



Tecnologías involucradas en el procesamiento mínimo de frutas y hortalizas

E. P. Pérez – Pérez* y A. López – Malo

*Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Fundación Universidad de las Américas Puebla.
Exhacienda Sta. Catarina Mártir S/N, Cholula, Puebla. C.P.72810. México.*

Resumen

Uno de los segmentos de mayor crecimiento en la industria de alimentos es el de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas. Esta nueva tendencia de mercado ha obligado a desarrollar nuevas tecnologías para conservar las características de frescura de estos productos, alargar su vida de anaquel y garantizar su inocuidad. Los tratamientos con aditivos, el envasado en atmósfera modificadas, el uso de aceites esenciales como antioxidantes y antimicrobianos, y la aplicación de películas comestibles son algunas de las tecnologías más destacadas en los últimos años. Se ha observado una sinergia cuando se aplica más de una de estas tecnologías antes mencionadas. El objetivo del presente trabajo es revisar las últimas tecnologías desarrolladas para alargar la vida de anaquel de dichos productos.

Palabras clave: frutas y hortalizas mínimamente procesadas, envasado en atmósferas modificadas, aceites esenciales, películas comestibles.

Abstract

One of the major growth segments in the food retail industry is fresh and minimally processed fruits and vegetables. This new market trend has been forced to develop new technologies to preserve the characteristics of freshness of these products, extend the shelf-life and improve their microbiological safety. Additives, modified atmosphere packaging, the use of essential oils as antioxidants and antimicrobials, and the application of edible films are some of the leading technologies in recent years. Synergy has been observed when applying more than one of these technologies mentioned above. The aim of this paper is to review the latest technologies developed to extend the shelf-life of these products

Keywords: minimally processed fruits and vegetables, modified atmosphere packaging, essential oils, edible films.

Introducción

En la conservación de alimentos, mientras más severo sea el proceso que se utilice, por lo general la calidad sensorial de los alimentos disminuye. Por lo tanto, el consumidor

prefiere alimentos mínimamente procesados, los cuales deben poseer características de frescura y deben ser microbiológicamente seguros y estables (Leistner, 2000). Los productos mínimamente procesados son uno de los principales segmentos de crecimiento en los establecimientos de ventas de alimentos al menudeo (Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003). Los consumidores y los

*Programa de Maestría en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126, fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica: emmyp.perezpz@udlap.mx

establecimientos de comida rápida exigen productos de conveniencia, ya sea por razones de costo, mano de obra e inclusive por higiene o seguridad. El procesamiento mínimo de frutas y hortalizas tiene dos propósitos: mantener los productos frescos y suministrarlos de forma conveniente sin perder su calidad nutricional; y además el producto debe tener una vida de anaquel suficiente para hacer posible su distribución a los consumidores previstos (Huxsoll y Bolin, 1989).

Los consumidores suelen juzgar la calidad de las frutas y hortalizas recién cortadas, con base en la apariencia y frescura en el momento de la compra. Sin embargo, las operaciones mínimas de procesamiento alteran la integridad de las frutas y hortalizas provocando efectos negativos en la calidad de las mismas, tales como el desarrollo de oscurecimiento, mal sabor y pérdida de textura. La presencia de microorganismos en la superficie del producto también puede comprometer la inocuidad de las frutas y hortalizas recién cortadas (Rojas-Graü *et al.*, 2009a). Se han desarrollado tratamientos con desinfectantes, texturizantes, antioxidantes y antimicrobianos para aplicarse durante el procesamiento mínimo que ayuden a retardar las reacciones de deterioro y a disminuir el riesgo de crecimiento de microorganismos patógenos; pero en los últimos años ha prevalecido la exigencia por parte de los consumidores de reducir o eliminar, en los alimentos, los aditivos químicamente sintetizados. Por lo anterior, se han realizado diversas investigaciones para desarrollar tratamientos con aditivos naturales. Los aceites esenciales se destacan como una alternativa al uso de conservadores químicos en alimentos, cumpliendo con la demanda de los consumidores por productos naturales (Burt, 2004).

Una técnica que ha sido utilizada durante décadas para alargar la vida de anaquel de las

frutas y hortalizas mínimamente procesadas, es el envasado en atmósferas modificadas; en donde se logra disminuir la velocidad de respiración del vegetal y retrasar las reacciones deteriorativas. Pero bajo ciertas condiciones, el crecimiento de algunos microorganismos patógenos psicrófilos o psicrotrofos anaerobios o microaerofílicos puede presentarse o incluso estimularse. Las condiciones tradicionales de envasado en atmósferas modificadas, rara vez son suficientes para garantizar la seguridad y lograr productos de alta calidad. Las películas comestibles se pueden aplicar como complemento al envasado en atmósfera modificada, ya que reducen los efectos derivados del procesamiento mínimo, retardan el deterioro, mejoran su calidad y seguridad, ya que se les puede incorporar ingredientes funcionales, tales como aceites esenciales (Rojas-Graü *et al.*, 2009b). En la preservación de alimentos se ha comprobado que se obtienen mejores resultados utilizando métodos combinados, en contraparte con las técnicas o tratamientos individuales.

El objetivo de este trabajo es revisar los fundamentos teóricos y aspectos a considerar en el procesamiento mínimo de frutas y hortalizas así como las últimas tecnologías desarrolladas para alargar la vida de anaquel de dichos productos.

Revisión bibliográfica

1. Generalidades del procesamiento mínimo

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas, también conocidas como “Fresh-cut” (en inglés) pueden ser definidas como cualquier fruta u hortaliza que ha sido físicamente modificada de su forma original, por procesos como pelado, lavado o cortado; para obtener un producto comestible que es subsecuentemente envasado y almacenado en

refrigeración (IFPA, 2005). De acuerdo con la Asociación Internacional de Productos Frescos Cortados, estos productos han estado disponibles en supermercados para su venta al consumidor desde 1930. Sin embargo, la industria de productos mínimamente procesados fue desarrollada en un principio para suministrar a hoteles, restaurantes y otras instituciones; ya que presentan una serie de ventajas, incluyendo una reducción de mano de obra durante la preparación de alimentos, de desperdicios y su posterior manejo, así como la preparación de platillos en poco tiempo, con formas específicas de frutas u hortalizas (Watada *et al.*, 1996).

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas pueden ser fabricadas sobre la base de varios principios de procesamiento, tal y que se muestra en la Tabla I, dependiendo de la vida de anaquel que se desee. Si los productos están obligados a tener una vida de anaquel mayor a una semana, se requieren de métodos de procesamiento más avanzados y son necesarios tratamientos diseñados

utilizando el concepto de barreras (o tecnología de obstáculos), así como la correcta elección de materias primas que sean adecuadas para un procesamiento mínimo; la conservación se basa en una combinación de varios tratamientos (Ahvenainen, 1996).

Generalmente las frutas y hortalizas mínimamente procesadas se deterioran más rápido que sus contrapartes, la fruta u hortaliza intacta. En la elección de los tratamientos adecuados, es necesario entender los cambios fisiológicos y microbiológicos que pueden ocurrir durante y después de su manipulación, transformación y almacenamiento, que reducen la calidad del producto ó incluso ponen en riesgo la seguridad del mismo. En lo que respecta al deterioro de las frutas y hortalizas mínimamente procesados, se pueden hacer distinciones entre el deterioro fisiológico y el deterioro microbiológico, aunque se influyen mutuamente (Ragaert *et al.*, 2011).

Tabla I. Requerimientos para la fabricación comercial de frutas y hortalizas peladas y/o pre-cortadas^a

Principio	Demandas del proceso	Cliente	Vida de anaquel a 5° C (días)	Ejemplos
Preparación hoy, consumo mañana	<ul style="list-style-type: none"> • Área de preparación estándar y herramientas higienizadas • Un lavado ligero para pelar para su posterior corte, la papa es una excepción • Los envases pueden ser recipientes retornables 	Sector de la hotelería y catering, restaurantes, escuelas, industria	1-2	Mayoría de frutas y hortalizas
Preparación hoy, el cliente utiliza el producto dentro de 3-4 días	<ul style="list-style-type: none"> • Desinfección • Lavado de los productos pelados o cortados, al menos con agua • Envases permeables, la papa es una excepción 	Sector de la hotelería y "catering", restaurantes, escuelas, industria	3-5	Zanahoria, col, lechuga, papa, remolacha, frutas ácidas y bayas
Los productos son destinados también para la venta al menudeo	<ul style="list-style-type: none"> • Buena desinfección • Lavado del producto pelado o cortado con agua clorada o acidificada • Envases permables, la papa es una excepción • Aditivos 	Tiendas al menudeo, además de los clientes antes mencionados	5-7	Zanahoria, col, lechuga, papa, remolacha, frutas ácidas y bayas

^a Adaptado de Ahvenainen (1996)

Desde el punto de vista fisiológico, las operaciones del procesamiento mínimo hieren al tejido vivo, con lo cual comienza una serie de reacciones metabólicas que resultan en cambios de textura, aceleración del proceso de maduración y senescencia, desarrollo de olores desagradables, cambios de color, y otros eventos indeseables que hacen al producto no apto para ser comercializado (Baldwin y Bai, 2011). La enzima causante del oscurecimiento en las frutas y hortalizas mínimamente procesadas es la polifenoloxidasa. El oscurecimiento enzimático requiere de la presencia de la enzima, oxígeno, cobre y el sustrato adecuado, así que, para evitar el oscurecimiento es necesario eliminar uno de estos componentes. Otra enzima importante es la lipo-oxidasa, la cual cataliza reacciones de peroxidación, provocando la formación de aldehídos y cetonas, causantes de malos olores (Ahvenainen, 1996).

La manipulación y el procesamiento acortan la vida de anaquel porque propician una mayor producción de etileno, que es una hormona gaseosa de la maduración de las plantas, que está relacionada con los cambios de color y textura de varias frutas y hortalizas; también aumenta la tasa de respiración, debido a que se utilizan azúcares y ácidos como sustratos (Breidt y Fleming, 1997). Con base en su patrón respiratorio y la síntesis de etileno durante la maduración, los frutos pueden ser clasificados como climatéricos y no climatéricos (Tabla II). Los frutos climatéricos, pueden ser madurados fuera de la planta. La tasa de respiración y la formación de etileno, incrementan de manera significativa a un pico climatérico, en el inicio de la maduración, después de lo cual, disminuye y es mínima en la madurez. Los frutos no climatéricos no son capaces de continuar su proceso de maduración, una vez que se separan de la planta. Además, estos frutos producen una cantidad muy pequeña de etileno endógeno y no responden al tratamiento con etileno exógeno. Los frutos no

climatéricos muestran un perfil relativamente bajo y una disminución gradual en su patrón de respiración y producción de etileno, en todo el proceso de maduración (Prasanna *et al.*, 2007).

Tabla II. Clasificación de los frutos con base en su maduración^a

Frutos climatéricos	Frutos no climatéricos
Manzana	Cereza
Albaricoque	Pepino
Plátano	Uva
Guayaba	Limón
Kiwi	Lima
Mango	Litchi
Papaya	Mandarina
Granada	Melón
Pera	Naranja
Zapote	Piña
Tomate	Fresa

^a Adaptado de Prasanna *et al.* (2007)

Desde el punto de vista de deterioro microbiológico, durante el pelado y corte, la superficie del producto está expuesta al aire y a la posible contaminación con bacterias, levaduras y mohos. Las principales fuentes de contaminación son los instrumentos que se utilizan para las operaciones unitarias del procesamiento. En particular, en el caso de las hortalizas mínimamente procesados, la mayoría de los cuales entran en la categoría de baja acidez (pH 5.8 a 6.0), la alta humedad y el gran número de superficies de corte pueden proporcionar las condiciones ideales para el crecimiento de microorganismos (Ahvenainen, 1996). La proliferación microbiológica se caracteriza por diferentes procesos, la producción de enzimas y de metabolitos, que dan como resultado defectos visuales y de textura, así como el desarrollo de malos olores. La composición de las frutas y hortalizas determinará el tipo de deterioro. En la Fig. 1 se presenta una visión general de los diferentes mecanismos de deterioro típicamente

asociados con hortalizas de hoja verde, frutas y hortalizas ricos en azúcar. Basado en una investigación científica y análisis microbiológicos del Laboratorio de Microbiología y Preservación de Alimentos (LFMFP en sus siglas en inglés, Universidad de Ghent, Bélgica), de diferentes tipos de hortalizas y frutas cortadas mínimamente procesadas, se proporcionan límites microbiológicos específicos para el deterioro causado por microorganismos (Tabla III), en donde se tomaron las siguientes

consideraciones: el recuento total de aerobios psicrótrofos se realizó después de 5 días de incubación; el valor "Consúmase preferentemente antes de" marca el final de la vida de anaquel, por arriba de este límite se da lugar a un notable deterioro; y, cuando el número de bacterias ácido lácticas en la fecha "Consúmase preferentemente antes de" es mayor que 1×10^7 UFC/g el producto se rechaza sin considerar las desviaciones sensoriales (Ragaert *et al.*, 2011).

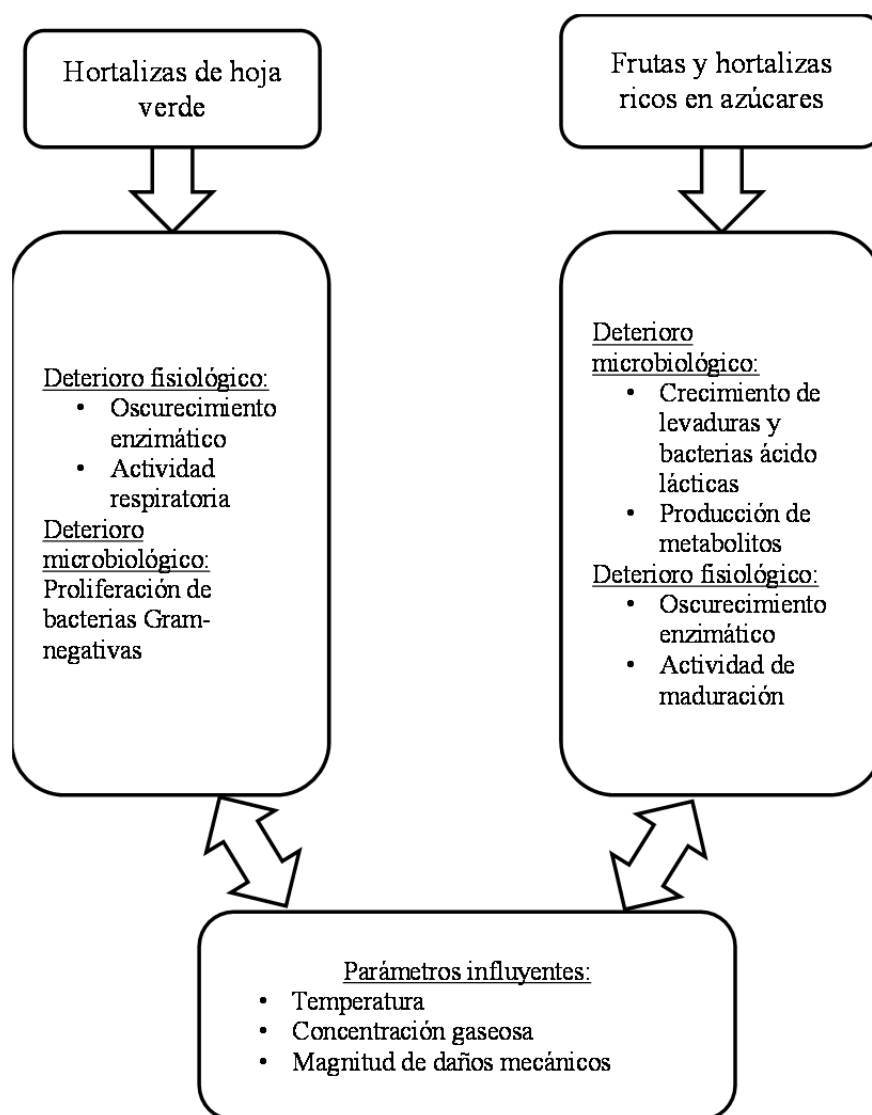


Figura 1. Mecanismos de deterioro de frutas y hortalizas (Adaptado de Ragaert *et al.*, 2011).

Tabla III. Límites microbiológicos para el deterioro causado por microorganismos (UFC/g)^a

Parámetro	Objetivo ^b		Tolerancia ^c		Consumase preferentemente antes de ^d	
	Hortalizas	Frutas	Hortalizas	Frutas	Hortalizas	Frutas
Recuento total de aerobios psicrótrofos	10 ⁵	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁸	10 ⁷
Bacterias ácido lácticas	10 ³	10 ³	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁷	10 ⁷
Levaduras	10 ³	10 ³	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁵
Hongos	10 ³	10 ²	10 ⁴	10 ³	10 ⁴	10 ³

^a Adaptado de Ragaert *et al.* (2011)^b El valor "Objetivo" es la población óptima para el día de producción, en las mejores condiciones de operación^c El valor "Tolerancia" es la población máxima para el día de producción^d El valor "Consumase preferentemente antes de" marca el final de la vida de anaquel, arriba de este límite se da lugar a un notable deterioro

Por último, la eliminación de cáscara y los procesos de higienización alteran la ecología microbiana normal y permiten la posible contaminación con microorganismos patógenos (Breidt y Fleming, 1997). Los microorganismos patógenos pueden estar presentes en la materia prima o debido a una contaminación cruzada durante el procesamiento. Las fuentes de microorganismos típicas en la producción primaria son el agua, el suelo, o las aguas residuales que están contaminadas con materia fecal. Numerosos microorganismos patógenos han sido aislados de frutas y hortalizas mínimamente procesadas (Tabla IV), las cuales sirven como vehículos de enfermedades (Beuchat, 1996; Ragaert *et al.*, 2011).

2. Tecnologías aplicadas para el procesamiento mínimo de frutas y hortalizas

Se han desarrollado varias tecnologías para retrasar los efectos negativos que el procesamiento mínimo provoca en las frutas y hortalizas. A continuación se explican las tecnologías más empleadas y en donde se han concentrado las investigaciones en los últimos años.

2.1. Uso de aditivos convencionales en el procesamiento mínimo de frutas y hortalizas

Muchos de los tratamientos y condiciones de almacenamiento aplicados a las frutas y hortalizas mínimamente procesadas, están diseñados para aminorar los efectos iniciales de las respuestas del tejido vegetal al corte. Diversos aditivos se aplican para reducir el deterioro en las frutas y hortalizas cortadas mínimamente procesadas, estos incluyen los sanitizantes o desinfectantes, antioxidantes y texturizadores, entre otros (Ayala-Zavala y González-Aguilar, 2011).

2.1.1. Desinfectantes

Los desinfectantes son productos químicos que son utilizados para reducir la población microbiana de las superficies del producto entero o cortado (Parish *et al.*, 2003). Existe una gran variedad de desinfectantes, a continuación se presentan los más utilizados en la industria de frutas y hortalizas mínimamente procesadas: cloro, yodo y ácidos orgánicos.

El cloro ha sido, tal vez, uno de los desinfectantes más utilizados en la industria de alimentos, particularmente cloro líquido

Tabla IV. Microorganismos patógenos de interés en frutas y hortalizas mínimamente procesadas^a

Patógenos de interés	Patógenos de posible interés
<i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Clostridium botulinum</i> tipos B, E, F
<i>Escherichia coli</i> (O157:H7)	<i>Aeromonas hydrophila/caviae</i>
<i>Shigella</i> spp.	<i>Bacillus cereus</i>
<i>Salmonella</i> spp.	<i>Yersenia enterocolitica</i>
Parásitos	<i>Campylobacter</i> spp.
Virus	

^a Adaptado de Ragaert *et al.* (2011)

(soluciones de hipoclorito), para desinfectar los productos, las superficies de los equipos, así como para reducir la población microbiana en el agua utilizada en las operaciones de higienización, limpieza y empaque. Los compuestos de cloro son generalmente usados en niveles de 50-200 ppm, con un tiempo de contacto menor a 5 min, usualmente utilizados a valores de pH entre 6.0 y 7.5, para minimizar la corrosión de los equipos (Rico *et al.*, 2007).

La máxima solubilidad de cloro se observa a 4°C, pero se recomienda mantener la temperatura del agua de proceso 10°C más alta con el fin de reducir la posibilidad de infiltración microbiológica, causada por una diferencia de presión, generada por la temperatura durante el proceso de higienización (Parish *et al.*, 2003). Sin embargo, el cloro reacciona con la materia orgánica, por lo que algunos componentes de los tejidos del producto cortado pueden neutralizar el cloro antes de alcanzar a los microorganismos, y de esta forma reducir su efectividad (Ayala-Zavala y González-Aguilar, 2011).

Los yodóforos (combinaciones de yodo elemental y surfactantes no iónicos) tienen un amplio espectro de actividad antimicrobiana, es menos corrosivo que el cloro a temperaturas bajas, y son menos volátiles e irritantes para la piel que otros tipos de soluciones de yodo. Sin embargo, el yodo que contiene las soluciones desinfectantes puede ser corrosivo

(vaporización por arriba de 50°C), su eficacia se reduce a bajas temperaturas, y puede manchar el equipo, la ropa y la piel. El uso de soluciones que contienen yodo como desinfectante por contacto directo al producto es limitado, debido a una reacción entre el yodo y el almidón del material vegetal, que se traduce en la aparición de un color morado-azulado. A pesar de estas limitaciones, las soluciones de yodo, tales como los yodóforos se utilizan como desinfectantes para superficies de contacto con los alimentos y equipos en la industria de procesamiento de alimentos (Parish *et al.*, 2003).

Los ácidos orgánicos se utilizan comúnmente como acidulantes antimicrobianos para conservar a los alimentos, ya sea por adición directa o a través de la fermentación microbiológica. Dado que muchos microorganismos patógenos, no pueden crecer a valores de pH menores a 4.5, la acidificación puede actuar para prevenir la proliferación microbiana. Los ácidos orgánicos también pueden poseer capacidades bactericidas. La acción antimicrobiana de los ácidos orgánicos se debe a la reducción del pH del medio, la interrupción del transporte de membrana y su permeabilidad, la acumulación de aniones, entre otros. Muchos tipos de productos, especialmente las frutas, poseen naturalmente concentraciones significativas de ácidos orgánicos tales como acético, benzoico, cítrico, málico, sórbico, succínico y tartárico, que afectan negativamente a la viabilidad de

las bacterias contaminantes (Ayala-Zavala y González-Aguilar, 2011).

2.1.2. Antioxidantes

Para evitar el problema de oscurecimiento en frutas y hortalizas mínimamente procesadas se han aplicado diversos antioxidantes, principalmente por inmersión del producto, por atomización, o impregnación al vacío. Tradicionalmente los sulfitos habían sido utilizados para prevenir el oscurecimiento enzimático, pero su uso fue restringido ya que puede causar efectos secundarios en personas con asma. Los antioxidantes más utilizados en el tratamiento de frutas y hortalizas mínimamente procesados han sido ácido cítrico, ácido ascórbico, la cisteína, 4-hexylresocinol, y N-acetilcisteína, entre otros; ya sea solos o en combinación (Ahvenainen, 1996; Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003). Rojas-Graü *et al.* (2007a) observaron que un tratamiento de inmersión post-corte en una solución de N-acetilcisteína al 1% (p/v) evitaba el oscurecimiento en rebanadas de manzana y conservaban la apariencia inicial durante más de un mes, envasadas en atmósfera modificada y a temperatura de refrigeración.

2.1.3. Texturizadores

Los tratamientos con calcio se han utilizado para extender la vida de anaquel de frutas y hortalizas mínimamente procesadas, ya que ayuda a mantener la integridad de la pared celular vegetal mediante la interacción con la pectina para formar pectato de calcio. Por lo tanto, las frutas y hortalizas tratadas con calcio, generalmente se mantienen más firmes que sus contrapartes (fresco sin tratamiento), durante el almacenamiento (Rico *et al.*, 2007). Las formas de calcio usados en la industria son lactato de calcio, cloruro de calcio, fosfato de calcio, propionato de calcio y gluconato de calcio, la elección de la fuente apropiada depende de la bioviabilidad, solubilidad, sabor

y su interacción con el alimento (Ayala-Zavala y González-Aguilar, 2011). El lactato de calcio se utiliza para tratar frutos delicados que tienen un índice de envejecimiento alto, como toronja, duraznos, melones cortados, manzanas, entre otros. Se utiliza en concentraciones de 0.5 a 2%, y se ha reportado como una buena alternativa al uso de cloruro de calcio, ya que evita el sabor amargo asociado con esta sal. El uso de tratamientos a base de calcio presenta una ventaja adicional, en algunos casos el producto final puede incrementar significativamente el contenido de calcio, lo que podría mejorar la apreciación de estos productos (Rico *et al.*, 2007).

2.2. Envasado en atmósferas modificadas

El envasado en atmósfera modificada (EAM) es una técnica de conservación que es ampliamente usada en la industria de frutas y hortalizas mínimamente procesadas. El EAM implica alterar la composición gaseosa del ambiente que rodea al producto para producir una diferente a la del aire. Los bajos niveles de O₂ y altos niveles de CO₂ reducen la tasa de respiración con lo que se retrasa el proceso de senescencia, extendiendo así la vida de anaquel de los productos frescos. La atmósfera modificada se puede lograr de manera pasiva (el envase se sella bajo condiciones normales de aire) o activa (al envase se le suministra una mezcla de gases antes de sellar) (Rico *et al.*, 2007); en ambos casos, seleccionando y utilizando adecuadamente los materiales de envase de acuerdo a su permeabilidad (Ahvenainen, 1996).

En el EAM pasivo, el intercambio de gases o vapor de agua se lleva a cabo dentro del envase, y esto es debido tanto a las respuestas fisiológicas (respiración, maduración, transpiración) del vegetal, como a la difusión de gases a través del envase. Después de un periodo de tiempo, la presión parcial del gas en el espacio de cabeza del envase llega a un estado de equilibrio, esto sucede cuando los

cambios difusivos a través de la película compensan exactamente la producción y consumo de gases y vapores. A lo anterior se le conoce como atmósfera modificada de equilibrio, el cual debe ocurrir lo más pronto posible después de haber sido envasados los productos, y debe de estar cerca de la atmósfera óptima recomendada para preservar la calidad e inocuidad del producto (Guillaume *et al.*, 2011).

Los principios para el intercambio de gases dentro del envase en el EAM activo, son los mismos que en el EAM pasivo, con la única variante de que la atmósfera inicial es diferente a la del aire (Guillaume *et al.*, 2011). En general, el objetivo es tener una composición gaseosa de 2-5% de CO₂, 2-5% de O₂ y el resto de nitrógeno, dependiendo del producto (Ahvenainen, 1996). En el EAM activo se puede utilizar sistemas de barrido de gases y de emisión, integrados al envase o aplicados de forma separada (Guillaume *et al.*, 2011).

En general, los productos frescos cortados son más tolerantes a altas concentraciones de CO₂, que las frutas u hortalizas intactas (Rico *et al.*, 2007). Sin embargo, uno de los principales problemas del EAM son los materiales disponibles en el mercado, ya que tienen algunas limitaciones debido a su estructura y características de permeabilidad. En algunos se puede promover la pérdida de agua, que se traduce en cambios de la textura, cambios de color y/o deshidratación superficial, o en contraparte, que puede incluso favorecer la condensación de agua y de esta forma beneficiar la proliferación microbológica (Rojas-Graü *et al.*, 2009b).

Bajas concentraciones de O₂ inhiben el crecimiento de microorganismos aerobios, pero pueden estimular el crecimiento de microorganismo anaerobios psicrótrofos, incluyendo algunos de los patógenos transmitidos por alimentos (Rojas-Graü *et al.*,

2009b). Szabo *et al.* (2000) aislaron *Yersinia enterocolitica*, *Aeromonas hydrophila*, *A. caviae* y *Listeria monocytogenes* de lechuga cortada mínimamente procesada envasada en atmósfera modificada. El EAM tradicional rara vez es suficiente para garantizar la inocuidad y lograr productos de alta calidad.

La mayoría de los sistemas de EAM utilizados actualmente, por sí solos no previenen con eficacia los procesos de oscurecimiento y deterioro, que se activan cuando la integridad del tejido es dañado como consecuencia de las operaciones del procesamiento mínimo (Rojas-Graü *et al.*, 2009b).

2.3. Aceites esenciales

Los aceites esenciales, también llamados volátiles o etéreos aromáticos, son líquidos aceitosos obtenidos a partir de partes de la planta: flores, brotes, semillas, hojas, ramas, corteza, hierba, madera, frutas y raíces (Serrano *et al.*, 2008). Los aceites esenciales han sido utilizados como aromatizantes de alimentos, pero como en los últimos años ha existido una presión por parte de los consumidores para reducir o eliminar los aditivos químicamente sintetizados en los alimentos, los aceites esenciales y sus componentes puros están ganando un creciente interés por sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas (Rojas-Graü *et al.*, 2009a).

Los aceites esenciales, en conjunto, muestran una actividad antioxidante. Su fraccionamiento ha indicado que el componente principal responsable del efecto antioxidante del orégano es el carvacrol (Milos *et al.*, 2000), del tomillo el timol (Lee *et al.*, 2005), el eugenol en el clavo de olor (Lee y Shibamoto, 2001), eucaliptol en el eucalipto (Amakura *et al.*, 2002) y mentol en la menta (Shan *et al.*, 2005). Tanto el eugenol, como el timol y el carvacrol son compuestos fenólicos

(Serrano *et al.*, 2008) con actividad antioxidante y antimicrobiana.

Además, las propiedades antimicrobianas de los aceites esenciales han sido reconocidas empíricamente desde hace siglos, pero es en las últimas décadas que se realizaron investigaciones al respecto. La Tabla V muestra algunos de los aceites esenciales más comunes, así como el principal componente utilizado en la industria alimentaria con la descripción de los antioxidantes o propiedades antimicrobianas *in vitro* (Serrano *et al.*, 2008).

La primordial actividad biológica y el posible uso de los aceites esenciales en la industria alimentaria se derivan de su capacidad antimicrobiana. Aunque el mecanismo exacto de acción de los aceites esenciales no sea completamente claro, algunos autores lo han atribuido a su hidrofobicidad, lo que les permite crear particiones y desbalancear el equilibrio de los iones celulares. Las principales desventajas del uso de estos compuestos naturales se

relacionan con la persistencia de aromas fuertes que a veces afectan a las propiedades sensoriales de los alimentos (Serrano *et al.*, 2008). Min y Krochta (2005) indicaron que la aplicación directa de agentes antimicrobianos en la superficie de los alimentos puede tener beneficios limitados, debido a que la actividad de las sustancias puede ser neutralizada o difundidas de la superficie hacia el interior del alimento, lo que podría limitar su efecto.

2.1. Películas comestibles

Las películas comestibles han sido utilizadas para mantener la calidad y prolongar la vida de anaquel de algunos vegetales cortados mínimamente procesados, tales como cítricos, manzanas y pepinos. Las frutas y hortalizas son generalmente cubiertas por inmersión o aspersión con una amplia gama de materiales, en donde una membrana semipermeable se forma en la superficie para suprimir la respiración, controlar la pérdida de humedad y proporcionar otras funciones (Lin y Zhao, 2007).

Tabla V. Aceites esenciales y sus componentes^a

Nombre común	Nombre científico	Fuente	Componente mayoritario	Antioxidante	Antifúngico	Antibacterial
Clavo	<i>Syzygium aromaticum</i>	Brote	Eugenol	Lípido	<i>Penicillium</i>	<i>Listeria monocytogenes</i>
		Hoja			<i>Aspergillus</i>	<i>Lactobacillus sakei</i>
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	Hoja	Eucaliptol	Ácido tiobarbitúrico	Hongos y levaduras	Bacterias patógenas
		Madera	Eucaliptone	DPPH		
Menta	<i>Mentha canadensis</i>	Hoja	Mentol	ABTS	<i>Botrytis</i>	Bacterias patógenas
Oregano	<i>Origanum vulgare</i>	Hoja	Eugenol	Peroxidasa	<i>Botrytis</i>	<i>Shigella</i> sp.
		Flor	Carvacrol Timol		<i>Fusarium</i> <i>Clavibacter</i>	
Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i>	Hoja	Carvacrol	Aldehído/	<i>Aspergillus</i>	Bacterias patógenas
			p-Cimeno Timol	Ácido carboxílico		

^a Adaptado de Serrano *et al.* (2008)

Sin embargo, las películas y recubrimientos comestibles han sido reconocidos por usos más innovadores, ya que tienen un alto potencial para acarrear ingredientes activos como agentes anti-oscurecimiento, colorantes, saborizantes, nutrientes, especias y compuestos antimicrobianos que pueden extender la vida útil del producto y reducir el riesgo de crecimiento de patógenos en la superficie de los alimentos (Rojas-Graü *et al.*, 2009a). Formuladas adecuadamente, su uso otorga beneficios potenciales (Figura 2) que incluyen (Lin y Zhao, 2007):

- Protección contra la pérdida de humedad en la superficie de los productos. La pérdida de humedad durante el almacenamiento post-cosecha de frutas y hortalizas conduce a la pérdida de peso y cambios en la textura, sabor y apariencia.

- Barrera a los gases, suficiente para controlar el intercambio de gases entre el producto y la atmósfera circundante; lo cual disminuye la tasa de respiración y demora el deterioro. También podría retrasar la oxidación enzimática y proteger a los productos de oscurecimiento y ablandamiento durante el almacenamiento.
- Restringe el intercambio de compuestos volátiles entre el producto fresco y su entorno, lo que evita la pérdida de compuestos volátiles aromáticos y componentes de color; así como la adquisición de olores extraños.
- Protege contra daño físico causado por impactos mecánicos, presión, vibración, y otros factores mecánicos.
- Transporta ingredientes funcionales.

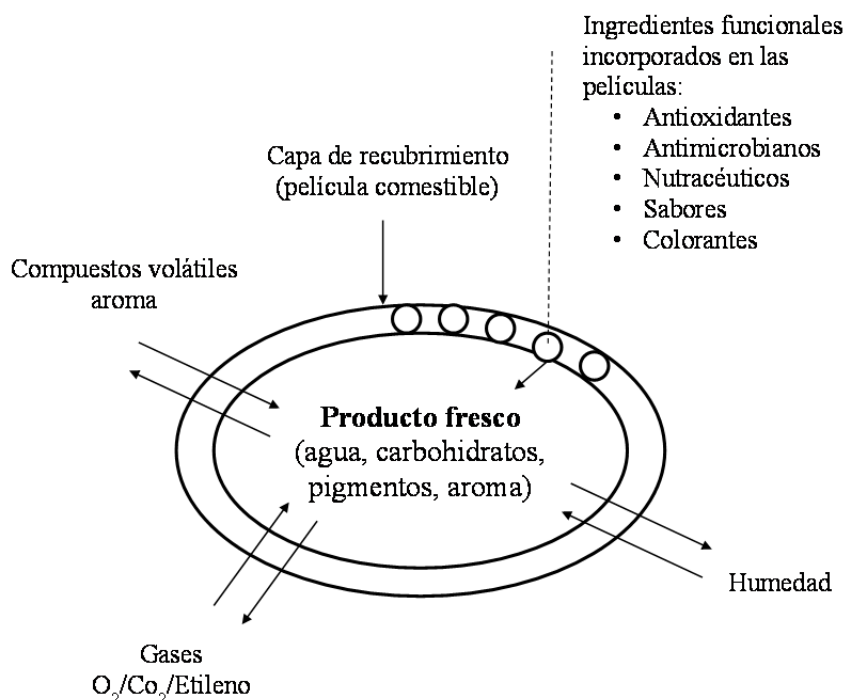


Figura 2. Propiedades funcionales de una película comestible en las frutas y hortalizas mínimamente procesadas (Adaptado de Lin y Zhao, 2007).

Existe una amplia gama de compuestos que pueden ser utilizados en la formulación de películas comestibles y su elección depende principalmente del objetivo de su aplicación. Los principales componentes son polisacáridos, proteínas y lípidos. Otros componentes incluyen polioles que actúan como plastificantes (como glicerina) o compuestos ácido/base utilizados para regular el pH (como el ácido acético o láctico) (Vargas *et al.*, 2008).

Los polisacáridos son los componentes más utilizados en películas comestibles para frutas, ya que están presentes en la mayoría de las formulaciones disponibles en el mercado. Muestran propiedades eficaces de barrera a los gases a pesar de que son hidrófilos y una alta permeabilidad al vapor de agua en comparación con las películas de plástico comerciales. Los polisacáridos principales que se pueden incluir en las formulaciones de películas comestibles son el almidón y sus derivados, derivados de la celulosa, alginatos, carragenina, quitosano, pectina y gomas. Los polisacáridos varían en función de su peso molecular, grado de ramificación, la conformación y carga eléctrica. Las variaciones en estas características moleculares conducen a variaciones en su capacidad para formar revestimientos, así como en las variaciones de las propiedades fisicoquímicas y el rendimiento de los recubrimientos formados. La mayoría de ellos son muy solubles en agua, por lo que no pueden ser utilizados para muestras que están sometidas a ambientes de alta humedad relativa. En algunos casos, se requieren tratamientos de entrecruzamiento con la presencia de iones monovalentes y bivalentes, para que se puedan formar las películas insolubles (Vargas *et al.*, 2008).

Las proteínas que pueden ser utilizadas en la formulación de películas comestibles para frutas y hortalizas incluyen derivados de origen animal, como la caseína y proteína de

suero de leche, o bien se obtienen de plantas como el maíz, gluten de trigo, proteína de soya, proteína de cacahuete y las proteínas de semillas de algodón. Las proteínas presentan una amplia variedad de características moleculares en función de su origen biológico. Por ejemplo, las proteínas pueden variar en su peso molecular, conformación (globular, hélice), características eléctricas, flexibilidad y estabilidad térmica. Las diferencias en estas características moleculares, determinan la capacidad particular de formar la película e influyen en las características finales de la película formada (Rojas-Graü *et al.*, 2009b).

Los lípidos usualmente utilizados en el desarrollo de películas comestibles son la cera de abeja, triglicéridos, monoglicéridos acetilados, ácidos grasos, alcoholes grasos y ésteres de ácidos grasos de sacarosa. Los recubrimientos comestibles con base en lípidos tienen una baja afinidad por el agua, por ende baja permeabilidad al vapor de agua. Esto último es muy importante, ya que un gran número de estudios han utilizado este tipo de recubrimientos sobre frutas y hortalizas frescas para controlar la deshidratación. En la formulación de la película, la polaridad de los componentes lípidos tiene que ser considerada, a medida que el número de carbonos de alcoholes grasos y ácidos grasos aumenta (de 14 a 18), también lo hace su eficacia para actuar como barrera contra la humedad y como consecuencia, la transferencia de humedad a través de la película (Morillon *et al.*, 2002).

Rojas-Graü *et al.* (2007b) combinaron la eficacia de las películas comestibles de alginato con el efecto antimicrobiano de aceites esenciales (té limón y orégano) y vainilla, para prolongar la vida de anaquel de manzanas cortadas mínimamente procesadas, envasadas en atmósfera modificada pasiva. Observaron una reducción de cuatro ciclos logarítmicos en la población de *Listeria innocua* inoculada en las muestras, cuando se incorporaron a la película los aceites

esenciales de orégano y té limón. Películas comestibles elaboradas con suero de leche en polvo, proteína de soya y caseinato de calcio, aplicadas a manzana cortada, zanahoria, y papa redujeron los cambios de color y la pérdida de peso (Shon y Haque, 2007).

En general el tratamiento con películas comestibles alarga la vida de anaquel de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas, algunos autores han reportado que la incorporación de agentes antimicrobianos a la película, puede impartir modificaciones sensoriales indeseables en los alimentos, especialmente los aceites esenciales (Rojas-Graü *et al.*, 2009b).

2.4. Nanotecnología

Una nueva generación de películas comestibles se está desarrollando, con el objetivo de permitir la incorporación o la liberación controlada de compuestos activos utilizando la nanotecnología, como es la nanoencapsulación y sistemas multicapa (Bouwmeester *et al.*, 2007). La micro y nanoencapsulación de compuestos activos con películas comestibles puede ayudar a controlar la liberación de estos bajo ciertas condiciones específicas, protegiéndolos así del calor, la humedad u otra condición extrema, mejorando de esta forma su estabilidad y viabilidad (Jiménez *et al.*, 2004).

Por otra parte el uso de nanolaminados o sistemas multicapa ofrece perspectivas prometedoras, en donde las superficies de las frutas u hortalizas son recubiertas con películas interfaciales que constan de múltiples nanocapas. La preparación de estructuras multicapa consiste en la inmersión consecutiva del sustrato en dos o más soluciones que contienen especies de carga opuesta, además de agentes funcionales como antimicrobianos, antioxidantes, enzimas, o vitaminas, entre otros (Vargas *et al.*, 2008).

Conclusiones

El concepto de utilizar múltiples tecnologías en la preservación de frutas y hortalizas mínimamente procesadas, para alargar la vida de anaquel, mejorar su calidad y asegurar su inocuidad es un ejemplo de la aplicación de métodos combinados. Se puede esperar que la combinación de aceites esenciales adicionados a películas comestibles, junto con el envasado en atmósferas modificadas presenten interacciones sinérgicas o antagónicas para la conservación de frutas y hortalizas. Por lo anterior, el conjunto de tecnologías o tratamientos propuestos para una fruta u hortaliza mínimamente procesada en específico, debe ser estudiado para comprender los mecanismos de acción que afectan al vegetal desde el punto de vista fisiológico, microbiológico, fisicoquímico y sensorial, y de esta manera garantizar su inocuidad y el éxito en su comercialización.

A lo largo de esta revisión se observó que existen diversos trabajos sobre las aplicaciones de películas comestibles adicionadas con aceites esenciales como antimicrobianos en frutas; sin embargo, debido a la incompatibilidad en lo que respecta al aspecto sensorial, no se ha desarrollado una aplicación en la industria. Se recomienda realizar estudios sobre la aplicación de dichas películas en hortalizas, sobre todo en lo que respecta a hojas verdes, ya que pueden tener mejor compatibilidad desde el punto de vista sensorial al ser utilizadas en diversos platillos que usualmente son aderezados y que contienen entre sus ingredientes especies, que son fuentes de los aceites esenciales, como el clavo, ajo, orégano, entre otros.

El uso de la nanotecnología en películas comestibles para la liberación controlada de componentes activos es una tecnología relativamente nueva, en la cual se han observado pocas investigaciones con aplicaciones en frutas y hortalizas, que pueden

representar un campo de oportunidad; ya que además de las ventajas que el uso de las películas comestibles implica, estos productos pueden enriquecerse desde un punto de vista nutrimental.

Agradecimientos

Pérez-Pérez E. P. agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y a la Universidad de las Américas Puebla, por el financiamiento de sus estudios de posgrado.

Referencias

- Ahvenainen, R. 1996. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*. 7:179-186.
- Amakura, Y., Umino, Y., Tsuji, S., Ito, H., Hatano, T., y Yoshida, T. 2002. Constituents and their antioxidative effects in eucalyptus leaf extract used as a natural food additive. *Food Chemistry*. 77:47-56.
- Ayala-Zavala, J. F., y González-Aguilar, G. A. 2011. Use of additives to preserve the quality of fresh-cut fruits and vegetables. En: O. Martín-Belloso y R. Soliva-Fortuny (Eds). *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing*. Boca Raton. pp. 231-254.
- Baldwin, E. A., y Bai, J. 2011. Physiology of fresh-cut fruits and vegetables. En: O. Martín-Belloso y R. Soliva-Fortuny (Eds). *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing*. Boca Raton. pp. 87-113.
- Beuchat, L. R. 1996. Pathogenic microorganisms associated with fresh produce. *Journal of Food Protection*. 59:204-216.
- Bouwmeester, H., Dekkers, S., Noordam, M., Hagens, W., Bulder, A., y de Heer, C. 2007. Health impact of nanotechnologies in food production. RIKILT report 2007.014
- Breidt, F., y Fleming, H. P. 1997. Using lactic acid bacteria to improve the safety of minimally processed fruits and vegetables. *Food Technology*. 55:41-51.
- Burt, S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods: a review. *International Journal of Food Microbiology*. 94:223-253.
- Guillaume, C., Guillard, V., y Gontard, N. 2011. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables modeling approach. En: O. Martín-Belloso y R. Soliva-Fortuny (Eds). *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing*. Boca Raton. pp. 255-284.
- Huxsoll, C. C., y Boilin, H. R. 1989. Processing and distribution alternatives for minimally processed fruits and vegetables. *Food Technology*. 43:124-128.
- IFPA, International Fresh-cut Produce Association. 2005. The convenience, nutritional value and safety of fresh-cut produce. Disponible: <http://www.gov.on.ca/GOPSP/en/graphics/053125.pdf>. Accesada: 17/07/08. Citado en Rojas-Graü, A., Garner, E., y Martín-Belloso, O. (2011). The fresh-cut fruit and vegetables industry current situation and market trends. En: O. Martín-Belloso y R. Soliva-Fortuny (Eds). *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing*. Boca Raton. pp. 1-11.
- Jiménez, M., García, H. S., y Beristain, C. I. 2004. Spray-drying microencapsulation and oxidative stability of conjugated linoleic acid. *European Food Research and Technology*. 219: 588-592.
- Lee, K. G., y Shibamoto, T. 2001. Antioxidant property of aroma extract isolated from clove buds (*Syzygium aromaticum* L.). *Food Chemistry*. 74: 443-448.
- Lee, S. J., Umamo, K., Shibamoto, T., y Lee, K. G. 2005. Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties. *Food Chemistry*. 91:131-137.
- Leistner, L. 2000. Hurdle technology in the design of minimally processed foods. En: S. M., Alzamora, M. S., Tapia, y A., López-Malo (Eds.). *Minimally Processed Fruits and Vegetables: Fundamental Aspects and Applications*. Springer, Nueva Delhi, India, pp. 1-52.
- Lin, D. y 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.

- Milos, M., Mastelic, J., y Jerkovic, I. 2000. Chemical composition and antioxidant effect of glycosidically bound volatile compounds from oregano (*Origanum vulgare* L. ssp. *hirtum*). *Food Chemistry*. 71: 79-83.
- Min, S., y Krochta, J. M. 2005. Inhibition of *Penicillium commune* by edible whey protein films incorporating lactoferrin, lactoferrin hydrolysate, and lactoperoxidase systems. *Journal of Food Science*. 70: M87-M94.
- Morillon, V., Debeaufort, F., Blond, G., Capelle, M., y Voilley, A. 2002. Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 42:67-89.
- Parish, M. E., Beuchat, L. R., Suslow, T. V., Harris, L. J., Garret, E. H., Farber, J. N., Busta, F. F. 2003. Methods to reduce/ eliminate pathogens from fresh and fresh-cut produce. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2(1):161-173.
- Prasanna, V., Prabha, T. N., y Tharanathan, R. N. 2007. Fruit ripening phenomena. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 47:1-19.
- Ragaert, P., Jacxsens, L., Vandekinderen, I., Baert, L., y Devlieghere, F. 2011. Microbiological and safety aspects of fresh-cut fruits and vegetables. En: O. Martín-Belloso y R. Soliva-Fortuny (Eds). *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing*. Boca Raton. pp. 53-86.
- Rico, D. Martín-Diana, A. B. Barat, J. M. y 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.
- Rojas-Graü, M. A., Grasa-Guillem, R., y Martín-Belloso, O. 2007a. Quality changes in fresh-cut fuji apple as affected by ripeness stage, antibrowning agents, and storage atmosphere. *Journal of Food Science*. 72(1):S36-S43.
- Rojas-Graü, M. A. Raybaudi-Massilia, R. M. Soliva-Fortuny, R. C. Avena-Bustillos, R. J. McHughb, T. H. Martín-Belloso, O. 2007b. Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology*. 45:254-264.
- Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., y Martín-Belloso, O. 2009a. Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh cut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*. 20: 438-447.
- Rojas-Graü, M. A. Oms-Oliu, G. Soliva-Fortuny, R. y Martín-Belloso, O. 2009b. The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review. *International Journal of Food Science and Technology*. 44:875-889.
- Serrano, M., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Valverde, J. M., Zapata, P. J., Castillo, S., y Valero, D. 2008. The addition of essential oils to MAP as a tool to maintain the overall quality fruits. *Trends in Food Science & Technology*. 19: 464-471.
- Shan, B. S., Cai, Y. Z., Sun, M., y Corke, H. 2005. Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 7749-7759.
- Shon, J., y Haque, Z. U. 2007. Efficacy of sour whey as a shelf-life enhancer: Use an antioxidative edible coating of cut vegetables and fruit. *Journal of Food Quality*. 30:581-593.
- Soliva-Fortuny, R. C. y Martín-Belloso, O. 2003. New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*. 14:341-353.
- Szabo, E. A., Scurrah, K. J., y Burrows, J. M. 2000. Survey for psychrotrophic bacterial pathogens in minimally processed lettuce. *Letters of Applied Microbiology*. 30:456-460.
- Vargas, M., Pastor, C., Chiralt, A., McClements, D. J., y González-Martínez, C. 2008. Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 48: 496-511.
- Watada, A. E., Ko, N. P., y Minott, D. A. 1996. Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. *Postharvest Biology and Technology*. 9:115-125.