etileno retarda los cambios de color, mejora la apariencia, disminuye la pérdida de aromas y se puede emplear para el transporte de sustancias tales como antioxidantes y antimicrobianos (Dhall, 2013).

Los recubrimientos comestibles, pueden estar constituidos por a) polisacáridos como: maltodextrina, carboximetilcelulosa, pectina, alginato, almidón, chitosan; estos recubrimientos son excelentes barreras de oxígeno pero no son efectivas barreras a la humedad debido a su naturaleza hidrofílica; b) proteínas como: proteína de soya, suero de leche, caseína, albúmina de huevo y colágeno, excelentes barreras de oxígeno, y c) lípidos como: cera de abejas, aceite mineral, aceite vegetal, cera de carnauba y parafina, las cuales presentan una barrera limitada al oxígeno y tienen buenas propiedades de barrera al vapor de agua (Lamikanra, 2002).

En los últimos años, se ha estudiado la aplicación de recubrimientos comestibles en diferentes matrices, entre estos, se tiene la aplicación de recubrimientos comestibles a base de alginato con ácido ascórbico y cítrico que permiten mantener el color de cubos de mango durante el almacenamiento (Robles-Sánchez et al., 2013). La aplicación de recubrimiento a base de quitosano en cortes de brócoli fresco que permite inhibir el amarillamiento y el crecimiento de microorganismos (Moreira et al., 2011) y en el caso de manzana, el recubrimiento de quitosano permitió mantener el color por 6 días y reducir el crecimiento microbiano (Pilon, L., et al., 2013)

En la piña cortada en rodajas, se ha ensayado la aplicación de recubrimientos comestibles a base de almidón con y sin lactato de calcio, encontrando que estos son eficientes en la reducción de la tasa respiratoria, pérdida de peso y mantenimiento de la calidad sensorial, pero no frente al crecimiento microbiológico (Bierhals et al., 2011); efecto similar se encontró en papas mínimamente procesadas recubiertas con almidón y ácido ascórbico, durante 16 días a 4 °C, donde el tratamiento combinado

permitió prevenir el pardeamiento enzimático y mantener la frescura y valor nutricional de la papa (Ojeda et al., 2013). Sobre rodajas de kiwi se aplicaron recubrimientos comestibles a partir de aloe vera, mostrando muy buenos resultados en la reducción de la tasa respiración y niveles de descomposición por microorganismos (Benítez et al., 2013).

Aplicación industrial

La clave principal para el éxito de las frutas y vegetales mínimamente procesados radica en la utilización de materia prima de excelente calidad obtenida mediante el cumplimiento de Buenas Prácticas Agrícolas y de Manufactura, en el empleo de técnicas de procesamiento que ayuden a conservar el producto, lo más similar al original y, sobre todo, en no romper la cadena de frío durante todo el proceso de elaboración, distribución y comercialización del producto. Sin embargo, el mantenimiento de la calidad de los productos frescos precortados sigue siendo un gran desafío para la industria alimentaria, debido principalmente a sus cortos tiempos de vida útil, los cuales se pueden extender por efecto de la aplicación de las tecnologías antes expuestas de forma individual o por la combinación de dos o más de ellas. A pesar de los beneficios obtenidos en la aplicación de las diferentes tecnologías en relación con la extensión de vida útil, calidad y seguridad microbiana, muchas de ellas son de aplicación muy limitada.

En el caso de los recubrimientos comestibles, hay mucho horizontes hacia donde se puede apuntar, entre ellas, las que anotan los autores Lin y Zhao (2007): mejorar las propiedades de barrera a la humedad de las películas hidrofílicas, mejorar la adherencia y durabilidad del recubrimiento, la calidad sensorial, ya que las capas aplicadas tienen un efecto sobre la aceptación del producto por parte del consumidor y, el escalamiento a nivel industrial, debido a que las frutas y hortalizas al

ser productos frágiles con un alto contenido de humedad, requieren de una protección frente a daños físicos durante la aplicación del recubrimiento y se debe prevenir la pérdida de humedad y deshidratación de la superficie durante el secado después de la aplicación de la película.

En el caso de la aplicación de tratamientos con calcio, se requiere trabajar en la oportunidad de desarrollar productos fortificados con calcio y en determinar la biodisponibilidad de este calcio, debido al aumento en la demanda de alimentos frescos y saludables, para ello, se pueden emplear mecanismos de incorporación como la impregnación al vacío y pruebas de in vivo para determinar la biodisponibilidad.

En conclusión, de acuerdo con los estudios enunciados en la revisión y las perspectivas planteadas, se demuestra que hace falta mucho por investigar; sin embargo, con lo que existe se genera una gran expectativa en relación con las grandes oportunidades para llevar estos estudios a la aplicación a nivel industrial, en la búsqueda del valor diferenciador y lograr que nuestros productos hortofrutícolas puedan llegar a otros países mediante la aplicación de estas metodologías de extensión de vida útil y de valor agregado.

Referencias bibliográficas

- Abadias, M., Usall, J., Anguera, M., Solsona, C., & Viñas, I. (2008). Microbiological quality of fresh, minimally-processed fruit and vegetables, and sprouts from retail establishments. *International Journal of Food Microbiology*, 123(1-2), 121–129.
- Aguayo, E., Gómez, E., Artés, F., Escalona, V.H., & Silveria, A.C. (2013). Hot water calcium dips to improve quality of fresh-cut watermelon. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 1012, 1013-1019.
- Ahvenainen, R. (1996). New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. *Trends Food Science Technology*, 7, 179–186.

- Alandes, L., Quiles, A., Pérez-Munuera, I., & Hernando, I. (2009). Improving the quality of fresh-cut apples, pears and melons using natural additives. *Journal of Food Science*, 74(2), S90–S96.
- Allende A., Marín A., Begoña, F., & Tomás-Barberán, M. (2007). Impact of combined postharvest treatments (UV-C light, gaseous O₃, superatmospheric O₂ and high CO₂) on health promoting compounds and shelf-life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 46, 201-211.
- Amodio, M. L., Cabezas-Serrano, A. B., Peri, G., & Colelli, G. (2011). Post-cutting quality changes of fresh-cut artichokes treated with different anti-browning agents as evaluated by image analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 62(2), 213–220.
- Batista, A., & Borges, C. (2013). Métodos de conservação aplicados a melão minimamente processado. *Ciência Rural*, 43(5), 915-923.
- Benítez, S., Achaerandio, I., Sepulcre, F., & Pujolá, M. (2013). Aloe vera based edible coatings improve the quality of minimally processed 'Hayward' kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 81, 29–36.
- Bierhals, VS., Chiumarelli M, & Hubinger MD. (2011). Effect of cassava starch coating on quality and shelf life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus* L. Merrill cv "Pérola"). *Journal of Food Science*, 76(1), E62-E72.
- Cabezas-Serrano, A. B., Amodio, M. L., & 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.
- Casas, N., Cáez, G. (2011). Cambios morfométricos y de calidad por aplicación de tres fuentes de calcio bajo tratamiento térmico suave en melón (*Cucumis melo* L.) fresco precortado. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(3), 431-444.
- Costa, C., Conte, A., Buonocore, G. G., & Del Nobile, M. A. (2011a). Antimicrobial silver-montmorillonite nanoparticles to prolong the shelf life of fresh fruit salad. *International Journal of Food Microbiology*, 148(3), 164-167.
- Costa, C., Lucera, A., Conte, A., Mastromatteo, M., Speranza, B., Antonacci, A., & Del Nobile, M. A. (2011b). Effects of passive and active modified atmosphere packaging conditions on ready-to-eat table grape. *Journal of Food Engineering*, 102(2), 115–121.
- De Azeredo, G. A., Stamford, T. L. M., Nunes, P. C., Gomes Neto, N. J., de Oliveira, M. E. G., & de Souza, E. L. (2011). Combined application of essential oils from *Origanum vulgare* L. and *Rosmarinus officinalis* L. to inhibit bacteria and autochthonous microflora associated with minimally processed vegetables. *Food Research International*, 44(5), 1541-1548.
- Dhall, R.K. (2013). Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5), 435-450.
- Flórez, A., Galvis, J. A., & González, G. (2010). Manual de procesamiento y conservación de tomate (*Solanum lycopersicum*) variedades larga vida y cherry mínimamente procesadas. Bogotá: Fundación Universitaria Agraria de Colombia- Uniagraria.
- Galvis, J. A., González, G., & Flórez, A. (2010). Manual de procesamiento y conservación de lechugas (*Lactuca sativa*) mínimamente procesadas variedades verde y crespa morada. Bogotá: Fundación Universitaria Agraria de Colombia– Uniagraria.
- González, G., Galvis, J. A., & Flórez, A. (2010). Manual para zanahoria mínimamente procesada variedades Chantenay y Baby. Bogotá: Fundación Universitaria Agraria de Colombia–Uniagraria.
- Goodburn, C., & Wallace, C. (2013). The microbiological efficacy of decontamination methodologies for fresh produce: A review. *Food Control* 32(2), 418-427.
- Goyeneche, F., Agüero, M., Roura, S., & 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.
- Inam-ur-Raheem, M., Huma, N., Muhammad, F., & Ullah, A. (2013). Effect of calcium chloride and calcium lactate on quality and shelf-life of fresh-cut guava slices. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 50(3), 427-431.
- Kuorwel, K. K., Cran, M. J., Sonneveld, K., Miltz, J., & Bigger, S. W. (2011). Essential oils and their principal constituents as antimicrobial agents for synthetic packaging films. *Journal Food Science*, 76, R164-R177.
- Lamikanra O. (2002). Enzymatic effects of flavor and texture of fresh-cut fruits and vegetables. En O. Lamikanra, (ed.). *Fresh-Cut Fruits and Vegetables*. (pp. 126–185). Florida: CRC.
- Lima, L., Costa, S., Vieites, R., & Damatto, E. (2011). Efeito do ácido ascórbico em melões “Orange Flesh” minimamente processados. *Alimentos e Nutrição*, 22(2), 291-299.
- Lin D., & Zhao Y. (2007). Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 6, 60-75.
- Moreira, M., Roura, S., & Ponce, A. (2011). Effectiveness of chitosan edible coatings to improve microbiological and sensory quality of fresh cut broccoli. *LWT - Food Science and Technology*, 44(10), 2335-2341.
- O’Beirne, D., Gleeson, E., Auty, M., & Jordan, K. (2014). Effects of processing and storage variables on penetration and survival of *Escherichia coli* O157:H7 in fresh-cut packaged carrots. *Food Control* 40, 71-77.
- Oey, M. L., Vanstreels, E., De Baerdemaeker, J., Tijssens, E., Ramon, H., Hertog, M. L. A. T. M., & Nicolai, B. (2007). Effect of turgor on micromechanical and structural properties of apple tissue: A quantitative analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 44(3), 240-247.
- Ojeda, G. A., Sgroppo, S. C., & Zaritzky, N. E. (2013), Application of edible coatings in minimally processed sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.) to prevent enzymatic browning. *International Journal of Food Science & Technology*. doi:10.1111/ijfs.12381
- Olaimat, A. N., & Holley, R. A. (2012). Factors influencing the microbial safety of fresh produce: A review. *Food Microbiology*, 32(1), 1-19.
- Oliveira, M., Usall, J., Viñas, I., Anguera, M., Gatus, F., & Abadias, M. (2010). Microbiological quality of fresh lettuce from organic and conventional production. *Food Microbiology*, 27(5), 679-684.
- Ospina, S., & Cartagena, J. (2008). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*, 5(2), 112-123.
- Özoglu, H., & Bayindirli, A. (2002). Inhibition of enzymatic browning in cloudy apple juice with selected antibrowning agents. *Food Control*, 13, 213-221.
- Plaza, L., Crespo, I., De Pascual-Teresa, S., De Ancos, B., Sánchez-Moreno, C., Muñoz, M., & Cano, M. (2011). Impact of minimal processing on orange bioactive compounds during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 124(2), 646-651.
- Piagentini, A., Güemes, D., & Pirovani M. (2003). Mesophilic aerobic population of fresh-cut spinach as affected by chemical treatment and type of packaging film. *Journal of Food Science*, 68(2), 602-607.
- Pilon, L., Spricigo, P., De Britto, D., Garrido, O., Gimenez, A., Ferraudo, A., & Ferreira, M. (2013). Effects of antibrowning solution and chitosan-based edible coating on the quality of fresh-cut apple. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 3(2), 151-164.
- Ramos, M., Beltrán, A., Valdés, A., Peltzer, M., Jiménez, A., Garrigos, M., & Zaikov, G. (2013). Carvacrol and thymol for fresh food packaging. *Journal Bioequivalence & Bioavailability*, 5(4), 154–160.
- Ramos, B., Miller, F. A., Brandão, T.R.S., Teixeira, P., & Silva, C. L. M. (2013). Fresh fruits and

- vegetables. An overview on applied methodologies to improve its quality and safety. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 20, 1-15.
- Rico, D., Martín-Diana, A. B., Frías, J. M., Barat, J. M., Henehan, G. T. M., & Barry-Ryan, C. (2007). Improvement in texture using calcium lactate and heat-shock treatments for stored ready-to-eat carrots. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1196-1206.
- Rinaldi, R., Cabezas-Serrano, A. B., Cornacchia, R., Amodio, M. L., & Colelli, G. (2010). Response of fresh-cut potato cubes of three different varieties to anti-browning treatments. *Acta Hort. (ISHS)*, 876, 319-324.
- Robles-Sánchez, R., Rojas-Graü, M., Odrizola-Serrano, I., González-Aguilar, G., & Martín-Belloso, O. (2013). Influence of alginate-based edible coating as carrier of antibrowning agents on bioactive compounds and antioxidant activity in fresh-cut Kent mangoes. *LWT- Food Science and Technology*, 50(1), 240-246.
- Roller, S., & Seedhar, P. (2002). Carvacrol and cinnamon acid inhibit microbial growth in fresh-cut melon and kiwifruit at 4 °C and 8 °C. *Letters in Applied Microbiology*, 35, 390-394.
- Rojas-Graü, M. A., Sobrino-López, A., Tapia, M. S., & Martín-Belloso, O. (2006). Browning inhibition in fresh-cut 'Fuji' apple slices by natural antibrowning agents. *Journal of Food Science*, 71, S59-S65.
- Rojas-Graü, M. A., Grasa-Guillem, R., & Martín-Belloso, O. (2007). Quality changes in fresh-cut fuji apple as affected by ripeness stage, antibrowning agents, and storage atmosphere. *Journal of Food Science*, 72(1), 36-43.
- Salunkhe, D., & Desai, D. (1991). *Postharvest biotechnology of vegetables*. Boca Raton: CRC.
- Silveira, A., Aguayo, E., Chisari, M., & Artés, F. (2011). Calcium salts and heat treatment for quality retention of fresh-cut 'Galia' melon. *Postharvest Biology and Technology*, 62(1), 77-84.
- Simón, A., González-Fandos, E., & Vázquez, M. (2010). Effect of washing with citric acid and packaging in modified atmosphere on the sensory and microbiological quality of sliced mushrooms (*Agaricus bisporus* L.). *Food Control*, 21(6), 851-856.
- Siroli, L., Patrignani, F., Serrazanetti, D., Tabanelli, G., Montanari, C., Tappi, S., Rocculi, P., Gardini, F., & Lanciotti, R. (2014). Efficacy of natural antimicrobials to prolong the shelf-life of minimally processed apples packaged in modified atmosphere. *Food Control*, 46, 403-411.
- Torrieri, E., Perone, N., Cavella, S., & Masi, P. (2010). Modelling the respiration rate of minimally processed broccoli (*Brassica rapa var. sylvestris*) for modified atmosphere package design. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(10), 2186-2193.
- Varela, P., Salvador, A., & Fiszman, S. (2007). Changes in apple tissue with storage time: Rheological, textural and microstructural analyses. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 622-629.
- Wang, C., & Buta, G. (2003). Maintaining quality of fresh cut kiwifruit with volatile compounds. *Postharvest. Biology and Technology*, 28(1), 181-186.