



Utilización de películas comestibles y ciclodextrinas para la liberación controlada de aceites esenciales como agentes antimicrobianos en vegetales

R. H. Hernández - Figueroa*, E. Palou - García y A. López - Malo

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

Resumen

Las exigencias de los consumidores por la demanda de alimentos vegetales más naturales, han generado un esfuerzo por desarrollar tecnologías de conservación que dejen a un lado la utilización de agentes químicos como conservadores. Una alternativa a esto, es el uso de aceites esenciales de especias, los cuales han demostrado tener una capacidad antimicrobiana. Sin embargo, la incorporación directa de estos aceites genera problemas sensoriales en el alimento y la eficiencia de los mismos es baja, debido a la volatilización de sus compuestos activos. Una alternativa a este problema es la utilización de películas comestibles y ciclodextrinas para la liberación controlada de las sustancias activas. El propósito de esta revisión es presentar un panorama general de las investigaciones realizadas acerca del uso de películas comestibles y ciclodextrinas para la liberación controlada de aceites esenciales y su uso para la conservación de vegetales mínimamente procesados.

Palabras clave: vegetales mínimamente procesados, aceites esenciales, películas comestibles, ciclodextrinas.

Abstract

The consumers demands of eating more natural vegetable foods, have led an effort to develop conservation technologies that put aside the use of chemicals as preservatives. An alternative to this is the use of essential oils of spices, which have been shown to have antimicrobial activity. However, the direct incorporation of these oils causes sensory problems in food and the efficiency thereof is low due to volatilization of the active compounds. An alternative to this problem is the use of edible films and cyclodextrins for controlled release of active substances. The purpose of this review is to present an overview of research conducted on the use of edible films and cyclodextrins for controlled release of essential oils and their use for conservation of minimally processed vegetables.

Keywords: minimally processed vegetables, essential oils, edible films, cyclodextrins.

Introducción

Hoy en día el consumo de alimentos vegetales mínimamente procesados ha aumentado de

manera considerable, lo cual ha generado un esfuerzo importante en la investigación de nuevas tecnologías de conservación, así como en el desarrollo de nuevos productos. Por otro lado, la industria de estos productos ha experimentado un crecimiento acelerado convirtiéndose en una de las más exitosas en

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

los últimos años. Este crecimiento se atribuye a la tendencia a ingerir alimentos saludables por parte de los consumidores (Sanford *et al.*, 2008). Sin embargo, los productos vegetales mínimamente procesados son sumamente susceptibles al crecimiento microbiano, limitando de esta manera la seguridad y la vida de anaquel de estos alimentos. Procesos mínimos como el pelado, picado, cortes en cubos y triturado, generan daño celular y de esta manera favorecen la liberación del contenido líquido del vegetal, el cual, por su alto contenido en ácidos orgánicos y azúcares, representa una buena fuente de nutrientes para el crecimiento de bacterias, levaduras y mohos (Ayala *et al.*, 2008a).

En cuanto a la seguridad de los consumidores, en los dos últimos años se identificaron diversos brotes de bacterias patógenas asociadas al consumo de vegetales mínimamente procesados. Se identificaron casos de *Salmonella* en espinacas, mangos, melones, lechuga y brotes de alfalfa; casos de *Escherichia coli* O157:H7 en lechugas y espinacas y un brote asociado a *Listeria monocytogenes* en melones (CDC, 2013).

Los conservadores convencionales o sintéticos adicionados a los vegetales mínimamente procesados, pueden reducir de manera importante la tasa de decaimiento del producto; sin embargo, hoy en día existe un particular interés en el consumo de productos libres de aditivos sintéticos (Ayala-Zavala *et al.*, 2009). Por esta razón, se ha generado un interés particular por la investigación de nuevas tecnologías de conservación, involucrando sustancias naturales que ayuden a extender la vida útil de estos productos y aseguren la inocuidad de los mismos. Una tecnología de preservación para los vegetales mínimamente procesados últimamente estudiada, es la aplicación directa de aceites esenciales provenientes de especias, los cuales han demostrado en numerosos estudios, su actividad antimicrobiana para una amplia

variedad de microorganismos (Lanciotti *et al.*, 2004). Sin embargo, las sustancias activas de los aceites esenciales se evaporan rápidamente, generando de esta manera una limitante para extender la vida de anaquel de los productos. A su vez, el impacto sensorial de la adición directa del aceite esencial en el sabor de los vegetales mínimamente procesados, tiene repercusiones importantes en la aceptabilidad por parte del consumidor, debido al sabor no característico del vegetal pero característico del aceite esencial añadido (Ayala-Zavala *et al.*, 2008a). Una alternativa para evitar este problema es la incorporación del aceite esencial en películas comestibles (Ávila *et al.*, 2010) y la encapsulación de estos aceite en β -ciclodextrinas (Ayala *et al.*, 2008a), para controlar la liberación de los mismos. Por esta razón, el objetivo del presente artículo de revisión, es la recolección de información acerca de las nuevas tecnologías basadas en la liberación controlada de los aceites esenciales y su aplicación en productos vegetales mínimamente procesados.

Revisión bibliográfica

1. Aceites esenciales y su efecto antimicrobiano

Los agentes antimicrobianos naturales derivados de fuentes tales como los aceites esenciales de plantas, han sido reconocidos y utilizados como conservadores en alimentos durante siglos. Sin embargo, en los últimos años la investigación acerca de las propiedades antimicrobianas de estas sustancias ha aumentado. Los recientes estudios realizados enfocados a cubrir en mayor medida las exigencias de los consumidores, han provocado que las especias y sus aceites esenciales sean utilizados por las industrias de alimentos como agentes naturales de conservación, enfocándose en extender la vida de anaquel de los productos, reducir o eliminar

bacterias patógenas e incrementar la calidad general de los alimentos procesados (Tajkarimi *et al.*, 2010).

Un aceite esencial es un líquido concentrado, hidrófobo que contiene una mezcla de compuestos volátiles aromáticos, con características antimicrobianas, comúnmente derivados de tejidos vegetales (Ha *et al.*, 2008). Los aceites esenciales presentan un aroma distintivo a la planta de origen y son comúnmente extraídos por destilación por arrastre con vapor; sin embargo, existen otros métodos de extracción tales como la maceración, prensado en frío o extracción con disolventes. Por otro lado, los compuestos de los aceites esenciales son principalmente cadenas cortas de hidrocarburos complementadas con oxígeno, nitrógeno y/o átomos de azufre, unidos en diversos puntos de la cadena (Braca *et al.*, 2008). Tales mezclas de diferentes moléculas aromáticas con átomos altamente reactivos, otorgan a estas sustancias las diferentes propiedades funcionales que podrían ser consideradas para muchas aplicaciones en la ciencia y tecnología de los alimentos. A su vez, la configuración química de los componentes, la proporción en la cual se encuentran y la interacción entre ellos, afectan las propiedades bioactivas (Fisher y Phillips, 2008). Se ha demostrado en diversas investigaciones, que la actividad antimicrobiana de los aceites esenciales es mayor cuando se utilizan como tales, en comparación a la actividad que presentan sus constituyentes mayoritarios por separado (Marino *et al.*, 1999, 2001; Chang *et al.*, 2008). Esto sugiere que los componentes que se encuentran en menor proporción, no necesariamente tienen un papel importante en la actividad antimicrobiana del aceite esencial.

En cuanto a su modo de acción, los componentes de los aceites esenciales afectan funciones metabólicas importantes en la célula microbiana, como la respiración o la

producción de toxinas o ácidos; sin embargo, pueden presentar diferente especificidad en función de los sitios activos de la célula microbiana, de acuerdo a la composición de la misma (López-Malo *et al.*, 2005). Por otro lado, se ha demostrado en diversos estudios que los aceites esenciales pueden provocar deterioro importante en la pared celular de los microorganismos, daño en la membrana citoplasmática, daño a las proteínas esenciales de la membrana, filtración de los contenidos celulares, coagulación del citoplasma, agotamiento de las fuerzas motrices de los protones, deterioro en diversos sistemas enzimáticos y cambios en la funcionalidad del material genético de la célula. (López-Malo, 1995; Burt, 2004; Luqman *et al.*, 2007; Ayala-Zavala *et al.*, 2008a; Gutiérrez *et al.*, 2008a).

La actividad antimicrobiana de diferentes aceites esenciales de especias y hierbas, ha sido evaluada y estudiada en un gran número de investigaciones (Tabla I), demostrando su capacidad para ser una alternativa eficaz a los antimicrobianos tradicionales en el control del crecimiento de diversos microorganismos. Sin embargo, la aplicación directa de la mayoría de los aceites esenciales se ve limitada, debido a que las concentraciones necesarias para lograr un efecto antimicrobiano son lo suficientemente altas para modificar el sabor de los alimentos adicionados con estos aceites, generando de esta manera alteraciones poco agradables y rechazos por parte del consumidor. Los niveles de concentración requeridos no pueden reducirse debido a que los factores como la migración de los compuestos volátiles del aceite esencial hacia el alimento, la reacción de los compuestos del aceite esencial con lípidos, proteínas, carbohidratos y otros aditivos, y la volatilización de los compuestos del aceite esencial debido a las temperaturas de almacenamiento, provocan una disminución en la actividad antimicrobiana de los aceites esenciales. Ponce *et al.* (2004) reportaron que el uso de aceites esenciales en productos

vegetales mínimamente procesados afecta de manera importante la aceptabilidad del producto, debido a la migración de olores y sabores provenientes del aceite esencial hacia el producto. De igual forma, Gutiérrez *et al.* (2009) estudiaron la capacidad antimicrobiana de los aceites esenciales de orégano y tomillo (0.5%, 1% y 2%), incorporados directamente a lechuga y zanahorias, y su efecto en la calidad sensorial de estos productos. Los resultados obtenidos por estos investigadores demostraron que estos aceites esenciales son eficaces para mejorar la vida de anaquel de los vegetales estudiados; sin embargo, la lechuga tratada con aceites esenciales presentó una aceptabilidad menor, que el producto sin aceite esencial.

Debido a estos problemas, se han generado nuevas tecnologías basadas en la liberación controlada de los aceites esenciales, con el fin de generar una alternativa a la reducción en los atributos de sabor en el alimento debida a la adición de los mismos. Estas tecnologías involucran la utilización de películas comestibles adicionadas con antimicrobiano, y recientemente, la encapsulación de los aceites en ciclodextrinas.

2 Liberación controlada de aceites esenciales

2.1 Utilización de películas comestibles

Las películas comestibles se definen como matrices continuas que pueden ser formadas por proteínas, polisacáridos y/o lípidos, con las cuales se recubren los alimentos para mejorar su vida de anaquel. De igual forma, la utilización de agentes plastificantes y otros aditivos, es parte importante de la formación de las películas, ya que estos componentes modifican las propiedades físicas o funcionales de las mismas, y de esta manera ayudan a mejorar la calidad del recubrimiento en los alimentos. Los mecanismos para la formación de las películas comestibles incluyen la formación de diferentes tipos de

enlaces (covalentes, interacciones hidrofóbicas, fuerzas de Van der Waals y/o interacciones iónicas) entre las cadenas que conforman al polímero, formando una red semirrígida que atrapa e inmoviliza al solvente (Han y Gennadios, 2005).

Por otro lado, las películas comestibles se han desarrollado como una nueva tecnología, que no pretende sustituir a los empaques sintéticos diseñados para alimentos, sino actuar como un accesorio que presenta la capacidad de mejorar la calidad de los mismos, ya que los protegen a del deterioro físico, químico y biológico, extendiendo su vida de anaquel y aumentando la eficiencia de los empaques, mediante la incorporación de diversas sustancias que enriquecen sus propiedades funcionales (Kester y Fenemma, 1986). De igual manera, las películas comestibles ayudan a retardar la deshidratación en la superficie del alimento, la absorción de humedad, la oxidación de los ingredientes, la pérdida de aroma, la absorción de aceite durante el freído, así como a controlar la maduración y el deterioro microbiano en el alimento (Han y Gennadios, 2005).

Otra característica de las películas comestibles, es la capacidad que presentan en cuanto a la liberación controlada de sustancias activas. Dependiendo de la aplicación, durante la liberación controlada se requieren diversas velocidades de migración de las sustancias activas al medio, que pueden incluir la liberación inmediata, gradual o lenta, una velocidad específica de liberación o la no migración. Las películas comestibles tienen la capacidad de controlar las velocidades de liberación de manera específica y con ello ayudan a alcanzar la efectividad máxima de las funciones de las sustancias activas incorporadas (Han, 2003). Algunas de las sustancias que requieren de una velocidad controlada para alcanzar su máxima eficacia son los antioxidantes, saborizantes, colorantes,

Tabla I. Características antimicrobianas de los aceites esenciales.

Vegetal	Constituyente volátil mayor	Efecto antimicrobiano contra		
		Bacterias	Hongos	Referencia
Ajo (<i>Allium sativum</i>)	Metil disulfuro, alil sulfuro, alil disulfuro, alil trisulfuro, trimetileno trisulfuro, alil tetrasulfuro	<i>Bacillus cereus</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Shigella</i> spp., <i>Vibrio parahaemolyticus</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>Salmonella enteritidis</i> , <i>Salmonella infantis</i> , <i>Salmonella typhimurium</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Streptococcus faecalis</i> .	<i>Alternaria alternata</i>	Ross <i>et al.</i> , 2001; Ayala-Zavala <i>et al.</i> , 2008b
Albahaca (<i>Ocimum basilicum</i>)	Linalool, metil chalcicolenol, metil eugenol, metil cinamato, 1,8 cineol, cariofileno	<i>Bacillus brevis</i> , <i>E. coli</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> .	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium corylophilum</i>	Hammer <i>et al.</i> , 1999; Elgayyar <i>et al.</i> , 2001; Guynot <i>et al.</i> , 2003; Opalchenova y Obreshkova, 2003
Canela (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>)	Cinamaldehído, eugenol, copaeno, β -cariofileno	<i>E. coli</i> , <i>Escherichia coli</i> O157:H7, <i>P. aeruginosa</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>S. aureus</i> , <i>K. pneumoniae</i> , <i>Salmonella</i> sp., <i>V. parahemolyticus</i> .	<i>A. alternata</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. niger</i> , <i>P. corylophilum</i>	Chang <i>et al.</i> , 2001; Guynot <i>et al.</i> , 2003; Rojas-Graü <i>et al.</i> , 2006; López-Malo <i>et al.</i> , 2007; Du <i>et al.</i> , 2009; Yossa <i>et al.</i> , 2012
Cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>)	2E-Decanal, 2E-dodecanal, linalool	<i>E. coli</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>S. aureus</i> .		Elgayyar <i>et al.</i> , 2001
Clavo (<i>Eugenia aromaticum</i>)	Eugenol, acetato de eugenilo, cariofileno	<i>B. brevis</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>Clostridium botulinum</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>E. coli</i> , <i>E. coli</i> O157:H7, <i>K. pneumoniae</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>S. aureus</i> , <i>S. sp.</i> , <i>S. enterica</i> , <i>L. monocytogenes</i>	<i>Candida</i> sp., <i>Aspergillus flavus</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium corylophilum</i> , <i>Rhizopus nigricans</i>	Hammer <i>et al.</i> , 1999; Guynot <i>et al.</i> , 2003; Burt, 2004; López, <i>et al.</i> , 2007; Du <i>et al.</i> , 2009; Xing <i>et al.</i> , 2011
Oregano (<i>Origanum vulgare</i>)	Sabinil monoterpenos, terpinen-4-ol, γ -terpineno, carvacrol, timol	<i>B. cereus</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>C. botulinum</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>E. coli</i> , <i>E. coli</i> O157:H7, <i>S. aureus</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>K. pneumoniae</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>S. sp.</i>	<i>A. niger</i> , <i>Rhizopus stolonifer</i>	Hammer <i>et al.</i> , 1999; Elgayyar <i>et al.</i> , 2001; Burt, 2004; Rojas-Graü <i>et al.</i> , 2006; Gutierrez <i>et al.</i> , 2008b; Dos Santo <i>et al.</i> , 2012
Oregano mexicano (<i>Lippia berlandieri</i> Shauer)	Carvacrol, <i>p</i> -cymeno, Caryofileno	<i>B. cereus</i> , <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i>	<i>Penicillium</i> sp., <i>Geotrichum</i> sp., <i>Aspergillus</i> sp., <i>A. flavus</i> , <i>A. niger</i> , <i>Bipolaris</i> sp.	Portillo <i>et al.</i> , 2005; Avila <i>et al.</i> , 2010; Ayala-Zavala <i>et al.</i> , 2010; Gómez-Sánchez <i>et al.</i> , 2011
Laurel (<i>Laurus nobilis</i>)	1,8-cineole, acetato de α -terpinil, linalool, metil eugenol	<i>S. aureus</i> , <i>B. cereus</i> , <i>Micrococcus luteus</i> , <i>E. faecalis</i>		Demo y de las Mercedes Oliva, 2009
Menta piperita (<i>Mentha piperita</i>)	Mentol, mentone, metil acetato, mentofurano	<i>B. brevis</i> , <i>E. coli</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>K. pneumoniae</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>S. aureus</i>	<i>A. flavus</i> , <i>A. niger</i> , <i>P. corylophilum</i>	Hammer <i>et al.</i> , 1999; Guynot <i>et al.</i> , 2003
Romero (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	Borneol, verbenona, camfor, α -pineno, 1,8-cineole	<i>B. cereus</i> , <i>E. coli</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>K. pneumoniae</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>S. sp.</i> , <i>S. aureus</i>	<i>A. flavus</i> , <i>A. niger</i> , <i>P. corylophilum</i>	Hammer <i>et al.</i> , 1999; Elgayyar <i>et al.</i> , 2001; Guynot <i>et al.</i> , 2003; Burt, 2004
Tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>)	Timol, <i>p</i> -cymene, γ -terpinene, linalool	<i>B. cereus</i> , <i>C. botulinum</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>K. pneumoniae</i> , <i>S. sp.</i> , <i>P. aeruginosa</i>	<i>A. flavus</i> , <i>A. niger</i> , <i>P. corylophilum</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>R. stolonifer</i>	Bhaskara <i>et al.</i> , 1997, Hammer <i>et al.</i> , 1999; Elgayyar <i>et al.</i> , 2001; Guynot <i>et al.</i> , 2003; Lee <i>et al.</i> , 2005

Adaptado de Ayala-Zavala *et al.*, (2009)

pesticidas, repelentes de insectos y los agentes antimicrobianos (Han y Gennadios, 2005).

Debido a las capacidades que presentan las películas comestibles en relación al aumento de calidad del producto, y a la liberación controlada de agentes antimicrobianos, se han desarrollado diversas investigaciones con base en la incorporación de aceites esenciales de plantas y hierbas a películas comestibles, para la conservación de los alimentos o la disminución del deterioro microbiano. De igual manera, el aumento de la eficiencia de los aceites esenciales debido a su incorporación en las películas comestibles, en comparación a la utilización directa, hace de esta tecnología una alternativa importante para la aplicación de estos aceites como agentes antimicrobianos en la conservación de productos vegetales mínimamente procesados.

En este sentido, varios investigadores han desarrollado estudios sobre la elaboración de películas comestibles a partir de puré de tomate, puré de manzana y almidón de papa, adicionadas con aceite esencial de diferentes especias (orégano, pimienta, ajo, citronela y canela). Estas películas han presentado un efecto inhibitorio en el crecimiento de *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica* y *Escherichia coli* O157:H7, bacterias patógenas importantes en alimentos. De igual forma, demostraron que las concentraciones de aceites esenciales añadidas a las películas comestibles, que presentaban efecto antimicrobiano, son menores en comparación a las utilizadas en la incorporación directa en el alimento (Rojas-Graü *et al.*, 2006; Du *et al.*, 2009; Fabienne *et al.*, 2011).

También se han generado estudios acerca de la actividad antimicrobiana que pueden presentar las películas comestibles a base de quitosano adicionadas con aceites esenciales. Sánchez *et al.* (2011), así como Ávila *et al.* (2010) demostraron que las películas de quitosano adicionadas con aceite esencial de

árbol de té (*Melaleuca alternifolia*), y orégano mexicano, respectivamente, presentan una capacidad inhibitoria sobre el crecimiento de *L. monocytogenes*, así como una actividad antifúngica sobre el crecimiento de *Aspergillus niger* y *Penicillium* spp. De igual forma, se han realizado diversos estudios para investigar los efectos benéficos del recubrimiento de productos vegetales mínimamente procesados con películas de quitosano. Dos Santos *et al.* (2012) demostraron la capacidad que presentan las películas de quitosano, adicionadas con concentraciones menores a la mínima inhibitoria de aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare* L.), en el control del crecimiento de *A. niger* y *Rhizopus stolonifer* en uva, así como la capacidad de las mismas para conservar la calidad general de las uvas y sus atributos sensoriales durante 12 días de almacenamiento.

De igual forma, las películas comestibles a base de alginato adicionadas con aceite esencial han demostrado tener un efecto antimicrobiano. Varios estudios han demostrado la capacidad de estas películas para inhibir el crecimiento de bacterias patógenas importantes en alimentos (*Bacillus subtilis*, *L. monocytogenes*, *Staphylococcus epidermis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *E. coli* O157:H7), así como de mohos y levaduras importantes en el deterioro de alimentos (Maizura *et al.*, 2007; Rojas-Graü *et al.*, 2007; Norajit y Hyung, 2011).

Así mismo, las películas comestibles a base de alginato adicionadas con aceites esenciales han demostrado tener una capacidad importante para mantener la calidad de los productos vegetales mínimamente procesados. Varias investigaciones demostraron que las películas de alginato adicionadas con aceites esenciales (citronela, orégano, palmarosa, limón) ayudan de manera importante a la conservación de manzanas, melones y fresas mínimamente procesados, mejorando la vida

de anaquel de estos productos, así como disminuyendo el deterioro microbiano en estos alimentos. De igual manera, estas investigaciones han demostrado que las películas de alginato adicionadas con aceites esenciales, presentan una capacidad inhibitoria sobre el crecimiento de bacterias patógenas importantes en los productos vegetales mínimamente procesados (Raybaudi *et al.*, 2007; Rojas-Graü *et al.*, 2007; Perdonés *et al.*, 2012).

2.2 Utilización de ciclodextrinas

Las ciclodextrinas son oligosacáridos de glucosa cíclicos no reductores. Existen tres tipos de ciclodextrinas comunes: α -, β -, y γ -ciclodextrinas, con 6, 7 u 8 residuos de D-glucopiranosil, respectivamente, unidos por enlaces glucosídicos α -(1-4) (Del Valle, 2003). Las ciclodextrinas presentan una conformación circular con fondo en forma de “tazón o cono truncado”, estabilizada por la formación de puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilos 2 y 3 alrededor del borde exterior. Debido a sus enlaces glucosídicos α -(1-4), todos los grupos hidroxilos primarios (C-6) se encuentran orientados hacia uno de los bordes del cono truncado y los grupos hidroxilos secundarios (C-2 y C-3) se encuentran colocados en el otro borde. Por otro lado, la molécula presenta en su cavidad interior un ambiente hidrofóbico con una gran densidad de electrones en el medio. La existencia de una cavidad hidrófoba y la presencia de anillos hidrofílicos, le dan a las ciclodextrinas la propiedad de formar complejos con una amplia variedad de moléculas orgánicas en medio acuoso. Las β -ciclodextrinas las más utilizadas por las industrias farmacéuticas y de alimentos, que las α -, y γ -ciclodextrinas, ya que presentan un precio más bajo, mayor accesibilidad, han sido aprobadas por la FDA y tienen la capacidad de generar complejos con moléculas aromáticas y/o heterocíclicas (Del Valle, 2003).

Las ciclodextrinas poseen una habilidad única para actuar como contenedores moleculares, ya que tienen la capacidad de atrapar moléculas huésped en su cavidad interna. Durante este proceso, la molécula huésped (menos polar) sustituye a las moléculas de agua que se encuentran en una situación energéticamente desfavorable en el interior de la cavidad de la ciclodextrina. Este proceso está regulado por interacciones no covalentes (fuerzas de Van der Waals, puentes de hidrógeno e interacciones electrostáticas) entre la molécula huésped y la molécula anfitrión (ciclodextrina) (Ayala-Zavala *et al.*, 2008a).

La capacidad de las ciclodextrinas para formar complejos con moléculas huésped está en función de dos factores clave. El primer factor está relacionado al impedimento estérico, el cual es función directa del tamaño de la molécula huésped y el tamaño de la cavidad interna de la ciclodextrina; si la molécula huésped no se ajusta correctamente en la cavidad interna, la estabilidad del complejo disminuye de manera importante. El segundo factor crítico se encuentra relacionado a las interacciones termodinámicas entre los diferentes componentes del sistema (ciclodextrinas, huésped y solvente). Rekharsky y Inoue (1998) investigaron las implicaciones termodinámicas del proceso de inclusión de moléculas huésped en las ciclodextrinas, concluyendo que los factores más importantes en la formación del complejo son (1) penetración de la molécula huésped en la parte hidrofóbica, (2) deshidratación de la molécula orgánica, (3) formación de puentes de hidrógeno, (4) liberación de moléculas de agua por parte de la cavidad interna de la ciclodextrina, y (5) cambios conformacionales o disminución de la tensión del complejo durante la unión de moléculas.

Por otro lado, las β -ciclodextrinas presentan una mayor eficiencia para encapsular y

proteger moléculas aromáticas y/o heterocíclicas en comparación con las otras dos clases de ciclodextrinas. De igual forma, cuando la microencapsulación toma lugar, la molécula huésped puede sufrir cambios en sus propiedades físicas y químicas tales como menor degradación de la molécula por la exposición a la luz o al oxígeno, modificaciones en la reactividad química, incremento en la solubilidad en agua, fijación de compuestos volátiles e incremento en la liberación controlada de los mismos (Ayala-Zavala *et al.*, 2008a).

Gracias a las características de las β -ciclodextrinas, la microencapsulación de aceites esenciales por medio de las mismas y el uso de estos microencapsulados en la conservación de alimentos, han despertado el interés de los investigadores por desarrollar y aplicar esta nueva tecnología. Como se mencionó anteriormente, la incorporación directa de los aceites esenciales en el alimento presenta desventajas importantes tales como la afectación de las características sensoriales del alimento y la evaporación o inactivación de las sustancias activas del aceite. La formación de complejos a partir de β -ciclodextrinas y aceites esenciales, representa una posible solución a estos problemas (Ayala-Zavala *et al.*, 2010a).

En este sentido, se han desarrollado diversas investigaciones en relación a la microencapsulación de aceites esenciales por medio de β -ciclodextrinas y su efecto antimicrobiano. Varios investigadores observaron que los complejos β -ciclodextrinas y aceite esencial (β -CD-AE) presentaban una mayor estabilidad y versatilidad en la liberación controlada de las sustancias activas del aceite esencial y de esta manera contribuían a la eficiencia en la actividad antimicrobiana que presentan los aceites esenciales. De igual manera, observaron que cuando el complejo antimicrobiano (β -CD-AE) se encuentra expuesto a humedades

relativas altas la interacción del complejo se debilita y de esta manera el aceite esencial es liberado pasivamente al medio ambiente (Ayala-Zavala *et al.*, 2008b; Toro *et al.*, 2010; Ciobanu *et al.*, 2013).

Por otro lado, existen investigaciones acerca de la capacidad que presentan los complejos β -CD-AE, para la conservación de vegetales mínimamente procesados. Estas investigaciones demostraron la efectividad de complejos elaborados a partir de compuestos volátiles derivados del aceite esencial de mostaza y aceite esencial de ajo para la conservación microbiana y la inhibición del crecimiento de bacterias patógenas en cebollas y tomates mínimamente procesados. De igual manera, las investigaciones demostraron que la eficiencia en la liberación de los compuestos volátiles de los aceites esenciales es mucho mayor cuando éstos se encuentran encapsulados en β -ciclodextrinas, mejorando de esta manera la calidad general de los vegetales mínimamente procesados. Por último, las diversas investigaciones señalan la posibilidad de la encapsulación satisfactoria de aceites esenciales y por medio de ciclodextrinas, y su viabilidad para ser utilizadas como un nuevo método de conservación de vegetales mínimamente procesados (Ayala-Zavala y González, 2010; Piercey *et al.*, 2011).

Conclusiones y comentarios finales

Los aceites esenciales de especias representan una opción eficaz a los antimicrobianos tradicionales en la conservación de alimentos vegetales mínimamente procesados. Sin embargo, su uso se ve limitado, debido a que las concentraciones necesarias para lograr un efecto antimicrobiano significativo, son lo suficientemente altas para generar cambios indeseables en el sabor de los productos vegetales y por consiguiente generar un

rechazo del alimento por parte de los consumidores. Por esta razón, las películas comestibles, así como el uso de ciclodextrinas para la liberación controlada de aceites esenciales, representan una alternativa eficaz y eficiente para la conservación de vegetales mínimamente procesados, sin afectar de manera importante los cambios indeseables en el sabor y la aceptación.

Agradecimientos

R. H. Hernández Figueroa 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 y el apoyo para realizar este trabajo.

Referencias

- Ávila, R., Hernández, E., López, I., Palou, E., Jiménez, M. T., Nevárez, G. V. y López-Malo, A. 2010. Fungal inactivation by Mexicano regano (*Lippia berlandieri* Shauer) essential oil added to amaranth, chitosan, or starch edible films. *Journal of Food Science*. 75(3): M127-M133.
- Ayala-Zavala, J. F., del Toro, L., Apvarez, E. y Gonzalez, G. A. 2008a. High relative humidity in-package of fresh-cut fruits and vegetables: advantage or disadvantage considering micorbiological problems and antimicrobial delivering system?. *Journal of Food Science*. 73 (4): R41-R47.
- Ayala-Zavala, J. F. Soto, H., González, A., Álvarez, E., Martín, O. y González, G. A. 2008b. Microencapsulation of cinnamon leaf (*Cinnamomum zeylanicum*) and garlic (*Allium sativum*) oils in β -cyclodextrin. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*. 60:359-368.
- Ayala-Zavala, J. F. Gonzáles, G. A. y del Toro, L. 2009. Enhancing safety and aroma appealing of fresh-cut fruits and vegetables using the antimicrobial and aromatic power of essential oils. *Journal of Food Science*. 74(7): R84-R91.
- Ayala-Zavala, J. F. y González A. 2010. Optimizing the use of garlic oil as antimicrobial agent on fresh-cut tomato through a controlled release system. *Journal of Food Science*. 75(7): M398-M405.
- Bhaskara, M. V., Angers, P., Gosselin, A. y Arul, J. 1999. Characterization and use of essential oli from *Thymus vulgaris* against *Botrytis cinrea* and *Rhizopus stolonifer* in strawberry fruits. *Phytochemistry*. 47(8): 1515-1520.
- Braca A., Siciliano, T. D'Arrigo, M. y Germano, M. P. 2008. Chemical composition and antimicrobial activity of *Momordica charantia* seed essential oil En Ayala, J. F., González A., A., del Toro, L. 2009. Enhancing safety and aroma appealing of fresh-cut fruits and vegetables using the antimicrobial and aromatic power of essential oils. *Journal of Food Science*. 74(7): R84-R91.
- Burt, S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods - a review. *International Journal of Food Microbiology*. 94:223-253.
- Chang, S. T., Chen, P. F. y Chang, S. C. 2001. Antibacterial activity of leaf essential oils and their constituents from *Cinnamomum osmophloeum*. *Journal of Ethno-pharmacology*. 77: 123-127.
- Chang, H., T., Cheng, Y., H., Wu, C., I., Chang, S., T., Chang, T., T. y Su, Y., C. 2008. Antifungal activity of essential oil and its constituents from *Calocadru macrolepis* var. Formosana Florin leaf against plant pathogenic fungi. *Bioresource Tecnology*. 99: 6266-6270.
- Ciobanu, A., Mallard, i., Landy, D., Brabie, G., Nistor, D. y Fourmentin, S. 2013. Retention of aroma compounds from *Mentha piperita* essential oil by cyclodextrin and crosslinked cyclodextrin polymers. *Food Chemistry*. 138: 291-297.
- Demo M. S., de las Mercedes O. M. 2009. Antimicrobial activity of medicinal plants from South America. In: Botanical medicine in clinical practice. Oxfordshire, Reino Unido. p 152-63. En: Ayala-Zavala, J. F. Gonzáles, G. A. y del Toro, L. 2009. Enhancing safety and aroma appealing of fresh-cut fruits and vegetables using the antimicrobial and aromatic power of essential oils. *Journal of Food Science*. 74(7): R84-R91.
- Del Valle, E. M. 2003. Cyclodextrins and their uses: a review. *Process Biochemistry*. 39: 1033-1046.
- Del Toro, C. L., Ayala, J. F., Machi, L., Santacruz, H., Villegas, M. A., Alvarez, E. y González, G. A. 2010. Controlled release of antifungal volatiles of thyme essential oil from β -cyclodextrin capsule. *Journal of*

- Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*. 67:431-441.
- Dos Santos, N. S., Athayde, A. J., Vasconcelos, C. E., de Sales, C. V., de Melo, S., Sousa da Silva, R., Montenegro, T. C. y Leite, E. 2012. Efficacy of the application of coating composed of chitosan and *Origanum vulgare* L. essential oil to control *Rhizopus stolonifer* and *Aspergillus niger* in grapes (*Vitis labrusca* L.). *Food Microbiology*. 32: 234-353.
- Du, W. X., Olsen, C. W., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H., Levin, C. E., y Friedman, M. 2009. Antibacterial effects of allspice, garlic, and oregano essential oils in tomato films determined by overlay and vapor-phase methods. *Journal of Food Science*. 74(7): 390-397.
- Elgayyar, M., Draughon, A., Golden, D. A. y Mount, J. R. 2001. Antimicrobial activity of essential oil from plants against selected pathogenic and saprophytic microorganisms. *Journal of Food Protection*. 64(7): 1019-1024.
- Fabienne, E., Ehivet, E., Min, B., Park, M. K. y Oh, J. H. 2011. Characterization and antimicrobial activity of sweetpotato starch-based edible film containing origanum (*Thymus capitatus*) oil. *Journal of Food Science*. 76(1): 178-184.
- Fisher, K. Y Phillips, C. 2008. Potential antimicrobial uses of essential oils in food: is citrus the answer?. *Trends in Food Science and Technology*. 19:156-164.
- Gómez-Sánchez, A., Palou, E. y López-Malo, A. 2011. Antifungal activity evaluation of Mexicano regano (*Lippia berlandieri* Schauer) essential oil on the growth of *Aspergillus flavus* by gaseous contact. *Journal of Food Protection*. 74(12): 2192-2198.
- Gutierrez, G., Barry-Ryan, C., y Bourke, R. 2008a. The antimicrobial efficacy of plant essential oil combinations and interactions with food ingredients. *International Journal of Food Microbiology*. 124:91-97.
- Gutierrez, J., Rodriguez, Barry-Ryan, C. y Bourke, P. 2008b. Efficacy of plant essential oils against foodborne pathogens and spoilage bacteria associated with ready-to-eat vegetables: antimicrobial and sensory screening. *Journal of Food Protection*. 71(9): 1846-1854.
- Gutierrez, G., Bourke, P., Lonchampa, J. y Barry-Ryan, C. 2009. Impact of plant essential oil on microbiological, organoleptic and quality markers of minimally processed vegetables. *Innovative Food Science and Emerging Technology*. 10 (2): 195-202.
- Guynot, M. E. Ramos, A. J. Setó, L. Purroy, P., Sanchis, V. y Marín, S. 2003. Antifungal activity of volatile compounds generated by essential oils against fungi commonly causing deterioration of bakery products. *Journal of Applied Microbiology*. 94: 893-899.
- Ha, HKP., Maridable, J., Gaspillo, P., Hasika, M., Lalaluan, R. y Kawasaki, J. 2008. Essential oil from lemongrass extracted by supercritical carbon dioxide and steam distillation. *The Philippine Agricultural Scientist*. 91:36-41.
- Hammer, K. A., Carson, C. F. y Riley, T. V. 1999. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*. 86: 985-990.
- Han, J. H. 2003. Antimicrobial food packaging. En: *Novel Food Packaging Techniques*. Reino Unido. Editor. R. Ahvenainen. Woodhead Publishing Ltd. pp 50-70
- Han, J. H., y Gennadios, A. 2005. Edible films and coatings: a review. *Innovation in Food Packaging*. 239- 262
- Kester, J. M. y Fennema, O. R. 1986. Edible films and coatings: a review. *Food Technology*. 48(12): 47-59. En: Han, J. H., y Gennadios, A. 2005. Edible films and coatings: a review. *Innovation in Food Packaging*. 239- 262.
- Lanciotti, A. A., Gianotti, A., Patrignani, F., Belletti, H., Guerzonu, M. E. y Gardini, F. 2004. Use of natural aroma compounds to improve shelf-life and safety of minimally processed fruits. *Trends in Food Science and Technology*. 15(3): 201-208.
- 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.
- López, P., Sánchez, C., Batlle, R. y Nerín, C. 2007. Vapor phase activities of cinnamon, thyme, and oregano essential oils and key constituents against foodborne microorganisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55(11):4348-56.
- López-Malo, A. 1995. Efecto de diversos factores sobre la capacidad antimicrobica de vainilla. Tesis de Maestría. Universidad de las Américas Puebla, México.
- López-Malo, A. Palou, E. y Alzamora, S. 2005. Naturally occurring compounds – plant source, En: *Antimicrobials in Food*. Tercera edición. EE.UU. Editores. P. Michael Davidson, John N. Sofos y A. L. Branen. Editorial Taylor y Francis Group.

- López-Malo, A. Barreto, J. Palou, E. y San Martín, F. 2007. *Aspergillus flavus* growth response to cinnamon extracta and sodium benzoate mixtures. *Food Control*. 18: 1358-1362
- Luqman, S., Dwivedi, G., Darokar, M., Kaira, A. y Khanuja, S. 2007. Potential of Rosemary oil to be used in drug-resistant infections. *Alternative therapies*. 13 (5): 54-59.
- Maizura, M., Fazilah, A., Norzia, M. H. y Karim, A. A. 2007. Antibacterial activity and mechanical properties of partially hydrolyzed sago starch-alginate edible film containing lemongrass oil. *Journal of Food Science*. 72(6): C324-C330.
- Marino, M. BERSani, C. y Comi, G. 1999. Antimicrobial activity if the essential oils of *Thymus vulgaris* L. measured using a bioimpedometric method. *Journal of Food Protection*. 62:1017-10123.
- Marino, M. Bersano, C. y Comi, G. 2001. Impedance measurements to study the antimicrobial activity of essential oils from *Lamiaceae* and *Compositae*. *Journal of Food Microbiology*. 67:187-195.
- Norajit, K. y Hyung, G. 2011. Preparation and properties of antibacterial alginate films incorporating extruded White ginseng extract. *Journal of Food Processing and Preservation*. 35: 387-393.
- Opalchenova, G. y Obreshkova, D. 2003. Comparative studies on the activity of basil- an essential oil from *Ocimum basilicum* L.- against multidrug resistant clinical isolates of the genera *Staphylococcus*, *enterococcus* and *Pseudomonas* by using different methods. *Journal of Microbiology Methods*. 54: 105-110.
- Perdones, A., Sánchez, L., Chiralt, A. y Vargas, M. 2012. Effect of chitosan-lemon essential oil coatings on storage-keeping quality of strawberry. *Postharvest Biology and Technology*. 70: 32-41.
- Ponce, A. G., del Valle, C., y Roura, S. I. 2004. Shelf life of leafy vegetables treated with natural essential oils. *Journal of food Science*. 69 (2): M50-M56.
- Piercey, M. J., Mazzanti, G., Budge, S. M., Delaquis, P. J., Paulson, A. T. y Truelstrup, L. 2012. Antimicrobial activity of cyclodextrin entrapped allyl isothiocyanate in a model system and packaged fresh-cut onions. *Food Microbiology*. 30: 213-128.
- Raybaudi, R. M., Mosqueda, J. y Martín, O. 2007. Edible alginate-based coating as carrier of antimicrobials to improve shelf-life and safety of fresh-cut melon. *International Journal of Food Microbiology*. 121:313-327.
- Rekharsky, M. V. y Inoue, Y. 1998. Complexation thermodynamics of cyclodextrins. *Chemical Review*. 98: 1875-1917. En: Ayala, J. F., del Toro, L., Apvarez, E. y Gonzalez, G. A. 2008. High relative humidity in-package of fresh-cut fruits and vegetables: advantage or disadvantage considering microbiological problems and antimicrobial delivering system?. *Journal of Food Science*. 73 (4): R41-R47.
- Rojas-Graü, M. A., Avena-Bustillos, R. J., Friedman, M., Henika, P. R., Martin-Belloso, O. y McHugh, T. 2006. Mechanical, barrier, and antimicrobial properties of Apple puree edible films containing plant essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(24): 9262-9267.
- Rojas-Graü, M. A., Raybaudi, R. M., Soliva, R. C., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H. y Martín, O. 2007. Apple puree-alginate edible coatings as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology*. 45:254-264.
- Ross, Z. M. O’Gara, E. A., Hill, D. J., Sleightholme, H. V. y Maslin, D. J. 2001. Antimicrobial properties of garlic oil against human enteric bacteria: Evaluation of methodologies and comparisons with garlic oil sulfides and garlic powder. *Applied and Environmental Microbiology*. 67(1): 475-480.
- Sanchez, L., Cháfer, M., Hernández, M., Chiralt, A. y Gonzáles, C. 2011. Antimicrobial activity of polysaccharide films containing essential oils. *Food Control*. 22: 1302-1310.
- Sanford K. A., Johnston, E. M., Porter, J. L., Lowe, J. y Oxby, D. M. 2008. Dietitians attitudes, perception, and usage patterns for fresh-cut fruit and vegetables. *Canadian Journal of Dietetic Practice and Research*. 69: 7-13.
- Tajkarimi, M. M., Ibrahim, S. A. y Cliver, D. O. 2010. Antimicrobial herb and spice compounds in food. *Food Control*. 21: 1199-1218.
- Xing, Y., Xu, Q., Li, X., Che, Z. y Yun, J. 2011. Antifungal activities of clove oil against *Rhizopus nigricans*, *Aspergillus flavus* and *Penicillium citrinum* in vitro and in wounded fruit test. *Journal of Food Safety*. 32: 84-93.
- Yossa, N., Patel, J., Millner, P. y Martin, Y. 2012. Essential oils reduce *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* on spinach leaves. *Journal of Food Protection*. 75(3): 488-496.