



Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 8 (1): 057-089. Enero-Junio, 2017
<https://sites.google.com/site/1rvcta>

ISSN: 2218-4384 (versión en línea)



Asociación RVCTA, 2017. RIF: J-29910863-4. Depósito Legal: ppi201002CA3536.

Revisión

Películas biodegradables con propiedades bioactivas

Biodegradable films with bioactive properties

Adriana Isabel **Montes Hernández**¹, Rafael Antonio **Oropeza González**¹,
Carlos Alberto **Padrón Pereira**², Yorleny **Araya Quesada**³, Lea **Wexler Goering**³,
Elba **Cubero Castillo**³

¹Investigadora(dor) independiente. 4-347 Dufferin Street, Carberry, Manitoba, R0K 0H0, Canadá.

E-correos: roropeza@ull.es, amhernan@ull.es

²Asociación RVCTA. Avenida Andrés Bello N° 101-79, Sector La Pastora, Municipio Valencia, Estado Carabobo, C. P. 2001, Venezuela. E-correo: carlospadron1@gmail.com

³Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

E-correos: yorleny.araya@ucr.ac.cr, lea.wexler@ucr.ac.cr, elba.cubero@ucr.ac.cr

Aceptado 03-Julio-2017

Resumen

El envasado pasivo como barrera física entre el alimento y su entorno no permite posibles interacciones beneficiosas. Por otro lado, la acumulación del material plástico derivado del petróleo usado en el envasado es una problemática mundial, por causa de su naturaleza contaminante. En razón de lo anterior, el desarrollo de nuevos materiales para envasado que ofrezcan nuevas funcionalidades, menos impacto ambiental, y además, beneficio económico, actualmente es una necesidad. En esta revisión se recopiló información ampliamente disponible sobre avances en la elaboración de películas biodegradables, especialmente las basadas en almidón, que pueden ser consideradas como envases activos por la incorporación de aditivos antimicrobianos y/o antioxidantes. En líneas generales, las investigaciones se orientan a sistemas de envasado antimicrobiano y/o con actividad antioxidante con un enfoque en películas biodegradables elaboradas con polisacáridos y otros materiales.

Palabras claves: aceites esenciales, alimentos, envasado activo, nanotecnología, películas de almidón.

Abstract

Passive packaging as a physical barrier between the food and its environment does not allow beneficial interactions. On the other hand, the accumulation of the plastic material derived from petroleum used in the packaging is a global problem, because of its polluting nature. Due to the above, the development of new materials for packaging that offer new functionalities, less environmental impact, and also, economic benefit, is currently a necessity. This review compiled widely available information on advances in the development of biodegradable films, especially those based on starch, which can be considered as active packaging by the incorporation of antimicrobial and/or antioxidant additives. In general, the research is oriented towards antimicrobial packaging systems and/or with antioxidant activity with a focus on biodegradable films made from polysaccharides and other materials.

Key words: active packaging, essential oils, food, nanotechnology, starch films.

Nota

El desarrollo de nuevos productos y la innovación podría ayudar a cambiar los patrones de uso del plástico en el futuro; no obstante, las películas biodegradables no son una solución a esparcir desperdicios, mientras que la prevención, el manejo de desechos y la conciencia pública, sí.

INTRODUCCIÓN

Con el aumento de los sistemas de transporte, de distribución, necesidades de almacenamiento y llegada a los supermercados cada vez más grandes y tiendas de almacén, los alimentos ya no se consumen solo en el huerto, en el campo, en la granja, o cerca de las instalaciones de procesamiento. Durante los pasos que consumen el tiempo involucrado en el manejo, transporte y almacenamiento, los productos comienzan a deshidratarse, deterioran, pierden la apariencia, el sabor y el valor nutritivo. Si no se proporciona ninguna protección especial, el daño puede ocurrir en cuestión de horas o días, incluso si este daño no es inmediatamente visible (Pavlath y Orts, 2009). Por otra parte, el sector de alimentos y bebidas genera desechos de plástico no ecológicos y esto ha dado lugar a un enorme impacto en el medioambiente. Con una priorización insuficiente de la reducción de la fuente de envasado, la reciclabilidad, la compostabilidad, el contenido reciclado y las

políticas de reciclado, es probable que los residuos aumenten en los próximos años. Se estima que menos del 14 % de los materiales de envasado de plástico son reciclables (en Estados Unidos), y como el plástico domina la mayor proporción de la industria de envasado de alimentos, la necesidad de diseñar material de base biológica es una prioridad (MacKerron y Hoover, 2015; Tumwesigye *et al.*, 2016).

La fabricación y aplicación potencial de polímeros biodegradables para aplicaciones de envasado de alimentos ha aumentado el interés como alternativas a los polímeros de envasado de alimentos convencionales debido a su sostenibilidad. Los polímeros de fuentes renovables actualmente atraen la atención para la fabricación de materiales amigables con el medioambiente (Miteluț *et al.*, 2016) y la utilización de películas biodegradables se supone una práctica amigable con el ambiente (Arancibia *et al.*, 2014a). En tal sentido, diversas fuentes se pueden utilizar en la producción de biopolímeros como películas biodegradables que incluyen polisacáridos,

proteínas y lípidos. Entre los diversos polisacáridos, el almidón es un material económicamente viable y su abundancia en la naturaleza es de importancia significativa (Molavi *et al.*, 2015; Shah *et al.*, 2016); por lo que es ampliamente utilizado en el desarrollo de películas y recubrimientos (Garrison *et al.*, 2016).

Los recubrimientos comestibles se utilizan desde hace muchos años para el almacenamiento de frutas y otros vegetales en la industria alimentaria y diferentes materiales se utilizan para recubrimiento, tales como hidrocoloides, ceras y proteínas (Raghav *et al.*, 2016). Entre otras aplicaciones, cocinar los alimentos envueltos en una película comestible ayuda a mantener su sabor (Fig. 1A), y otra es en postres que se cubren con la película y que se consumen sin desechar nada (Fig. 1B).

Tradicionalmente, los envases para alimentos han sido concebidos como sistemas cuyo principal objetivo ha sido contener y proteger al alimento de los daños físicos inherentes al proceso de transporte y comercialización de los mismos (envase pasivo). Desde hace un tiempo esto ha cambiado y actualmente el envase se concibe como un sistema alternativo de conservación de alimentos, ya no solo como contenedor, sino que ejerza un efecto positivo y beneficioso sobre el alimento (envase activo). Este nuevo enfoque ha permitido la incorporación de nuevos materiales y sistemas capaces de ejercer una interacción positiva entre el envase y el alimento (Galotto y Guarda, 2014). Los envases activos pueden clasificarse dependiendo de la característica que el aditivo posea, entre los cuales, los que presentan actividad antimicrobiana o antioxidante son los que presentan mayores expectativas. Los primeros inhiben la acción de los microorganismos causantes de la contaminación de los productos, mientras que los segundos retardan y previenen la aparición de radicales libres en el alimento, actuando en las reacciones de oxidación de las moléculas presentes (Bruna *et al.*, 2014a).

La incorporación de compuestos antimicrobianos y antioxidantes a las películas son de gran interés porque permite alargar la vida útil de los productos envasados y entre los posibles compuestos activos, los aceites esenciales de plantas y algunos de sus componentes aislados, reúnen la doble propiedad de ser antimicrobianos y antioxidantes (Chiralt, 2014). Los aceites esenciales pueden proporcionar a las películas propiedades antimicrobianas y/o antioxidantes, y su composición y las interacciones específicas con el polímero determinan su eficacia como ingrediente activo (Atarés y Chiralt, 2016). Muchos antioxidantes son conocidos por presentar actividad antimicrobiana, lo que permite asumir una relación entre las actividades antimicrobianas y antioxidantes, no obstante, puede no existir, o haber poca, correlación entre ambas actividades (son múltiples los mecanismos involucrados); por ejemplo, Miranda *et al.* (2014) al comparar el nivel de antioxidante versus la actividad antimicrobiana de 6 extractos de quinua, encontraron que la actividad antioxidante, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,20, explicó solo el 20 % de la variación en la actividad antimicrobiana contra 2 microorganismos ensayados. De similar forma, Borchardt *et al.* (2009) al comparar la relación entre la actividad antioxidante y antimicrobiana de extractos de 35 especies de semillas, la actividad antioxidante con un R^2 de 0,29, solamente explicó el 29 % de la variación en la actividad antimicrobiana contra 4 microorganismos ensayados.

Adicionalmente, el uso de nanomateriales en el envasado de alimentos ha aumentado en gran medida, y uno de los puntos clave es el envasado activo, en el que las nanopartículas interactúan directamente con los alimentos infiriendo protección por su acción como agentes antimicrobianos (Carbone *et al.*, 2016).

La funcionalidad definitiva de las películas está relacionada, en parte, con las



Figura 1.- Usos de películas comestibles en cocción (A) y en postres (B).

propiedades bioactivas (como antioxidante, antimicrobiana y antioscurecimiento) (Silva-Weiss *et al.*, 2013; López-García y Jiménez-Martínez, 2015), entre otras; y con base en esto, parte de la extensa literatura existente fue revisada y compilada en este trabajo con miras ofrecer una visión general, con énfasis en películas biodegradables a base de almidón.

CONTENIDO

- 1.- Películas con actividad antimicrobiana
 - 1.1.- Nanotecnología
- 2.- Películas con actividad antioxidante

REVISIÓN DE LA LITERATURA

- 1.- Películas con actividad antimicrobiana**

Debido a la creciente preocupación por prevenir la contaminación de los alimentos con sustancias químicas y microorganismos patógenos, se han aumentado las investigaciones en el desarrollo de empaques activos. Estos sistemas proveen funcionalidad adicional a los compuestos antioxidantes y antimicrobianos que se agregan a los alimentos, además de cumplir su objetivo primario de proteger los alimentos de agentes externos (Suppakul *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2010; Pereira de Abreu *et al.*, 2012; Bodini *et al.*, 2013). Ha habido un incremento, en los últimos años, en el uso de materiales biodegradables y, en este contexto, se estudia cada vez más la fabricación de biopolímeros de fuentes renovables, que tienen la característica de poder absorber compuestos activos (Muñoz-Bonilla y Fernandez-García, 2012) promoviendo una nueva manera de conferir seguridad y alargar la vida útil de alimentos listos para su consumo. Las tendencias actuales en sistemas de empaque de alimentos se enfocan en inhibir la contaminación con microorganismos patógenos. Muchos de estos sistemas son los llamados empaques activos o “inteligentes”, que se han desarrollado para cumplir con requerimientos específicos de inocuidad. Básicamente, el propósito de los empaques activos es asegurar la calidad e inocuidad de los alimentos durante su vida útil, inhibiendo el crecimiento de microorganismos de deterioro y de aquellos potencialmente peligrosos para la salud. Sin embargo, actualmente hay muy pocos productos en el mercado con películas antimicrobianas debido a la aún poca aceptación por parte del consumidor y a su alto costo (Sung *et al.*, 2013).

El oxígeno facilita el crecimiento de microbios aerobios y mohos; la presencia de oxígeno en un envase puede desencadenar o acelerar reacciones oxidativas que resultan en el deterioro de los alimentos dando lugar a cualidades adversas, tales como, olores y sabores desagradables, cambios de color no deseados y reducción de la calidad nutricional.

Los absorbedores de oxígeno eliminan el oxígeno (residual y/o entrante), retrasando las reacciones oxidativas; estos compuestos eliminadores de oxígeno son en su mayoría agentes que reaccionan con el oxígeno para reducir su concentración y entre las estrategias que conducen a incrementar las propiedades de barrera a los gases se incluye su uso, y el óxido ferroso es el más comúnmente usado (Brody *et al.*, 2008). Sustancias con propiedades absorbentes o de eliminación contra moléculas de bajo peso como, además del O₂, el etileno (C₂H₄), son importantes para controlar los procesos fisiológicos durante la poscosecha, y tomar parte en estrategias de envasado activo de alimentos (Trbojevich y Fernández, 2016). El etileno acelera la maduración por aumento de la frecuencia respiratoria en vegetales frescos disminuyendo su vida útil y también acelera el ritmo de la degradación de la clorofila. La remoción de este gas es fundamental para mantener la calidad de frutos climatéricos durante la poscosecha (Coloma *et al.*, 2014). Con el fin de incrementar la vida útil de los productos vegetales frescos y mantener su calidad y frescura, el etileno no solo debe ser eliminado, también un gas de composición óptima debe mantenerse en el empaque dependiendo del tipo de producto. Vegetales frescos, después de la cosecha, mantienen el consumo de oxígeno y liberan el CO₂, y en tal sentido, el empaque activo tiene que ser diseñado tomando en cuenta la tasa de respiración del producto y la permeabilidad del material utilizado (Camacho-Elizondo *et al.*, 2011).

Los productos más populares que se encuentran en el mercado empacados con películas antimicrobianas, son los que utilizan agentes como el dióxido de cloro, etanol y el dióxido de azufre. Estos se impregnan en bolsitas o almohadillas que se ponen en el interior del empaque. Los agentes microbianos se desprenden en forma de vapor, dentro del espacio interior del empaque que contiene a un determinado alimento (Appendini y Hotchkiss, 2002).

Los materiales para envasado antimicrobiano pueden clasificarse en 2 tipos: los que contienen agentes antimicrobianos que migran y entran en contacto con el alimento, y los que son efectivos contra el crecimiento microbiano en la superficie del alimento sin migración de los agentes antimicrobianos hacia el alimento (Brody *et al.*, 2001). En otro sentido, los empaques antimicrobianos se dividen en 2 grupos principales: los biodegradables y los no-biodegradables. La mayoría de los polímeros sintéticos son del último grupo y son mejores candidatos para utilizar en productos diversos, ya que tienen ventajas como menor costo, baja densidad, son inertes, tienen excelente propiedad de barrera, alta fuerza mecánica, transparencia, sellado térmico y tienen una buena impresión (Sung *et al.*, 2013). Por otro lado, actualmente existe una tendencia a la mayor producción de materiales biodegradables, por sus menores efectos sobre el ambiente. Las películas antimicrobianas biodegradables se producen en base a polímeros naturales que tienen propiedades antimicrobianas inherentes, o por la adición de agentes antimicrobianos en los polímeros. Ejemplos de biopolímeros renovables son polisacáridos, proteínas, gomas y lípidos y sus derivados. La mayor parte de la investigación de empaques biodegradables se enfoca en la mezcla de almidones termoplásticos con poliésteres biodegradables como la policaprolactona, ácido poliláctico o poli(ácido láctico), polihidroxitirato, polibutilen-succinato-adipato, otros polibutilenos y poli(hidroxil éster éter). Dentro de los ingredientes biodegradables el ácido poliláctico (PLA, 'poly(lactid acid)') es el polímero más ampliamente utilizado (Sin *et al.*, 2013). Las películas de hidroxipropilmetilcelulosa son insípidas, inodoras, flexibles y transparentes (Bilbao-Sáinz *et al.*, 2010), y de similar forma las películas de almidón. El almidón se utiliza para empaques, ya que puede ser fácilmente fundido en películas comestibles y es la base más frecuente para formar las películas

antimicrobianas, debido a su versatilidad como película comestible. Sin embargo hace falta más investigación para la utilización de otros materiales, ya que el almidón tiene la desventaja de ser muy permeable al vapor de agua (Šuput *et al.*, 2016). Es por esto que se estudian materiales diversos tales como aceites esenciales, mieles y otros biopolímeros. El almidón es un material ampliamente utilizado para fabricar plásticos biodegradables en mezclas con polímeros como el polivinil alcohol o alcohol polivinílico. La mezcla de almidón-polivinil alcohol tiene una funcionalidad más alta debido a su alta compatibilidad química. Hay estudios que informan un buen comportamiento mecánico en estas mezclas y la versatilidad del almidón para mezclarse con diversos compuestos y mejorar o cambiar sus propiedades fisicoquímicas y funcionales (Palma-Rodríguez *et al.*, 2012, Zamudio-Flores *et al.*, 2015). Una película en mezcla con almidón resultó en una mejor resistencia a la humedad y una biodegradación natural evaluada por pérdida de peso que excedió el 50 % después de 50 días (Han *et al.*, 2009). Por lo anterior, Priya *et al.* (2014) probaron películas compuestas de mezclas de almidón de maíz y polivinil alcohol reforzadas, y no reforzadas, con fibra celulósica de *Grewia optiva*, las cuales mostraron actividad antimicrobiana contra las bacterias *Escherichia coli* MTCC 739 y *Staphylococcus aureus* ATCC 43300. Así, Priya *et al.* (2014) demostraron un polímero natural con propiedades antimicrobianas inherentes; es decir, sin adición de ningún antimicrobiano.

Al incorporar agentes antimicrobianos y antioxidantes a los empaques, los alimentos se protegen de forma eficiente ante el crecimiento de microorganismos de deterioro, la migración de humedad y la oxidación de nutrientes. Las películas comestibles se han aplicado mayormente al empaque de nueces, dulces o confites y frutas (Sung *et al.*, 2013). Los agentes antimicrobianos que se incorporan a las películas o a los recubrimientos comestibles,

forman parte de la estructura de la película debido a la interacción con el polímero y el plastificante utilizado. Al estar en contacto con el alimento que se está empacando, se espera que el agente antimicrobiano migre a la superficie del mismo o que actúe desde la película. La difusión del agente depende del tipo de polímero utilizado, del plastificante y del proceso de elaboración de la película. Además las características del alimento, como su pH y actividad de agua influyen mucho, así como las condiciones de temperatura y humedad en las que este se almacena (Lin y Zhao, 2007).

Las sustancias naturales más ampliamente estudiadas han sido enzimas, la nisina, ácidos orgánicos, aceites esenciales y sus derivados (Cagri *et al.*, 2004; Oussalah *et al.*, 2006; Andrade-Molina *et al.*, 2013). En vez de mezclar los compuestos antimicrobianos directamente en los alimentos, el incorporarlos en películas permite conferir el efecto funcional de actuar directamente en la superficie del alimento, donde ocurre más probablemente la contaminación. Los empaques antimicrobianos tienen aditivos que se liberan lentamente en la matriz alimentaria, previniendo así el crecimiento microbiano. Su incorporación en el empaque también puede evitar la oxidación y algunas reacciones de degradación de los alimentos, alargando así su vida útil (Mascheroni *et al.*, 2010).

Desde la edad media, los aceites esenciales han sido ampliamente utilizados para aplicaciones bactericidas, viricidas, fungicidas, antiparasitarias, insecticidas, medicinales y cosméticas; especialmente hoy en día en las industrias farmacéutica, sanitaria, cosmética, agrícola y alimentaria. Debido al modo de extracción, principalmente por destilación de plantas aromáticas, contienen una diversidad de moléculas volátiles tales como terpenos y terpenoides, componentes aromáticos derivados de fenoles y componentes alifáticos. Los aceites esenciales pueden actuar como prooxidantes que afectan las membranas celulares internas y

las organelas como las mitocondrias de las células eucariotas. Se sugiere que los efectos beneficiosos encontrados de los aceites esenciales se deben a los efectos prooxidantes en el nivel celular (Bakkali *et al.*, 2008). Ejemplos de extractos de plantas y aceites esenciales que más ampliamente se incorporan en el envasado de alimentos son linalol, timol, carvacrol, aceite de clavo de olor, cinamaldehído y aceites esenciales de albahaca (Sung *et al.*, 2013). A pesar de lo anterior, el uso de aceites esenciales en la conservación de alimentos podría estar limitado debido a los posibles cambios en las propiedades sensoriales de los alimentos (Sánchez-Gonzales *et al.*, 2011). De ahí la importancia de investigar la función de diversos aceites esenciales como antimicrobianos y su efecto sobre las propiedades sensoriales.

La actividad antimicrobiana de los aceites esenciales depende principalmente de 3 características: el carácter hidrofílico o hidrofóbico, los componentes químicos presentes y el tipo de microorganismo con el que se utilizará. Entre los métodos de evaluación de los aceites esenciales los de contacto directo (que pueden causar alteración en las características sensoriales de los alimentos) han sido, probablemente, los más utilizados (Reyes-Jurado *et al.*, 2014), por ejemplo, pruebas de difusión en disco (en fase sólida) en comparación con pruebas de difusión “en fase vapor” (en fase gaseosa), en las que se crea una atmósfera protectora con mínima alteración sensorial (López *et al.*, 2005).

La inhibición por contacto con vapor de *Aspergillus niger* y *Penicillium digitatum* empleando concentraciones de aceites esenciales de orégano mexicano (*Lippia berlandieri* Schauer), canela (*Cinnamomum verum*) o limoncillo (*Cymbopogon citratus*) añadidos a películas comestibles de amaranto, quitosano o almidón fue evaluada por Avila-Sosa *et al.* (2012); la actividad antifúngica fue evaluada mediante la determinación del crecimiento radial de los mohos en agar

inoculado con las especies fúngicas luego de la exposición a vapores de los aceites esenciales añadidos a las películas. Las películas con quitosano fueron más efectivas inhibiendo a *A. niger* con 0,25 % de aceites esenciales de orégano mexicano y canela, y a *P. digitatum* con 0,50 %. La información sobre la eficiencia de películas conteniendo aceite esencial de orégano en contra de fitopatógenos, en fase de vapor, es escasa, aunque promisoría (Pola *et al.*, 2016). No existe un ensayo estándar para evaluar la inhibición microbiana por contacto con vapor de aceites esenciales; no obstante, algunos métodos han sido documentados por diferentes autores (Kloucek *et al.*, 2012).

Se realizaron pruebas a películas de almidón de yuca-gelatina a las que se les incorporó uno de 3 aceites esenciales, a saber orégano, clavo de hoja y corteza de canela. Se incorporaron en una proporción 1:0,25 (polímero:aceite). Los hongos *Colletotrichum gloeosporoides* (que se desarrolla en las naranjas “Valencia”) y *Fusarium oxysporum f.sp. gladiolo* se utilizaron para determinar la capacidad antimicrobiana de estas películas con diferentes aceites esenciales. Se encontró que la película con aceite de canela fue mucho más efectiva contra el *F. oxysporum f.sp. gladiolo*, mientras que la película con aceite de clavo lo fue contra el *C. gloeosporoides* (Acosta *et al.*, 2014).

Şuput *et al.* (2016) en la caracterización de películas comestibles basadas en almidón añadieron 2 aceites esenciales: uno de comino negro y otro de orégano en contenidos de 0,5; 1,0 y 2,0 %. El ensayo de difusión en disco se utilizó para examinar la actividad antimicrobiana contra *E. coli* ATCC 25922, *Listeria monocytogenes* ATCC 19111 y *Salmonella typhimurium* ATCC 14028. Se demostró que el aceite esencial de orégano fue más eficaz que el aceite de comino negro contra bacterias Gram positivas, aunque también hubo efecto sobre las bacterias Gram negativas a concentraciones de 1,0 y 2,0 % de aceite esencial de orégano.

Cano *et al.* (2016a) evaluaron la actividad antibacteriana (*Listeria innocua*, *E. coli*) y antifúngica (*Aspergillus niger*, *Penicillium expansum*) en una película de almidón-polivinil alcohol con aceite esencial de orégano y aceite de neem a las concentraciones de 6,7 y 22 g/100 g de sólidos, donde la película con aceite esencial de orégano a 6,7 g/100 g mostró efecto antibacteriano, mientras el efecto antifúngico se observó a mayor concentración.

A una película de almidón de maíz se le incorporó aceites esenciales de *Zataria multiflora* Boiss o *Mentha pulegium* en 3 niveles (1, 2 y 3 % v/v) como antimicrobianos contra *S. aureus* ATCC 25923 y *E. coli* ATCC 25922, usando la metodología de difusión en disco. Los aceites esenciales demostraron actividad antimicrobiana contra los microorganismos estudiados. Los efectos fueron mayores para el aceite de *Z. multiflora*, aunque el aceite de *M. pulegium* también produjo un efecto (Ghasemlou *et al.*, 2013).

Maizura *et al.* (2007) utilizaron almidón de sagú (*Metroxylon sagu*) parcialmente hidrolizado con enzimas, alginato de sodio, glicerol y aceite de zacate de limón o limoncillo (*Cymbopogon citratus*) para desarrollar una película comestible y midieron su actividad antimicrobiana contra *E. coli* O157:H7. Esta película fue efectiva como antimicrobiana contra *E. coli*, sobre todo con presencia de glicerol.

Du *et al.* (2009) encontraron mayor actividad antimicrobiana contra *E. coli* O157:H7, *Salmonella enterica* y *L. monocytogenes* en una película basada en puré de tomate con inclusión de aceite esencial de orégano.

También es importante confirmar la buena interacción entre la matriz polimérica y el antimicrobiano, de manera que se logre reducir en parte la pérdida de este compuesto por volatilización hacia el entorno. Rodríguez *et al.* (2014) ensayaron películas de acetato de etilo con cinamaldehído y con timol, como

antimicrobianos, y se encontró que el cinamaldehído fue el que mayor inhibición presentó contra el crecimiento de *E. coli* y *L. innocua*. Además, se encontró que un 25 % se perdió durante el proceso de extrusión y un 40 % del contenido inicial al cabo de 65 días; sin embargo, a pesar de estas reducciones las películas poseían una concentración mínima inhibitoria (CMI).

Las pruebas anteriores se hicieron en difusión por agar (en disco), donde se observó si había o no halo de inhibición. Sin embargo, es interesante revisar aplicaciones en alimentos. Arancibia *et al.* (2014b) aplicó la película sin y con un aceite esencial de clavo (*E. caryophyllata*) en concentración de 3 % (w/w) a plátanos (*Musa acuminata*) y midieron la inhibición en el crecimiento del hongo *Fusarium oxysporum*, que es uno de los que más pérdidas produce en las plantaciones. La película con el aceite esencial de clavo inhibió el hongo 6 veces más que la película sin aceite esencial. Mientras que, cuando se agregó aceite esencial de tomillo a películas elaboradas con quitosano o con metilcelulosa, que se usó para recubrir trozos de salmón que se conservó en refrigeración o congelación, no hubo un efecto sobre los recuentos de aerobios mesófilos y coliformes. En muestras inoculadas con *L. innocua*, las películas con quitosano provocaron un descenso significativo en el recuento ($p < 0,05$), que se vio limitado por la incorporación del aceite de tomillo (van Beest *et al.*, 2014). También Supardan *et al.* (2016) usaron aceite esencial en películas que aplicaron a carne de res congelada. Para ello utilizaron almidón de yuca con aceite esencial de limoncillo (*C. citratus*), que básicamente está compuesto de citral que, a su vez, es una mezcla de 2 aldehídos monoterpenos. La incorporación de películas con aceite de limoncillo llevó a una reducción en el contenido bacteriano de la carne en comparación con las muestras recubiertas sin el aceite esencial. Los resultados sugieren que las películas que contienen aceite de limoncillo pueden prolongar la vida útil de

los alimentos. Selvadharshini *et al.* (2016) prepararon una película comestible a base de almidón de sagú, harina de soya y extracto etanólico de hojas secas de curry (*Murraya koenigii* (L.) Spreng.). El extracto etanólico de las hojas de curry fue utilizado para determinar la CMI contra *E. coli* K12 y *Salmonella typhi* usando el método de difusión en agar. Se aplicó la cantidad de extracto a la película con poder antimicrobiano y se sumergieron zanahorias precortadas en la solución que se dejaron secar (recubrimiento) y se colocaron en pequeñas bolsas hechas con la película. Se almacenaron por 5 días a temperatura ambiental y a temperatura de refrigeración. Se demostró que esta película comestible aumentó la vida útil de las zanahorias entre un 70 y 80 %.

Los derivados de productos de las abejas están siendo investigados como inhibidores microbianos. La miel, el propóleo y la jalea real poseen compuestos fenólicos que pueden ser antimicrobianos (Viuda-Martos *et al.*, 2008). El propóleo es una sustancia resinosa natural recogida por abejas (*Apis mellifera*) a partir de yemas de hojas de diferentes especies de árboles y puede considerarse como una mezcla compleja de sustancias químicas, cuya composición depende de los componentes del material vegetal y el tiempo de recolección. Por lo general, contiene resinas (50 %), compuestas de flavonoides y ácidos fenólicos, ceras (hasta 30 %), aceites esenciales (10 %), polen (5 %) y diversos compuestos (5 %) como hierro y cinc, vitaminas (B1, B2, B3 y B6), ácido benzoico, ácidos grasos, ésteres, cetonas, lactonas, quinonas, esteroides y azúcares, así como pigmentos naturales tales como clorofila y carotenoides. Su color varía de amarillo-verde a marrón oscuro dependiendo de su fuente y edad (Juliano *et al.*, 2007). El propóleo es conocido por sus propiedades biológicas y sus actividades antibacterianas, antimicóticas, antioxidantes y antivirales. La actividad antibacteriana del propóleo se atribuye principalmente a los flavonoides y ácidos fenólicos, y su mecanismo de acción puede

explicarse como la alteración de la permeabilidad de la membrana y la inhibición de la síntesis de proteínas por la actividad sinérgica entre los compuestos fenólicos y otros (Mirzoeva *et al.*, 1997; Koo *et al.*, 2000; Cabral *et al.*, 2009). de Araújo *et al.* (2015) encontraron actividad antimicrobiana contra *S. aureus* y *E. coli* en una película de almidón de yuca con extracto etanólico de propóleo.

Velásquez *et al.* (2014) estudiaron los extractos etanólicos de 2 mieles de abeja y 1 polen endémicos de Chile y encontraron que poseían actividad antimicrobiana contra *E. coli* ATCC-25922, *S. aureus* ATCC-25923 y *Salmonella* spp. Estos extractos no fueron utilizados en películas, sino inoculados en agar para observar el halo de inhibición de cada microorganismo estudiado.

El quitosano es ampliamente estudiado debido a algunas propiedades interesantes tales como que es polímero natural derivado de la desacetilación de la quitina, no tóxico, con capacidad para formar películas y es biodegradable (Torlak y Nizamlioglu, 2011). Además, el quitosano tiene propiedades antimicrobianas inherentes y es capaz de inhibir el crecimiento de una amplia gama de patógenos alimentarios. Sin embargo, debido a la pobre solubilidad del quitosano a alto valor de pH, su aplicación es solamente eficaz en medio ácido (Sung *et al.*, 2013). El quitosano además de mejorar las propiedades mecánicas de películas basadas en almidón puede, como se señaló, inferir propiedad antimicrobiana (Arifin *et al.*, 2016). El quitosano con incorporación de aceite esencial y extracto funcional de clavo (*Eugenia caryophyllata*) como agente antimicrobiano en la elaboración de películas, ha mostrado actividad antibacteriana. (Hernández-Ochoa *et al.*, 2011). El efecto antimicrobiano del quitosano ocurre sin migración de agentes activos, no se difunde, por ejemplo, a través del agar en ensayos de difusión para la determinación de la CMI y la concentración mínima bactericida (CMB), por lo que solo los microorganismos en contacto

directo con los sitios activos del quitosano son inhibidos (Hosseini *et al.*, 2008).

Arancibia *et al.* (2014c) utilizaron los residuos del camarón o langostino (*Litopenaeus vannamei*) de los que se obtuvo quitosano y un concentrado proteico. Estos se incorporaron a películas cuyas propiedades antimicrobianas se probaron por el método de difusión en agar en flora del deterioro de pescado: *E. coli* CECT 515, *L. monocytogenes* CECT 4032, *Photobacterium phosphoreum* CECT 4192 y *Pseudomonas fluorescens* CECT 4898. La presencia del concentrado proteico incrementó significativamente la actividad antimicrobiana de las películas de quitosano para la totalidad de los microorganismos seleccionados, lo cual pudo deberse a que el concentrado proteico puede contener péptidos biactivos. Perdones *et al.* (2014) estudiaron un quitosano de bajo peso molecular al 1 % (p/p) junto con aceite de colza o pescado para medir el efecto antimicrobiano de una película. Para ello utilizaron *L. monocytogenes* CIP 82110, en un alimento modelo. Las películas mostraron un efecto bacteriostático, incluso bactericida durante el almacenamiento (en refrigeración). El aceite de colza no afectó el poder antibacteriano de la película mientras que el aceite de pescado lo disminuyó. Películas compuestas de quitosano, almidón de 'kudzu' (*Pueraria lobata*) y ácido ascórbico se disolvieron en ácido málico, ácido acético y ácido láctico, y se le realizaron pruebas antibacterianas usando *E. coli* y *S. aureus* por medio de cultivo líquido. Se logró demostrar que las películas compuestas tienen una acción inhibitoria sobre *E. coli* y *S. aureus*, especialmente la película hecha con quitosano, almidón de 'kudzu' y ácido málico (Song and Cheng, 2014).

La ϵ -polilisina es un homopolipéptido con acción antimicrobiana que se le atribuye a su naturaleza policatiónica y a la superficie activa que permite su interacción con las membranas bacterianas (Ho *et al.*, 2000). El antimicrobiano es eficaz contra las principales bacterias patógenas alimentarias Gram positivas

y Gram negativas, incluyendo *L. monocytogenes*, *E. coli* O157:H7 y *Salmonella* Typhimurium (Geornaras *et al.*, 2007). Uysal-Ünalán *et al.* (2011) ensayaron con polilisina en películas con proteína de suero, alginato, zeína y quitosano. La actividad antimicrobiana de películas de proteína de suero incorporadas con 175 o 350 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ de polilisina no mostraron actividad antimicrobiana sobre *E. coli*. Sin embargo, se observó un efecto antimicrobiano sobre esta bacteria cuando la concentración de polilisina aumentó a 700 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. A pesar de ello, los resultados obtenidos en este estudio mostraron que la polilisina presentó un mejor comportamiento antimicrobiano en zeínas (prolaminas de maíz) que en películas con proteínas de suero de leche, alginato y quitosano.

Se utilizan también algunas enzimas como antimicrobianos en películas. Tal es el caso de la lisozima que se extrae de la clara del huevo, y que es menos eficaz para bacterias Gram negativas debido a la capa de lipopolisacárido existente en la pared celular de estas bacterias. Las bacterias Gram positivas son muy susceptibles a la lisozima, debido a que su membrana está formada por 90 % de péptidoglicano en donde tiene lugar la hidrolización del enlace glicosídico β -1-4 entre el ácido N-acetilmurámico y la N-acetilglucosamina. Mediante la adición de ácido etilendiaminotetraacético disódico (Na_2EDTA), las películas también se hacen efectivas contra bacterias Gram negativas, *E. coli* (ATCC 53868) (Sung *et al.*, 2013).

Además de los compuestos antimicrobianos extraídos de plantas, animales y aceites esenciales, hay otros compuestos provenientes de bacterias llamados bacteriocinas y que están ganando popularidad debido a su resistencia a altas temperaturas y ambientes ácidos. La bacteriocina es un subproducto metabólico (péptido antimicrobiano) producido por el sistema de defensa de casi todos los tipos de bacterias. Esta actividad que ocurre naturalmente permitió

que las bacterias de una cepa inhibieran el crecimiento de otras cepas adyacentes. La bacteriocina producida por las bacterias lácticas tiene una gran aceptación por parte del público, ya que las bacterias lácticas han sido importantes para la fermentación de alimentos durante siglos. La nisina, producida por la bacteria *Lactococcus lactis*, comúnmente presente en la leche, es catalogada por la Administración de Alimentos y Fármacos (FDA, 'Food and Drug Administration') como un antimicrobiano "Generalmente Reconocido como Seguro" (GRAS, 'Generally Recognized as Safe') y es empleada comercialmente para la conservación de alimentos (Sung *et al.*, 2013). Las bacteriocinas, como la nisina, enterocinas A y B, enterocina 416K1, sakacina y pediocina AcH, han demostrado ser capaces de controlar la proliferación de *L. monocytogenes* en alimentos artificialmente contaminados (Iseppi *et al.*, 2008).

Además de los extractos de plantas, de animales y bacterias hay otros materiales que han ganado popularidad recientemente, ya que se les atribuye una buena estabilidad de estos materiales para soportar duras condiciones, tales como altas presiones o temperaturas, en el proceso de fabricación de empaques. Estas se conocen como nanopartículas. A continuación se presentará información sobre nanopartículas inorgánicas que tienen capacidad antibacteriana.

1.1.- Nanotecnología

Las sustancias antibacterianas son capaces de matar bacterias (bactericidas) o inhibir el crecimiento microbiano (bacteriostáticas) (Trbojevich y Fernández, 2016). El desarrollo de materiales nanoestructurados con nanopartículas metálicas es ampliamente usado para minimizar el crecimiento de microorganismos, y por otra parte, las nanoarcillas, usadas para mejorar las propiedades mecánicas de nanocompuestos, también han demostrado actividad antimicrobiana

(nanoarcillas modificadas orgánicamente) (Abreu *et al.*, 2015). Entre las sustancias antimicrobianas, partículas a nanoescala basadas en metales (Fig. 2) son poderosos agentes antimicrobianos que poseen gran relación área de superficie/volumen y propiedades antimicrobianas que aún no son completamente entendidas (Trbojevich y Fernández, 2016).

La plata iónica tiene propiedades biocidas contra una amplia gama de microorganismos Gram-positivos, Gram-negativos, mohos, levaduras y virus. *Staphylococcus aureus* presenta baja resistencia contra los iones de plata (Deurenberg y Stobberingh, 2008; Trbojevich y Fernández, 2016).

Fernandes *et al.* (2014) evaluaron la CMI y la CMB de nanopartículas de plata sobre bacterias Gram-positivas (*S. aureus* ATCC 6538 y *Enterococcus faecalis* ATCC 51299) y Gram-negativas (*Escherichia coli* ATCC 11229 y *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442). Estos autores encontraron que la CMI y CMB de las nanopartículas, respectivamente, fueron 6,25 y 25 µg/mL, tanto para *E. coli* como para *P. aeruginosa*. Para *S. aureus* y *E. faecalis* la CMI fue 50 µg/mL, y no observaron efecto bactericida para estas bacterias. Kora y Arunachalam (2011), en ensayo de actividad antibacteriana de nanopartículas de plata, informaron un valor menor de CMI para *P. aeruginosa* (2 µg/mL).

Las nanopartículas de plata tienen mayor efecto bactericida sobre las bacterias Gram-negativas que sobre las bacterias Gram-positivas, y las diferencias se deben a la estructura de sus respectivas paredes celulares. Las bacterias Gram-negativas tienen una capa de lipopolisacárido en el exterior, seguida por debajo de una capa delgada (≈ 7-8 nm) de peptidoglicano y aunque los lipopolisacáridos están compuestos de lípidos unidos covalentemente y polisacáridos, carecen de resistencia y rigidez; las cargas negativas en los lipopolisacáridos son atraídas hacia débiles

cargas positivas disponibles en las nanopartículas de plata. Por otra parte, la pared celular en las bacterias Gram-positivas está compuesta principalmente de una capa gruesa (≈ 20-80 nm) de peptidoglicano, que consiste en cadenas de polisacáridos lineales entrecruzados por péptidos cortos para formar una estructura tridimensional rígida; la rigidez y el entrecruzamiento extendido, no solo dotan a las paredes celulares con menos sitios de anclaje para las nanopartículas de plata, sino que también dificultan la penetración (Shrivastava *et al.*, 2007).

La plata puede ser incorporada en polímeros basados en quitosano, celulosa, agar-agar (Rhim *et al.*, 2006) y almidón (Božanić *et al.*, 2011; Ji *et al.*, 2016), entre otros.

Resultados obtenidos por del Nobile *et al.* (2004) sugirieron que la propuesta de una película activa nanocompuesta que contenía plata, podría ser usada exitosamente para inhibir o reducir el crecimiento de *Alicyclobacillus acidoterrestris* (microorganismo termorresistente responsable del deterioro de bebidas ácidas).

Películas de almidón con incorporación de nanopartículas de plata han mostrado fuerte actividad antimicrobiana contra los patógenos *E. coli*, *S. aureus* y *Candida albicans* (Božanić *et al.*, 2011; Ji *et al.*, 2016). Cano *et al.* (2016b) desarrollaron películas basadas en almidón/alcohol polivinílico con nanopartículas de plata y caracterizaron sus propiedades antimicrobianas contra las bacterias *L. innocua*, *E. coli* y los hongos *A. niger* y *P. expansum*. Las películas exhibieron actividad antimicrobiana contra los microorganismos probados y la actividad fue limitada por el comportamiento de liberación de la plata; dependiente de la concentración de nanopartículas.

La actividad antimicrobiana es fuertemente dependiente del tipo de partícula de plata. Shankar *et al.* (2016) en la preparación de películas basadas en alginato y reforzadas con 5 diferentes tipos de partículas de plata

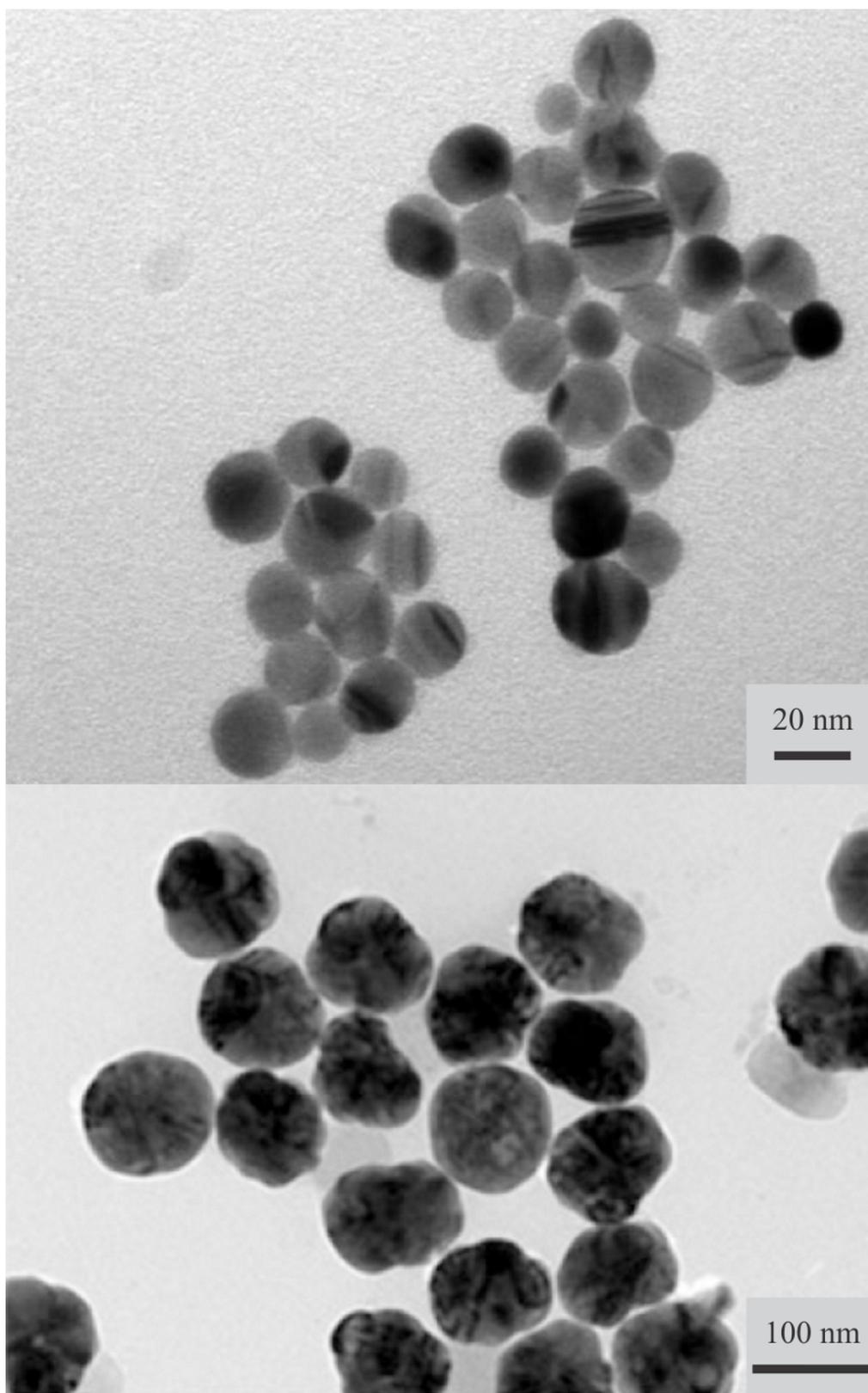


Figura 2.- Nanopartículas de plata de diferentes tamaños (Belluco *et al.*, 2016; Jo *et al.*, 2016).

(nanopartículas de plata reducidas con citrato, zeolita con plata, nitrato de plata, nanopartículas de plata ablacionadas con láser y plata metálica), evaluaron la actividad antibacteriana en términos de la CMI y la CMB de las especies *E. coli* y *L. monocytogenes*; y los efectos en las propiedades antimicrobianas de las películas compuestas mediante el método de conteo total de colonias. En las películas, las nanopartículas de plata reducidas con citrato, zeolita con plata y nitrato de plata exhibieron potente actividad antibacteriana contra las 2 bacterias patógenas y fue mayor contra la bacteria Gram-negativa (*E. coli*) que contra la bacteria Gram-positiva (*L. monocytogenes*), mientras que, las nanopartículas de plata ablacionadas con láser y la plata metálica no mostraron actividad antibacteriana distintiva contra ambos microorganismos. La baja actividad antibacteriana en las películas reforzadas con nanopartículas de plata ablacionadas con láser y con plata metálica fue, a criterio de los autores, presumiblemente porque las nanopartículas de plata ablacionadas con láser fueron cubiertas con la solución de polivinilpirrolidona (usada como agente estabilizante para las partículas de plata ablacionadas) para interactuar con el alginato, lo que impidió la oxidación de las nanopartículas a la forma de iones plata, y a que la plata metálica no fue oxidada para liberar iones plata.

Belluco *et al.* (2016a) evaluaron la cinética de crecimiento *in vitro* de 21 diferentes cepas de *L. monocytogenes* (aisladas de diferentes matrices alimentarias) en presencia de nanopartículas de plata y plata en forma iónica (nitrato de plata); previamente, los autores realizaron pruebas de susceptibilidad con 15 antibióticos en las que no observaron diferencias entre las cepas (Belluco *et al.*, 2016b). Los resultados mostraron que ambas formas químicas de plata ejercían actividad antimicrobiana y, por lo tanto, debían considerarse adecuadas para su uso como biocida contra *L. monocytogenes*. Sin embargo,

el efecto inhibitorio fue diferente, la inhibición de *L. monocytogenes* con nanopartículas de plata fue más lenta en comparación con el AgNO_3 , y el retardo pudo haber sido causado por la liberación gradual de iones de plata de las nanopartículas de plata, y no por la susceptibilidad de las cepas. En otro trabajo (Losasso *et al.*, 2014), sobre la efectividad de nanopartículas de plata como antimicrobianos frente a serovariedades de *Salmonella* (Enteritidis, Hadar, Senftenberg) también fue observada mayor actividad del AgNO_3 en comparación con las nanopartículas de plata, lo que sugirió que los iones son más efectivos para ejercer actividad antibacteriana. Cabe destacar, que a diferencia de los resultados de Belluco *et al.* (2016a), el tratamiento con nanopartículas de plata redujo los recuentos de *Salmonella* pero fueron dependientes del serotipo, ya que se observaron grandes diferencias en términos de dosis efectiva y tiempo de acción para las 3 serovariedades investigadas (diferentes mecanismos de resistencia de las cepas); y por otro lado, la eficacia de las nanopartículas contra todas las cepas de *Salmonella* fue solo durante un corto período de tiempo, lo que sugirió la capacidad del patógeno para sobrevivir en presencia de nanopartículas de plata; aspecto a tomar en cuenta en la aplicación propuesta. En el trabajo de Losasso *et al.* (2014) se utilizó un solo tipo de nanopartícula de plata, pero la actividad biológica de las nanopartículas no solo depende del tipo de partícula, como fue demostrado por Shankar *et al.* (2016), sino además del tamaño y la forma.

Morones *et al.* (2005) estudiaron el efecto de nanopartículas de plata en el intervalo de 1 a 100 nm en bacterias Gram-negativas y sus resultados indicaron que las propiedades bactericidas de las nanopartículas dependen del tamaño. Las únicas nanopartículas que presentaron interacción directa con las bacterias preferentemente tuvieron un diámetro de ≈ 1 a 10 nm, y entre las causas del efecto bactericida identificaron que en el intervalo 1-10 nm, las

nanopartículas atacan la superficie de la membrana celular perturbando las funciones de permeabilidad y respiración, penetran dentro de la bacteria causando más daño, además de la liberación de iones plata como contribución adicional al efecto bactericida. En tal sentido, la actividad antibacteriana puede ser modificada con el tamaño de las nanopartículas de plata, y disminuye con el incremento del tamaño de partícula (Martínez-Castañón *et al.*, 2008). Con relación a la forma, Pal *et al.* (2007) investigaron las propiedades antibacterianas de diferentes formas de nanopartículas de plata contra la bacteria Gram-negativa *E. coli* y encontraron que, nanoplacas de plata de forma triangular truncada con un plano {111} de celosía como plano basal, mostraron mayor acción biocida en comparación con nanopartículas esféricas y en forma de barra.

La actividad biocida potencial del cobre es baja comparada con la plata. Ha sido mostrado que 10 mg Cu⁺²/kg en agua fueron necesarios para matar 10⁶ células de *Saccharomyces cerevisiae*. El cobre se oxida fácilmente debido al pequeño potencial redox de Cu⁰/Cu⁺², y es posible observar la actividad antimicrobiana de nanopartículas de cobre también en contacto con matrices alimentarias (Trbojevich y Fernández, 2016).

Ciertos materiales, como el dióxido de titanio (TiO₂), son bloqueadores del etileno y presentan utilidad para desacelerar la evolución climática en frutos (Trbojevich y Fernández, 2016). Nanopartículas de TiO₂ en combinación con nanopartículas de plata se utilizan en la fabricación de contenedores comerciales para envasado de alimentos y se etiquetan como contenedores con “efecto antibacteriano” (Metak, 2015).

La actividad antibacteriana de nanopartículas de TiO₂ contra *E. coli* y *S. aureus* ha sido informada por Saraschandra *et al.* (2013). Cabe destacar, una aplicación del TiO₂ nanonizado en el procesamiento de alimentos, que fue ensayada contra *L. monocytogenes*, y que consiste en reducir los

riesgos asociados mediante la colocación de delgadas películas nanoestructuradas de TiO₂ sobre superficies de acero inoxidable y vidrio (Chorianopoulos *et al.*, 2011).

La actividad antimicrobiana de nanopartículas de ZnO se atribuye a varios factores, tales como, ruptura de la pared celular, pérdida del contenido citoplasmático y estrés oxidativo (Trbojevich y Fernández, 2016), y la capacidad antimicrobiana ha sido atribuida a la presencia de iones Zn⁺² (Kasemets *et al.*, 2009). No obstante, los iones Zn⁺² tienen implicaciones metabólicas diferentes, y esto podría ser responsable de diferencias observadas en el umbral en que se produce el efecto antimicrobiano de las nanopartículas de ZnO. El efecto inhibitorio ha sido observado en *E. coli* y *S. aureus* (Li *et al.*, 2009). La adición de las nanopartículas de cinc en películas de polietileno de baja densidad ha mostrado reducción en la tasa de crecimiento de *Lactobacillus plantarum* (Emamifar *et al.*, 2011).

Numerosas películas de envases y bolsas se basan en la capacidad de ciertos minerales que eliminan el etileno, tales como las zeolitas, arcillas o nanoarcillas, en mezcla con el polímero (normalmente de polietileno) finamente dispersos en polvo, aumentando la vida útil. La adición de zeolitas a los materiales poliméricos en forma dispersa, además de proporcionar absorción de etileno, también sirve para controlar la concentración de CO₂ en el empaque (Camacho-Elizondo *et al.*, 2011). Las zeolitas presentan propiedades de absorción selectiva (Munizza *et al.*, 2007), son químicamente estables y pueden ser modificadas con iones metálicos o con nanopartículas metálicas (Coloma *et al.*, 2014). En su estructura cristalina, el mineral zeolita contiene iones de sodio (Na⁺) que pueden ser sustituidos por otros iones metálicos, por ejemplo, el ión plata (Ag⁺), para formar Ag-zeolita y ser utilizado en películas antimicrobianas basadas en la adhesión de partículas Ag-zeolita en superficies laminadas

en contacto con alimentos (Brody *et al.*, 2001). Belibi *et al.* (2013) y Nsom *et al.* (2015) han experimentado la preparación de películas compuestas de almidón de yuca (*Manihot esculenta*) reforzadas con nanocristales de zeolita Beta y con beidellita-Na, y en el caso de Nsom *et al.* (2015), además, la posible sustitución del almidón de yuca por almidón de malanga (*Colocasia esculenta*); y por otro lado, películas de almidón/zeolita han sido usadas como recubrimiento en frutos de guayaba (*Psidium guajava*) por Bessa *et al.* (2015).

Pruebas bacteriostáticas realizadas con nanocompuestos basados en zeolitas (tamaño micrométrico) y nanozeolitas (tamaño nanométrico) activadas con cobre metálico, y dispersas en el biopolímero poli(ácido láctico), han mostrado similares propiedades antibacterianas en la reducción del crecimiento de *E. coli* y *S. aureus*. La presencia de cobre promueve el efecto antibacteriano (Bendahou *et al.*, 2015).

Bruna *et al.* (2014b) evaluaron la actividad antimicrobiana de películas compuestas de poli(ácido láctico)/polietilenglicol, utilizando como agente activo montmorillonita (cloisita Na⁺) modificada con cobre en estado iónico y metálico (Cu⁺² y Cu⁰) en concentraciones de 1, 3, 5 % (Cu⁺² y Cu⁰) y 10 % (Cu⁺²), contra *E. coli* (ATCC25922) y *L. innocua* (ATCC33090) sobre placas con medio Luria-Bertani. Ambas arcillas modificadas inhibieron el crecimiento microbiano en todas las concentraciones y la mayor reducción obtenida fue de 3,54 ciclos logarítmicos para *E. coli* y 4,03 para *L. innocua* al adicionar 10 % (Cu⁺²) de nanocompuesto.

Las películas nanocompuestas con poli (ε-caprolactona) y montmorillonita intercambiada con plata, esta última en contenidos de 2, 3 y 5 % en peso, han mostrado gran eficacia antibacteriana contra *S. aureus*, *E. coli*, *Salmonella enteric* y *P. aeruginosa* (Benhacine *et al.*, 2016). Gutiérrez y Alvarez (2016) elaboraron películas compuestas basadas en almidón, y también en harina, del rizoma de

Canna edulis Ker (una fuente no convencional de almidón) en mezcla con poli (ε-caprolactona) y encontraron que la harina tuvo menor compatibilidad con la poli (ε-caprolactona) comparada con la mezcla almidón/poli (ε-caprolactona).

El acetato de celulosa presenta limitadas propiedades mecánicas, térmicas, de barrera, y para resolver en parte las mismas y con miras a producir películas activas, Pola *et al.* (2016) emplearon montmorillonita (cloisita 30B) y diferentes concentraciones (20, 40 y 60 %) de aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*) para controlar el crecimiento de hongos fitopatógenos (*Alternaria alternata*, *Geotrichum candidum* y *Rhizopus stolonifer*) evaluando mediante pruebas de difusión en disco (en fase sólida) y de difusión “en fase vapor” (en fase gaseosa). En fase sólida, el hongo más susceptible fue *A. alternata*, seguido de *G. candidum* y *R. stolonifer*, para este último la concentración de 20 % de aceite esencial de orégano no fue efectiva. En fase gaseosa, todos los microorganismos fueron inhibidos independientemente de la concentración de aceite esencial de orégano. Cloisita 30B no influyó la actividad antimicrobiana en ninguna de las 2 pruebas de difusión.

Yang *et al.* (2016a) observaron que películas activas elaboradas con poli(ácido láctico) y adición de nanocristales de celulosa y nanopartículas de lignina (como nanorrellenos) no inhibieron el crecimiento de *Xanthomonas axonopodis* pv. *vesicatoria* and *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* al inicio de los ensayos pero si a lo largo del tiempo; y en otros ensayos antimicrobianos realizados a películas elaboradas con alcohol polivinílico/quitosano y adición de nanopartículas de lignina, estos revelaron capacidad para inhibir el crecimiento bacteriano de *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* y *X. arboricola* pv. *pruni* a través del tiempo (Yang *et al.*, 2016b). Existen diferencias en la acción de diversos compuestos contra diversas bacterias que afectan la resistencia o susceptibilidad de las bacterias en

razón del perfil químico, como también, diferencias por causa de la morfología bacteriana la cual desempeña un rol importante; el efecto de un compuesto puede tardar cierto tiempo para que el daño a las células se convierta en bactericida (Moreira *et al.*, 2016).

La eficacia antimicrobiana de películas producidas con almidón de yuca reforzadas con nanocrisales de celulosa (extraída de hojas de una palmera) y activadas con extractos alcohólicos de propóleo rojo, fue evaluada por Costa *et al.* (2014) monitoreando el uso de las películas en queso “cuajada” contra *Staphylococcus* coagulasa positivo. Los resultados reflejaron, por una parte, que los nanocrisales de celulosa redujeron la actividad de agua y la permeabilidad al vapor de agua, lo cual es importante en el control del crecimiento microbiano, y por otra parte, el número de unidades formadoras de colonias indicó que el extracto alcohólico de propóleo rojo en las películas tuvo actividad inhibitoria en contra del microorganismo evaluado. El propóleo es una sustancia resinosa recolectada por las abejas de varias partes de las plantas, rico en flavonoides, ácidos fenólicos y de alta actividad biológica que incluye la antimicrobiana (Thomas *et al.*, 2016).

Sobre la utilización de ciertas nanopartículas en el envasado, hay aspectos concernientes a su toxicidad (riesgo para la salud) y ecotoxicidad (problemas de medioambiente); al respecto, Oropeza-González *et al.* (2016) recopilaron información inherente a los plásticos. Pruebas microbiológicas (conteo total microbiano, *Pseudomonas* spp. y Enterobacteriaceae) realizadas durante el envasado de albóndigas de pollo en recipientes comerciales, bolsas plásticas que contenían nanopartículas y que no las contenían, no mostraron diferencias relevantes; este resultado destacó la importancia de evitar el uso injustificado de nanopartículas y su posible impacto negativo en el medioambiente (Gallochio *et al.*, 2016) y la salud humana. Las nanopartículas por sí

mismas pueden ejercer actividades biológicas tales como la modulación del estrés oxidativo (Zhou *et al.*, 2011) y la regulación de los procesos angiogénicos (Jo *et al.*, 2012). Una adecuada evaluación de la toxicidad de las nanopartículas es necesaria. La evaluación meticulosa y titulación de la dosis para la aplicación segura debe preceder la investigación sobre la eficacia de las nanopartículas, al igual que en el caso de los productos químicos; y al mismo tiempo, los investigadores deben evitar la sobreestimación de la toxicidad de las nanopartículas con concentraciones excesivamente altas (Jo *et al.*, 2016).

La plata administrada oralmente se absorbe entre un 0,4 y 18 % especialmente en el intestino y estómago. Se excreta vía biliar y urinaria. Se ha encontrado toxicidad en animales que dependiendo de la dosis provocan muerte, pérdida de peso, hipoactividad, alteración de los niveles de neurotransmisores, alteración de enzimas hepáticas, valores en sangre alterados, aumento del tamaño del corazón y efectos inmunológicos. El nivel de uso de la plata en humanos se ha encontrado entre 0,007 a 0,5 ug/kg de peso corporal por día y se considera que la ingesta diaria tolerable puede ser de 2,5 µg/kg de peso corporal por día (Hadrup y Lam, 2014). Específicamente, al ser las nanopartículas de plata tan pequeñas en pequeñas concentraciones son más efectivas que la solución coloidal a concentraciones más altas y puede absorberse en los ambientes celulares. Las nanopartículas de plata mostraron efectos tóxicos intensos en la proliferación y expresión de citoquinas por las células periféricas mononucleares de la sangre, a niveles de 15 mg/kg. La exposición prolongada a la plata causa enfermedades como argiria (coloración azul grisácea de la piel) y argiriosis (pigmentación en los tejidos oculares), hipertensión, diabetes, reflujo gastrointestinal, hipertrofia prostática benigna y podría acumularse en la retina. Se considera que podrían haber otras lesiones que generen

nuevas enfermedades asociadas con nanopartículas y específicamente nanopartículas de plata (Panyala *et al.*, 2008).

2.- Películas con actividad antioxidante

La demanda de envases activos antioxidantes de origen natural se ha incrementado debido a las ventajas en comparación a la adición directa de antioxidantes a los alimentos, y a esto se suma el interés en el envasado activo biodegradable/compostable y las películas comestibles para reducir el impacto medioambiental, minimizar las pérdidas de alimentos, de contaminantes de la producción industrial y reutilización de subproductos (Sanches-Silva *et al.*, 2014). Asimismo, el envasado activo puede ser usado para mejorar la calidad y estabilidad de alimentos reduciendo la adición de químicos y la necesidad de cambios en la formulación (Gómez-Estaca *et al.*, 2014a).

Compuestos puros como el ácido ascórbico y el α -tocoferol se han utilizado con frecuencia (Eça *et al.*, 2014a). Entre la diversidad de materiales de fuentes vegetales con actividad antioxidante que han sido empleados para la elaboración de películas bioactivas cabe mencionar: extracto de té verde (*Camellia sinensis*), fuente de flavonoides con estatus de aditivo alimentario (López de Dicastillo *et al.*, 2011; Wu *et al.*, 2013) que incluso ha sido acoplado a válvulas desgasificadoras utilizadas en el envasado de alimentos (Carrizo *et al.*, 2014); extracto de cebolla roja (*Allium cepa*), que ha sido incorporado en acetato de celulosa, y utilizando como plastificante citrato de trietilo, para desarrollar un material activo (biocompuesto) destinado al envasado (López de Dicastillo *et al.*, 2015); epicarpios de mango (var. Ataulfo) con y sin pulpa, que contienen compuestos fenólicos y en mayor cuantía en sin pulpa (Arguelles-Piña *et al.*, 2014a; Arguelles-Piña *et al.*, 2014b); extractos de rizomas de cúrcuma

(*Curcuma longa*) que presenta flavonoides y antocianinas que contribuyen a la actividad antioxidante (Eleazu *et al.*, 2015), como aditivo en películas basadas en gelatina (Correa *et al.*, 2014), también en gelatina, las especies *decapetala* y *spinosa* del género *Caesalpinia* (Gallego *et al.*, 2016); extractos de frutos de semeruco (acerola), merey, lechosa (papaya) fresa y pequi (*Caryocar brasiliense*) en películas basadas en pectina, donde las adicionadas con semeruco y merey mostraron mayor actividad antioxidante (Eça *et al.*, 2014b); clavo (*E. caryophyllata*), salvia (*Salvia officinalis*) y orégano (*Origanum vulgare*) en películas con hidroxipropilmetilcelulosa (Ghadermazi *et al.* 2016), también con orégano, el romero (*Rosmarinus officinalis*) en recubrimientos comestibles basados en alginato de sodio (Vital *et al.*, 2016), cabe destacar que el aceite esencial de orégano ha mostrado mejores características como antioxidante que el aceite esencial de comino negro (*Nigella sativa*) en películas comestibles basadas en almidón (Şuput *et al.*, 2016); desechos lignocelulósicos (mazorca de maíz, madera de eucalipto, hollejo o bagazo de uva, cáscara de almendra) en películas de alginato de sodio (Moreira *et al.*, 2016). La compleja estructura polifenólica y numerosos grupos funcionales de la lignina le confieren propiedades antioxidantes, lo que ha permitido su uso en mezclas con diferentes biopolímeros como almidón y gelatina para la elaboración de películas (Aadil *et al.*, 2016). Otras fuentes vegetales (aceites esenciales y/o extractos) incorporadas en la composición de películas, compediadas por Eça *et al.* (2014a) y/o Atarés y Chiralt (2016), son: ajedrea (*Satureja hortensis*), albahaca (*Ocimum basilicum*), bergamota (*Citrus bergamia*), canela (*Cinnamomum zeylanicum*), cedro (*Thuja occidentalis*), cilantro (*Coriandrum sativum*), citronela (*Pelargonium citrosum*), estragón (*Artemisia dracunculus*), hinojo (*Foeniculum vulgare*), jengibre (*Zingiber officinale*), jengibre amargo (*Zingiber montanum*), lavanda

(*Lavandula officinalis*), tomillo (*Thymus vulgaris*) y zataria (*Zataria multiflora*), entre otros.

Micropartículas sólidas lipídicas que contenían ácido ascórbico (una mezcla de ácido láurico y oleico como material portador para encapsular ácido ascórbico) fueron utilizadas por Sartori y Menegalli (2016) como aditivos incorporados en películas basadas en almidón de plátano (*Musa paradisiaca*) inmaduro var. Terra. La microencapsulación protegió la actividad antioxidante del ácido ascórbico durante la elaboración de las películas, actividad que fue retenida hasta en un 84 % después del proceso de secado por spray a que fueron sometidas.

Una película activa basada en almidón de yuca con incorporación de extracto de té verde y colorante comercial extraído del aceite de palma (*Elaeis guineensis*) que contenía α -caroteno (35 %) y β -caroteno (65 %) fue lograda por Perazzo *et al.* (2014), y proporcionó protección oxidativa (disminución del índice de peróxido) a mantequilla. La adición del colorante y el extracto de té verde como fuente de compuestos bioactivos además de mejorar las propiedades antioxidantes, mejoró las propiedades mecánicas y de barrera al vapor de agua de las películas, probablemente por interacción de los grupos funcionales de los compuestos y la reorganización molecular cohesiva, sin embargo, los autores sugirieron el uso de bajas concentraciones de colorante y té, porque altos contenidos pueden actuar como agentes prooxidantes.

El suero de mantequilla, entre otros productos derivados de la fabricación de la mantequilla, presenta actividad antioxidante (Ripollés *et al.*, 2016). En películas basadas en almidón de maíz, Moreno *et al.* (2014) evaluaron la influencia de la incorporación de suero de mantequilla en diferentes proporciones, con y sin tratamiento térmico, y observaron que al incrementar la proporción de suero se presentó inmiscibilidad entre los

componentes, sin embargo, el tratamiento térmico permitió mejor dispersión, y por ende, mayor cohesión, lo que mejoró las propiedades mecánicas y de barrera, además de contribuir a la liberación de componentes antioxidantes.

Arancibia *et al.* (2014c) obtuvieron quitosano y un concentrado proteico a partir de residuos del camarón *L. vannamei* y desarrollaron películas de quitosano y de quitosano-proteína. El quitosano presenta actividad antioxidante (Kim y Thomas, 2007), no obstante, la adición del concentrado proteico incrementó la capacidad antioxidante de la película, hecho que pudo estar relacionado a la presencia de carotenoides o proteína parcialmente hidrolizada en el concentrado proteico. En muestras de salmón fresco picado recubiertas con películas de quitosano y de metilcelulosa, ambas en combinación con aceite esencial de tomillo, las de quitosano han mostrado mayor carácter antioxidante (mejor protección frente al deterioro oxidativo) que las de metilcelulosa (van Beest *et al.*, 2014). Manni *et al.* (2010) determinaron actividad antioxidante en el hidrolizado proteico obtenido durante el aislamiento enzimático de quitina a partir de material de desecho del camarón *Metapenaeus monoceros*. Con relación a *L. vannamei*, Gómez-Estaca *et al.* (2014b) aprovecharon las aguas de lavado obtenidas como subproducto de la elaboración de surimi de este camarón, recuperaron la materia seca (rica en grasa, proteína y con actividad antioxidante) y elaboraron películas basadas en agar.

El epicarpio del aguacate (*Persea americana*) contiene grandes cantidades de compuestos bioactivos con capacidad o actividad antioxidante (Wang *et al.*, 2010; Daiuto *et al.*, 2014). Una película compuesta de almidón de yuca, glicerol, PBAT, tocoferoles y extracto de epicarpio de aguacate, fue desarrollada por Fidelis *et al.* (2015). En el extracto de aguacate se identificaron y midieron los siguientes compuestos antioxidantes: ácido cítrico, hidrato de catequina, ácido málico,

epicatequina y ácido tartárico. La adición de antioxidantes (tocoferoles + extracto de aguacate) redujo los valores de permeabilidad al vapor de agua, al compararse con la película sin antioxidantes (control); y en las películas con solo tocoferoles la reducción del valor de permeabilidad al vapor fue mayor. La hidrofiliidad del almidón de yuca es un importante obstáculo para su aplicación en el envasado y la adición de antioxidantes puede contribuir a mejorar esta característica.

El cultivar 'Chiran Murasaki', una batata (*Ipomoea batatas*) dulce púrpura que se cosecha en áreas tropicales, que además de poseer alto contenido de almidón en sus raíces, posee alto contenido de antocianinas con capacidad antioxidante, fue utilizado por Marsin y Muhamad (2016) para la elaboración de una película comestible usando glicerol como plastificante y κ -carragenina como agente gelificante. Estos autores optimizaron las condiciones de procesamiento para la producción de las películas.

El ácido elálgico es un compuesto fenólico con propiedades anticarcinogénicas que puede interactuar con polisacáridos como agente entrecruzante reteniendo sus propiedades antioxidantes, que ha sido sugerido como agente en presencia de almidones oxidados, caracterizados por la presencia de grupos carboxilos, para obtener películas biodegradables adecuadas de uso en el envasado activo de alimentos o como recubrimiento (Kim *et al.*, 2009; Tirado-Gallegos *et al.*, 2016). Fuentes de ácido elálgico son: las ramas de *Jatropha dioica* (sangre de drago) y de *Euphorbia antisiphilitica* (candelilla), las hojas de *Turnera diffusa* (damiana) y de *Flourensia cernua* (hojasén), como también, la cáscara de *Punica granatum* (granada) (Aguilera-Carbo *et al.*, 2008).

Extracto etanólico de propóleo comercial fue empleado por de Araújo *et al.* (2015) como aditivo en películas elaboradas con almidón de yuca y la capacidad antioxidante de las películas fue proporcional a

la concentración del extracto, que a su vez estuvo asociada con los compuestos fenólicos del extracto; adicionalmente, el propóleo fue extraído de las películas y continuó presentando actividad antioxidante. El propóleo, en su alta actividad biológica, incluye la antioxidante; Thomas *et al.* (2016) utilizaron un extracto etanólico de propóleo comercial incorporándolo en recubrimientos comestibles de almidón de yuca con el objetivo, en parte, de evaluar el mantenimiento e incremento de la actividad antioxidante en fresas (*Fragaria ananassa*), y la adición de propóleo en las concentraciones usadas (33 y 66 % respecto al almidón total) no fue suficiente para mantener o incrementar la capacidad antioxidante de las fresas durante 16 días de almacenamiento refrigerado a que fueron sometidas. Por otro lado, películas basadas en almidón de yuca reforzadas con nanocristales de celulosa y adición de extractos alcohólicos de propóleo rojo, redujeron la oxidación de mantequilla durante el almacenamiento (Costa *et al.*, 2014). Cabe destacar que la composición química del propóleo depende de la parte de la planta, la diversidad de plantas y la distancia recorrida por las abejas para su recolección, entre otros factores; en un mismo apiario, el propóleo en una colmena puede ser diferente respecto al de otras colmenas y estas diferencias conllevan a propóleos con distinta actividad biológica, actividad que sería aún más diferente al comparar entre propóleos de distintos apiarios.

Yang *et al.* (2016a) probaron que utilizando nanopartículas de lignina como nanorrelenos en películas basadas en poli(ácido láctico), estas fueron altamente eficaces en actividad antioxidativa y en combinación con nanocristales de celulosa se generó un efecto sinérgico positivo en la respuesta antioxidativa de las películas; y en otro trabajo, Yang *et al.* (2016b) observaron actividad antioxidante con la adición de nanopartículas de lignina a películas basadas en alcohol polivinílico/quitosano, donde la respuesta antioxidativa se atribuyó a la sinergia entre la lignina y el quitosano.

CONCLUSIONES

Las investigaciones se orientan a sistemas de envasado antimicrobiano con compuestos antimicrobianos extraídos de plantas, principalmente aceites esenciales, además de nanopartículas, principalmente las nanopartículas de plata. La demanda de envases activos antioxidantes de origen natural se ha incrementado y se le suma el interés en el envasado activo biodegradable, en algunos casos películas comestibles, para reducir el impacto medioambiental. El envasado activo ha mejorado la calidad y estabilidad de alimentos con un enfoque en películas biodegradables elaboradas con polisacáridos y otros materiales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aadil, Keshaw Ram; Barapatre, Anand and Jha, Harit. 2016. Synthesis and characterization of *Acacia* lignin-gelatin film for its possible application in food packaging. *Bioresources and Bioprocessing*. 3:27.
- Abreu, Ana S.; Oliveira, M.; de Sá, Arsénio; Rodrigues, Rui M.; Cerqueira, Miguel A.; Vicente, António A. and Machado, A.V. 2015. Antimicrobial nanostructured starch based films for packaging. *Carbohydrate Polymers*. 129:127-134.
- Acosta, Sandra; González-Martínez, Chelo; Rosello-Caselles, Josefa; Santamarina-Siurana, María Pilar; Chiralt, Amparo y Cháfer, Maite. 2014. Propiedades físicas y antifúngicas de films de almidón-gelatina con aceites esenciales. En Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. Volumen 1. (pp. 529-538). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Aguilera-Carbo, Antonio F.; Augur, Christopher; Prado-Barragan, Lilia A.; Aguilar, Cristóbal N. and Favela-Torres, Ernesto. 2008. Extraction and analysis of ellagic acid from novel complex sources. *Chemical Papers*. 62(4):440-444.
- Andrade-Molina, Talita Pires de Camargo; Shirai, Marianne Ayumi; Grossmann, Maria Victória Eiras and Yamashita, Fabio. 2013. Active biodegradable packaging for fresh pasta. *LWT - Food Science and Technology*: 54(1):25-29.
- Appendini, Paola and Hotchkiss, Joseph H. 2002. Review of antimicrobial food packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 3(2):113-126.
- Arancibia, M.; Alemán, A.; López-Caballero, M.E.; Gómez-Guillén, M.C. y Montero, P. 2014c. Desarrollo de películas activas a partir de residuos de langostino (*Penaeus vannamei*). En Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. Volumen 2. (pp. 153-158). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Arancibia, M.; López-Caballero, M.E.; Gómez-Guillén, M.C. y Montero, P. 2014b. Control anti-fúngico en plátano (*Musa acuminata*) mediante películas activas. En Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. Volumen 2. (pp. 141-145). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Arancibia, M.; Rabossi, A.; Bochicchio, P.A.; Moreno, S.; López-Caballero, M.E.; Gómez-Guillén, M.C. y Montero, P. 2014a. Películas bi-capas con actividad insecticida frente a *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). En Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. Volumen 2. (pp. 135-140). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación,

- Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Argüelles-Piña, J.A.; Olvera-Maldonado, G.; Gómez-López, E.; Martín-Belloso, O.; Welti-Chanes, J.; Valdez-Fragoso, A. y Mújica-Paz, H. 2014b. Capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en películas comestibles obtenidas a partir de cáscara de mango. En Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. Volumen 4. (pp. 266-270). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Argüelles-Piña, J.A.; Olvera-Maldonado, G.; Martín-Belloso, O.; Welti-Chanes, J.; Valdez-Fragoso, A. y Mújica-Paz, H. 2014a. Películas biodegradables obtenidas a partir de pectina de cáscara de mango. En Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. Volumen 4. (pp. 271-274). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Arifin, Budi; Sugita, Purwantiningsih and Masyudi, Dery Ermawan. 2016. Chitosan and lauric acid addition to corn starch-film based effect: physical properties and antimicrobial activity study. *International Journal of Chemical Sciences* 14(2):529-544.
- Atarés, Lorena and Chiralt, Amparo. 2016. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*. 48:51-62.
- Avila-Sosa, R.; Palou, E.; Jiménez-Munguía, M.T.; Nevárez-Moorillón, G.V.; Navarro-Cruz, A.R. and López-Malo, A. 2012. Antifungal activity by vapor contact of essential oils added to amaranth, chitosan, or starch edible films. *International Journal of Food Microbiology*. 153(1-2):66-72.
- Bakkali, F.; Averbeck, S.; Averbeck, D. and Idaomar, M., 2008. Biological effects of essential oils-a review. *Food and Chemical Toxicology*. 46(2):446-475.
- Belibi, Pierre C.; Daou, T. Jean; Ndjaka, Jean-Marie B.; Michelin, Laure; Brendlé, Jocelyne; Nsom, Blaise and Durand, Bernard. Tensile and water barrier properties of cassava starch composite films reinforced by synthetic zeolite and beidellite. *Journal of Food Engineering*. 115(3):339-346.
- Belluco, Simone; Losasso, Carmen; Patuzzi, Ilaria; Rigo, Laura; Conficoni, Daniele; Gallochio, Federica; Cibir, Veronica; Catellani, Paolo; Segato, Severino and Ricci, Antonia. 2016a. Silver as antibacterial toward *Listeria monocytogenes*. *Frontiers in Microbiology*. 7:Article 307. 9 p.
- Belluco, Simone; Losasso, Carmen; Patuzzi, Ilaria; Rigo, Laura; Conficoni, Daniele; Gallochio, Federica; Cibir, Veronica; Catellani, Paolo; Segato, Severino and Ricci, Antonia. 2016b. Silver as antibacterial toward *Listeria monocytogenes*. *Frontiers in Microbiology*. 7:Article 307. Supplemental data (table s1). 1 p.
- Bendahou, Dounia; Bendahou, Abdelkader; Grohens, Yves and Kaddami, Hamid. 2015. New nanocomposite design from zeolite and poly(lactic acid). *Industrial Crops and Products*. 72:107-118.
- Benhacine, Fayçal; Hadj-Hamou, Assia siham and Habi, Abderrahmane. 2016. Development of long-term antimicrobial poly (ϵ -caprolactone)/silver exchanged montmorillonite nanocomposite films with silver ion release property for active packaging use. *Polymer Bulletin*. 73(5):1207-1227.

- Bessa, R.A.; Oliveira, L.H.; Arraes, D.A.; Batista, E.S.; Nogueira, D.H.; Silva, M.S.; Ramos, P.H. e Loiola, A.R. 2015. Filmes de amido e de amido/zeólita aplicados no recobrimento e conservação de goiaba (*Psidium guajava*). *Revista Virtual de Química*. 7(6):2190-2201.
- Bilbao-Sáinz Cristina; Avena-Bustillos, Roberto J.; Wood, Delilah F.; Williams, Tina G. and McHugh, Tara H. 2010. Composite edible films based on hydroxypropyl methylcellulose reinforced with microcrystalline cellulose nanoparticles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58(6):3753-3760.
- Bodini, R.B.; Sobral, P.J.A.; Favaro-Trindade, C.S. and Carvalho, R.A. 2013. Properties of gelatin-based films with added ethanol-propolis extract. *LWT - Food Science and Technology*. 51(1):104-110.
- Borchardt, Joy R.; Wyse, Donald L.; Sheaffer, Craig C.; Kauppi, Kendra L.; Fulcher, R. Gary; Ehlke, Nancy J.; Biesboer, David D. and Bey, Russell F. 2009. Antioxidant and antimicrobial activity of seed from plants of the Mississippi river basin. *Journal of Medicinal Plants Research*. 3(10):707-718.
- Božanić, Dušan K.; Djoković, Vladimir; Dimitrijević-Branković, Suzana; Krsmanović, Radenka; McPherson, Michael; Nair, P. Sreekumari; Georges, Michael K. and Radhakrishnan, Thottackad. 2011. Inhibition of microbial growth by silver-starch nanocomposite thin films. *Journal of Biomaterials Science*. 22(17):2343-2355.
- Brody, Aaron L.; Bugusu, Betty; Han, Jung H.; Koelsch-Sand, Claire and McHugh, Tara H. 2008. Scientific status summary: innovative food packaging solutions. *Journal of Food Science*. 73(8):R107-R116.
- Brody, Aaron L.; Strupinsky, Eugene R. and Kline, Lauri R. 2001. Active packaging for food applications. Boca Raton, FL, USA: CRC Press LLC.
- Bruna, J.E.; Castillo, M.; Ocampo, R.; Rodríguez, F.; Guarda, A. y Galotto, M^a. José. 2014a. Eco-compositos basados en un desecho agroindustrial y poliácido láctico con actividad antimicrobiana y antioxidante para potencial uso en envases de alimentos. En Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. Volumen 1. (pp. 413-420). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Bruna, J.E.; Espinoza, L.; Rodríguez, F.; Guarda, A. y Galotto, M^a. José. 2014b. Nuevos nanocompositos antimicrobianos basados en poliácido láctico y montmorillonitas modificadas con cobre obtenidos mediante extrusión en fundido. En Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. Volumen 1. (pp. 405-412). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Cabral, Ingridy S.R.; Oldoni, Tatiane L.C.; Prado, Adna; Bezerra, Rosângela M^a N.; de Alencar, Severino M.; Ikegaki, Masaharu e Rosalen, Pedro L. 2009. Composição fenólica, atividade antibacteriana e antioxidante da própolis vermelha brasileira. *Química Nova*. 32(6):1523-1527.
- Cagri, Arzu; Ustunol, Zeynep and Ryser, Elliot T. 2004. Antimicrobial edible films and coatings. *Journal of Food Protection*. 67(4):833-848.
- Camacho-Elizondo, Melissa; Vega-Baudrit, José y Campos-Gallo, Allan. 2011. Uso de nanomateriales en polímeros para la obtención de bioempaques en aplicaciones alimentarias. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 77(4):292-306.

- Cano, Amalia; Cháfer, Maite; Chiralt, Amparo and González-Martínez, Chelo. 2016a. Physical and antimicrobial properties of starch-PVA blend films as affected by the incorporation of natural antimicrobial agents. *Foods*. 5(1):3. 17 p.
- Cano, Amalia; Cháfer, Maite; Chiralt, Amparo and González-Martínez, Chelo. 2016b. Development and characterization of active films based on starch-PVA, containing silver nanoparticles. *Food Packaging and Shelf Life*. 10:16-24.
- Carbone, Marilena; Donia, Domenica Tommasa; Sabbatella, Gianfranco; Antiochia, Riccarda. 2016. Silver nanoparticles in polymeric matrices for fresh food packaging. *Journal of King Saud University-Science*. 28(4):273-279.
- Carrizo, Daniel; Gullo, Giuseppe; Bosetti, Osvaldo and Nerín, Cristina. 2014. Development of an active food packaging system with antioxidant properties based on green tea extract. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 31(3):364-373.
- Chen, Cheng Pei; Wang, Be Jen and Weng, Yih Ming. 2010. Physiochemical and antimicrobial properties of edible aloe/gelatin composite films. *International Journal of Food Science & Technology*. 45(5):1050-1055.
- Chiralt, Amparo. 2014. Materiales biodegradables para el envasado activo de alimentos a base de almidón. En Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. Volumen 1. (pp. 27-36). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Chorianopoulos, N.G.; Tsoukleris, D.S.; Panagou, E.Z.; Falaras, P. and Nychas, G.J.E. 2011. Use of titanium dioxide (TiO₂) photocatalysts as alternative means for *Listeria monocytogenes* biofilm disinfection in food processing. *Food Microbiology*. 28(1):164-170.
- Coloma, A.; Galotto, M.J.; Guarda, A.; Rodríguez, F.J.; Pizarro, C. y Bruna, J.E. 2014. Desarrollo de películas compuestas con capacidad de adsorción de etileno a base de PEBD y zeolita natural modificada. En Libro de Resúmenes del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. (pp. 70). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Correa, M.C.; Beloti, Luiz G.M.; Maniglia, B.C. e Tapia-Blácido, D. 2014. Efeito da adição de curcumina e da temperatura de secagem nas propriedades dos filmes de dois tipos de gelatina. En Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. Volumen 1. (pp. 138-145). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Costa, Samantha Serra; Druzian, Janice Izabel; Machado, Bruna Aparecida Souza; de Souza, Carolina Oliveira and Guimarães Alaíse Gil. 2014. Bi-functional biobased packing of the cassava starch, glycerol, licuri nanocellulose and red propolis. *PLoS ONE*. 9(11):e112554.
- Daiuto, Érica Regina; Tremocoldi, Maria Augusta; de Alencar, Severino Matias; Vieites, Rogério Lopes and Minarelli, Phillip Herbest. 2014. Composição química e atividade antioxidante da polpa e resíduos de abacate 'Hass'. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 36(2):417-424.
- de Araújo, Grace Kelly P.; de Souza, Silvio J.; da Silva, Marcos V.; Yamashita, Fabio; Gonçalves, Odinei H.; Leimann, Fernanda V. and Shirai, Marianne A. 2015. Physical, antimicrobial and antioxidant properties of starch-based film containing

- ethanolic propolis extract. *International Journal of Food Science and Technology*. 50(9):2080-2087.
- del Nobile, M.A.; Cannarsi, M.; Altieri, C.; Sinigaglia, M.; Favia, P.; Iacoviello, G. and D'Agostino, R. 2004. Effect of Ag-containing nano-composite active packaging system on survival of *Alicyclobacillus acidoterrestris*. *Journal of Food Science*. 69(8):E379-E383.
- Deurenberg, Ruud H. and Stobberingh, Ellen E. 2008. The evolution of *Staphylococcus aureus*. *Infection, Genetics and Evolution*. 8(6):747-763.
- Du, W.X.; Olsen, C.W.; Avena-Bustillos, R.J.; McHugh, T.H.; Levin, C.E.; Mandrell, R. and Friedman, Mendel. 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):M390-M397.
- Eça, Kaliana S.; Machado, Mariana T.C.; Hubinger, Miriam D. e Menegalli, Florência C. 2014b. Filmes de pectina aditivados de extratos de frutas. En Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. Volumen 2. (pp. 112-119). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Eça, Kaliana S.; Sartori, Tanara e Menegalli, Florencia Cecilia. 2014a. Films and edible coatings containing antioxidants - a review. *Brazilian Journal of Food Technology*. 17(2):98-112.
- Eleazu, Chinedum; Eleazu, Kate; Chukwuma, Sonia; Adanma, Ironkwe and Igwe, Andrew. 2015. Polyphenolic composition and antioxidant Activities of 6 new turmeric (*Curcuma Longa* L.) accessions. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*. 7(1):22-27.
- Emamifar, Aryou; Kadivar, Mahdi; Shahedi, Mohammad and Soleimani-Zad, Sabihe. 2011. Effect of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on inactivation of *Lactobacillus plantarum* in orange juice. *Food Control*. 22(3-4):408-413.
- Fernandes, Patrícia Érica; de Andrade, Nélio José; da Silveira, Máira Paula; da Costa, Daiene Silva; Bernardes, Patrícia Campos e de Sá, João Paulo Natalino. 2014. Concentração mínima inibitória (CMI) e concentração mínima bactericida (CMB) de nanopartículas de prata sobre bactérias gram-positivas e gram-negativas. En Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. Volumen 4. (pp. 261-265). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Fidelis, J.C.F.; Monteiro, A.R.G.; Scapim, M.R.S.; Monteiro, C.C.F.; Morais, D.R.; Claus, T.; Visentainer, J.V. and Yamashita, F. 2015. Development of an active biodegradable film containing tocopherol and avocado peel extract. *Italian Journal of Food Science*. 27(4):468-475.
- Gallego, María Gabriela; Gordon, Michael H.; Segovia, Francisco and Almajano Pablos, María Pilar. 2016. Gelatine-based antioxidant packaging containing *Caesalpinia decapetala* and Tara as a coating for ground beef patties. *Antioxidants*. 5(2):10. 15 p.
- Gallochio, Federica; Cibin, Veronica; Biancotto, Giancarlo; Roccato, Anna; Muzzolon, Orietta; Losasso, Carmen; Belluco, Simone; Manodori, Laura; Fabrizi, Alberto, Patuzzi, Ilaria and Ricci, Antonia. 2016. Testing nano-silver food packaging to evaluate silver migration and food spoilage bacteria on chicken meat. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 33(6):1063-1071.

- Galotto, Maria José y Guarda, Abel. 2014. Nuevas tendencias en envases de alimentos. En Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. Volumen 1. (pp. 46-53). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Garrison, Thomas F.; Murawski, Amanda and Quirino, Rafael L. 2016. Bio-based polymers with potential for biodegradability. *Polymers*. 8(7):262. 22 p.
- Geornaras, I.; Yoon, Y.; Belk, K.E.; Smith, G.C. and Sofos, J.N. 2007. Antimicrobial activity of ϵ -polylysine against *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium, *Listeria monocytogenes* in various food extracts. *Journal of Food Science*. 72(8):M330-M334.
- Ghadermazi, Reza; Keramat, Javad and Goli, Sayed Amir Hossien. 2016. Antioxidant activity and physical properties of hydroxypropylmethylcellulose films enriched with essential oils. *Journal of Food and Nutrition Research*. 55(1):22-32.
- Ghasemlou, Mehran; Aliheidari, Nahal; Fahmi, Ronak; Shojaee-Aliabadi, Saeedeh; Keshavarz, Behnam; Cran, Marlene J. and Khaksar, Ramin. 2013. Physical, mechanical and barrier properties of corn starch films incorporated with plant essential oils. *Carbohydrate Polymers*. 98(1):1117-1126.
- Gómez-Estaca, Joaquín; López de Dicastillo; Hernández-Muñoz, Pilar, Catalá, Ramón and Gavara, Rafael. 2014a. Advances in antioxidant active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*. 35(1):42-51.
- Gómez-Estaca, Joaquín, Montero, Pilar y Gómez-Guillén, M. Carmen. 2014b. Valorización de un subproducto de la industria pesquera para la fabricación de películas comestibles con capacidad antioxidante. En Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. Volumen 2. (pp. 562-569). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Gutiérrez, Tomy J. and Alvarez, Vera A. 2016. Films made by blending poly(ϵ -caprolactone) with starch and flour from sagu rhizome grown at the Venezuelan Amazons. *Journal of Polymers and the Environment*. (In press).
- Hadrup, Niels and Lam, Henrik R. 2014. Oral toxicity of silver ions, silver nanoparticles and colloidal silver-a review. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 68(1):1-7.
- Han, Xiaozhao; Chen, Sensen and Hu, Xianguo. 2009. Controlled-release fertilizer encapsulated by starch/polyvinyl alcohol coating. *Desalination*. 240(1-3):21-26
- Hernández-Ochoa, L.; Gonzales-Gonzales, A.; Gutiérrez-Mendez, N.; Muñoz-Castellanos, L.N. y Quintero-Ramos, A. 2011. Estudio de la actividad antibacteriana de películas elaboradas con quitosano a diferentes pesos moleculares incorporando aceites esenciales y extractos de especias como agentes antimicrobianos. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 10(3):455-463.
- Ho, Yu Ting; Ishizaki, Shoishiro and Tanaka, Munehiko. 2000. Improving emulsifying activity of ϵ -polylysine by conjugation with dextran through the Maillard reaction. *Food Chemistry*. 68(4):449-455.
- Hosseini, Mohammad Hashem; Razavi, Seyed Hadi; Mousavi, Seyed Mohammad Ali; Yasaghi, Seyed Ahmad Shahidi and Hasansaraei, Azade Ghorbani. 2008. Improving antibacterial activity of edible films based on chitosan by incorporating thyme and clove essential oils and EDTA. *Journal of Applied Sciences*. 8(16):2895-2900.

- Iseppi, Ramona; Pilati, Francesco; Marini, Michele; Toselli, Maurizio; de Niederhäusern, Simona; Guerrieri, Elisa; Messi, Patrizia; Sabia, Carla; Manicardi, Giuliano; Anacarso, Immacolata and Bondi, Moreno. 2008. Anti-listerial activity of a polymeric film coated with hybrid coatings doped with enterocin 416K1 for use as bioactive food packaging. *International Journal of Food Microbiology*. 123(3):281-287.
- Ji, Na; Liu, Chengzhen; Zhang, Shuangling; Xiong, Liu and Sun, Qingjie. 2016. Elaboration and characterization of corn starch films incorporating silver nanoparticles obtained using short glucan chains. *LWT-Food Science and Technology*. 74:311-318.
- Jo, Dong Hyun; Kim, Jin Hyoung; Lee, Tae Geol and Kim, Jeong Hun. 2016. Assessing toxicity of nanoparticles: in vitro and in vivo assays. In *Handbook of nanoparticles*. (pp. 923-940). Switzerland: Springer International Publishing.
- Jo, Dong Hyun; Kim, Jin Hyoung; Yu, Young Suk; Lee, Tae Jeol and Kim, Jeong Hun. 2012. Antiangiogenic effect of silicate nanoparticle on retinal neovascularization induced by vascular endothelial growth factor. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*. 8(5):784-791.
- Juliano, C.; Pala, C.L. and Cossu, M. 2007. Preparation and characterization of polymeric films containing propolis. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 17(3):177-181.
- Kasemets, Kaja; Ivask, Angela; Dubourguier Henri Charles and Kahru, Anne. 2009. Toxicity of nanoparticles of ZnO, CuO and TiO₂ to yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Toxicology In Vitro*. 23(6):1116-1122.
- Kim, K.W. and Thomas, R.L. 2007. Antioxidative activity of chitosans with varying molecular weights. *Food Chemistry*. 101(1):308-313.
- Kim, Sungwoo; Liu, Yongxing; Gaber, M. Waleed; Bumgardner, Joel D.; Haggard, Warren O. and Yang, Yunzhi. 2009. Development of chitosan-ellagic acid films as a local drug delivery system to induce apoptotic death of human melanoma cells. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*. 90B(1):145-155.
- Kloucek, Pavel; Smid, Jakub; Frankova, Adela; Kokoska, Ladislav; Valterova, Irena and Pavela, Roman. 2012. Fast screening method for assessment of antimicrobial activity of essential oils in vapor phase. *Food Research International*. 47(2):161-165.
- Kora, Aruna Jyothi and Arunachalam. J. 2011. Assessment of antibacterial activity of silver nanoparticles on *Pseudomonas aeruginosa* and its mechanism of action. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 27(5):1209-1216.
- Koo, H.; Gomes, B.P.F.A.; Rosalen, P.L.; Ambrosano, G.M.B.; Park, Y.K. and Cury, J.A. 2000. *In vitro* antimicrobial activity of propolis and *Arnica montana* against oral pathogens. *Archives of Oral Biology*. 45(2):141-148.
- Li, Xihong; Xing, Yage; Jiang, Yunhong; Ding, Yulong and Li, Weili. 2009. Antimicrobial activities of ZnO powder-coated PVC film to inactivate food pathogens. *International Journal of Food Science & Technology*. 44(11):2161-2168.
- Lin, Daniel and Zhao, Yanyun. 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(3):60-75.
- López de Dicastillo, Carol; Nerín, Cristina; Alfaro, Pilar; Catalá, Ramón; Gavara, Rafael and Hernández-Muñoz, Pilar. 2011. Development of new antioxidant

- active packaging films based on ethylene vinyl alcohol copolymer (EVOH) and green tea extract. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59(14):7832-7840.
- López de Dicastillo, Navarro, Rosa; Guarda, Abel and Galotto, Maria José. 2015. Development of biocomposites with antioxidant activity based on red onion extract and acetate cellulose. *Antioxidants*. 4(3):533-547.
- López-García, Fabiola y Jiménez-Martínez, Cristian. 2015. Películas biopoliméricas: aplicaciones para envases y otros productos. En *Tendencias de innovación en la ingeniería de alimentos*. (pp. 9-36). Barcelona, España: Omnia Publisher SL.
- López, P.; Sánchez, C.; Batlle, R. and Nerín, C. 2005. Solid- and vapor-phase antimicrobial activities of six essential oils: susceptibility of selected foodborne bacterial and fungal strains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53(17):6939-6946.
- Losasso, Carmen; Belluco, Simone; Cibin, Veronica; Zavagnin, Paola; Mičetić, Ivan; Gallochio, Federica; Zanella, Michella; Bregoli, Lisa; Biancoto, Giancarlo and Ricci, Antonia. 2014. Antibacterial activity of silver nanoparticles: sensitivity of different *Salmonella* serovars. *Frontiers in Microbiology*. 5:Article 227. 9 p.
- Maizura, M.; Fazilah, A.; Norziah, M.H. and 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.
- MacKerron, Conrad B. and Hoover, Darby. 2015. Waste and opportunity 2015: environmental progress and challenges in food, beverage, and consumer goods packaging. Report. R:15-01-A. USA: Natural Resources Defense Council (NRDC).
- Manni, L.; Ghorbel-Bellaaj, O.; Jellouli, K.; Younes, I. and Nasri, M. 2010. Extraction and characterization of chitin, chitosan, and protein hydrolysates prepared from shrimp waste by treatment with crude protease from *Bacillus cereus* SV1. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 162(2):345-357.
- Marsin, A. Mohd and Muhamad, I.I. 2016. Preparation and characterization of purple sweet potato starch-based edible film with optimized mixing temperature. *Journal of Advanced Research in Materials Science*. 16(1):1-10.
- Martínez-Castanón, G.A.; Niño-Martínez, N.; Martínez-Gutiérrez, F.; Martínez-Mendoza, J.R. and Ruiz, Facundo. 2008. Synthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles with different sizes. *Journal of Nanoparticle Research*. 10(8):1343-1348.
- Mascheroni, Erika; Guillard, Valérie; Nalin, Federico; Mora, Luigi and Piergiovanni, Luciano. 2010. Diffusivity of propolis compounds in polylactic acid polymer for the development of anti-microbial packaging films. *Journal of Food Engineering*. 98(3):294-301.
- Metak, Amal M. 2015. Effects of nanocomposite based nano-silver and nano-titanium dioxide on food packaging materials. *International Journal of Applied Science and Technology*. 5(2):26-40.
- Miranda, M.; Vega-Gálvez, A.; López, J.; Navarro, R. y Martínez, E.A. 2014. Actividad antimicrobiana y antioxidante de semillas de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivadas en tres zonas geográficas de Chile. En *Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9*. Volumen 4. (pp. 359-365). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Mirzoeva, O.K.; Grishanin, R.N. and Calder, P.C. 1997. Antimicrobial action of

- propolis and some of its components: the effects on growth, membrane potential and motility of bacteria. *Microbiological Research*. 152(3):239-246.
- Miteluț, Amalia Carmen; Tănase, Elisabeta Elena; Popa, Mona Elena; Geicu-Cristea, Mihaela; Popescu, Paul Alexandru; Ștefănoiu, Georgiana Aurora and Râpă, Maria. 2016. Ecotoxicity assessment of the soil after the biodegradation process of some polymeric materials. In Poster Presentations of the 4th International ISEKI Food Conference. July 6-8. Vienna, Austria.
- Molavi, Hooman; Behfar, Somayyeh; Shariati, Mohammad Ali; Kaviani, Mehdi and Atarod, Shirin. 2015. A review on biodegradable starch based film. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 4(5):456-461.
- Moreira, Diana; Gullón, Beatriz; Gullón, Patricia; Gomes, Ana and Tavaría, Freni. 2016. Bioactive packaging using antioxidant extracts for the prevention of microbial food-spoilage. *Food & Function*. 7:3273-3282.
- Moreno, Olga; Pastor, Clara; Muller, Justine; Atarés, Lorena; González, Chelo y Chiralt, Amparo. 2014. Propiedades físicas y antioxidantes de películas comestibles de almidón de maíz y suero de mantequilla. En Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. Volumen 3. (pp. 474-482). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Morones, Jose Ruben; Elechiguerra, Jose Luis; Camacho, Alejandra; Holt, Katherine; Kouri, Juan B.; Ramírez, Jose Tapia and Yacaman, Miguel Jose. 2005. The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*. 16(10):2346-2353.
- Munizza, G.; Celeda, A.; Legnoverde, S.; Basaldella, E.; Ruiz de Arechavaleta, M.; Rosso A.; Eisenberg, P.; Fernández, M.R. y Ariosti, A. 2007. Adsorción de etileno en una zeolita natural (clinoptilolita argentina) y zeolitas sintéticas del grupo de las faujasitas (LSX). En IV Simposio Chileno-Argentino de Polímeros. 02-05 de diciembre. Reñaca, Viña del Mar, Chile.
- Muñoz-Bonilla, Alexandra and Fernández-García, Marta. 2012. Polymeric materials with antimicrobial activity. *Progress in Polymer Science*. 37(2):281-339.
- Nsom, B.; Dorville, J.F. and Bouchlaghem, K. 2015. Cocoyam used as substitute of cassava in the preparation of starch based biofilms and biocomposites by casting method. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 5(5):11-16.
- Núñez-Flores, R.; Giménez, B.; Fernández-Martín, F.; López-Caballero, M.E.; Montero, M.P. and Gómez-Guillén, M.C. 2013. Physical and functional characterization of active fish gelatin films incorporated with lignin. *Food Hydrocolloids*. 30(1):163-172.
- Oropeza-González, Rafael Antonio; Montes-Hernández, Adriana Isabel y Padrón-Pereira, Carlos Alberto. 2016. Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 7(1):065-093.
- Oussalah, Mounia; Caillet, Stéphane; Saucier, Linda and Lacroix, Monique. 2006. Antimicrobial effects of selected plant essential oils on the growth of a *Pseudomonas putida* strain isolated from meat. *Meat Science*. 73(2):236-244.
- Pal, Sukdeb; Tak, Yu Kyung and Song, Joon Myong. 2007. Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? a study of the Gram-negative bacterium *Escherichia coli*. *Applied and Environmental Microbiology*. 73(6):1712-1720.

- Palma-Rodríguez, Heidi M.; Aguirre-Álvarez, Gabriel; Chavarría-Hernández, Norberto; Rodríguez-Hernández, Adriana I.; Bello-Pérez, Luis A. and Vargas-Torres. Apolonio. 2012. Oxidized banana starch-polyvinyl alcohol film: partial characterization. *Starch/Stärke*. 64(11):882-889.
- Panyala, Nagender Reddy; Peña-Méndez, Eladia María and Havel, Josef. 2008. Silver or silver nanoparticles: a hazardous threat to the environment and human health? *Journal of Applied Biomedicine*. 6(3):117-129.
- Pavlath, Attila E. and Orts, William. 2009. Edible films and coatings: why, what, and how?. In *Edible films and coatings for food applications*. (pp. 1-23). New York, NY, USA: Springer Science+Business Media, LLC.
- Perazzo, Kátya Karine Nero Carneiro Lins; Conceição, Anderson Carlos de Vasconcelos; dos Santos, Juliana Caribé Pires; Assis, Denilson de Jesus; Souza, Carolina Oliveira and Druzian, Janice Izabel. 2014. Properties and antioxidant action of actives cassava starch films incorporated with green tea and palm oil extracts. *PLoS ONE*. 9(9):e105199.
- Perdones, Ángela.; Sánchez-González, Laura; Arab-Tehrany, Elmira; Vargas, Maria and Chiralt, Amparo. 2014. Efecto de la adición de aceite de colza o de pescado en las propiedades físico-químicas y antimicrobianas de películas comestibles de quitosano. En *Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. Volumen 3*. (pp. 460-465). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Pereira de Abreu, D.A.; Cruz, J.M. and Paseiro-Losada, P. 2012. Active and intelligent packaging for the food industry. *Food Reviews International*. 28(2):146-187.
- Pola, Cícero C.; Medeiros, Eber A.A.; Pereira, Olinto L.; Souza, Victor G.L.; Otoni, Caio G.; Camilloto, Geany P. and Soares, Nilda F.F. 2016. Cellulose acetate active films incorporated with oregano (*Origanum vulgare*) essential oil and organophilic montmorillonite clay control the growth of phytopathogenic fungi. *Food Packaging and Shelf Life*. 9:69-78.
- Priya, Bhanu; Gupta, Vinod Kumar; Pathania, Deepak and Singha, Amar Singh. 2014. Synthesis, characterization and antibacterial activity of biodegradable starch/PVA composite films reinforced with cellulosic fibre. *Carbohydrate Polymers*. 109:171-179.
- Raghav, Pramod Kumar; Agarwal, Nidhi and Saini, Mitu. 2016. Edible coating of fruits and vegetables: a review. *International Journal of Scientific Research and Modern Education*. 1(1):188-204.
- Reyes-Jurado, F.; Palou, E. y López-Malo, A. 2014. Métodos de evaluación de la actividad antimicrobiana y de determinación de los componentes químicos de los aceites esenciales. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. 8(1):68-78.
- Rhim, Jong Whan; Hong, Seok In; Park, Hwan Man and Ng, Perry K.W. 2006. Preparation and characterization of chitosan-based nanocomposite films with antimicrobial activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(16):5814-5822.
- Ripollés, Daniel; Parrón, José Antonio; Calvo, Miguel; Pérez, María Dolores; FitzGerald, Richard J. and Sánchez Lourdes. 2016. Antioxidant activity of co-products from milk fat processing and their enzymatic hydrolysates obtained with different proteolytic preparations. *International Dairy Journal*. 60:70-77.
- Rodríguez, F.J.; Moya, P.E.; Jordan, V.P.; Galotto, M.J.; Guarda, A.; Bruna, J.E. y Abarca R.L. 2014. Diseño de películas

- eco-activas basadas en nanocompositos de acetato de celulosa. En Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. Volumen 1. (pp. 397-404). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Sanches-Silva, Ana; Costa, Denise; Albuquerque, Tânia G.; Buonocore, Giovanna Giuliana; Ramos, Fernando; Castilho, Maria Conceição; Machado, Ana Vera and Costa, Helena S. 2014. Trends in the use of natural antioxidants in active food packaging: a review. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 31(3):374-395.
- Sánchez-González, Laura; Vargas, María; González-Martínez, Chelo; Chiralt, Amparo and Chafer, Maite. 2011. Use of essential oils in bioactive edible coatings: a review. *Food Engineering Reviews*. 3(1):1-16.
- Saraschandra, N.; Pavithra, M. and Sivakumar, A. 2013. Antimicrobial applications of TiO₂ coated modified polyethylene (HDPE) films. *Archives of Applied Science Research*. 5(1):189-194.
- Sartori, Tanara and Menegalli, Florencia Cecilia. 2016. Development and characterization of unripe banana starch films incorporated with solid lipid microparticles containing ascorbic acid. *Food Hydrocolloids*. 55:210-219.
- Selvadharshini, S.; Argho, Bakshi, Nandhini Devi, G. 2016. Development and efficacy comparison of curry leaves incorporated edible film and coating on fresh cut produce. *Indian Journal of Science*. 23(82):482-491.
- Shah, Umar; Naqash, Farah; Gani, Adil and Masoodi, F.A. 2016. Art and science behind modified starch edible films and coatings: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 15(3):568-580.
- Shankar, Shiv; Wang, Long Feng and Rhim, Jong Whan. 2016. Preparations and characterization of alginate/silver composite films: effect of types of silver particles. *Carbohydrate Polymers* 146:208-216.
- Shrivastava, Siddhartha; Bera, Tanmay; Roy, Arnab; Singh, Gajendra; Ramachandrarao, P.; Dash, Debabrata. 2007. Characterization of enhanced antibacterial effects of novel silver nanoparticles. *Nanotechnology*. 18(22):225103. 9 p.
- Silva-Weiss, A.; Ihl, M.; Sobral, P.J.A.; Gómez-Guillén, M.C. and Bifani, V. 2013. Natural additives in bioactive edible films and coatings: functionality and applications in foods. *Food Engineering Reviews*. 5(4):200-216.
- Sin, Lee Teen; Rahmat, Abdul Razak and Rahman, Wai Aizan Wan Abdul. 2013. Polylactic acid: PLA biopolymer technology and applications. United Kingdom: Elsevier.
- Song, Xiaoyong and Cheng, Luming. 2014. Chitosan/kudzu starch/ascorbic acid films: rheological, wetting, release, and antibacterial properties. *African Journal of Agricultural Research*. 9(52):3816-3824.
- Sung, Suet Yen; Sin, Lee Tin; Tee, Tiam Ting; Bee, Soo Tuen; Rahmat, A.R.; Rahman, W.A.W.A.; Tan, Ann Chen and Vikhraman, M. 2013. Antimicrobial agents for food packaging applications. *Trends in Food Science & Technology*. 33(2):110-123.
- Suppakul, P.; Miltz, J.; Sonneveld, K. and Bigger, S.W. 2003. Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications. *Journal of Food Science*. 68(2):408-420.
- Supardan, M. Dani; Annisa, Yulia; Arpi, Normalina; Satriana, Satriana and Mustapha, Wan Aida Wan. 2016. Cassava starch edible film incorporated with lemongrass oil: characteristics and

- application. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 6(2):216-220.
- Šuput, Danijela; Lazić, Vera; Pezo, Lato; Markov, Siniša; Vaštag, Žužana; Popović, Ljiljana; Radulović, Aleksandra; Ostojić, Sanja; Zlatanović, Snežana and Popović, Senka. 2016. Characterization of starch edible films with different essential oils addition. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 66(4):277-285.
- Thomas, Ariela Betsy; Nassur, Rita de Cássia Mirela Resende; Boas, Ana Carolina Vilas and Lima, Luiz Carlos de Oliveira. 2016. Cassava starch edible coating incorporated with propolis on bioactive compounds in strawberries. *Ciência e Agrotecnologia* 40(1):87-96.
- Tirado-Gallegos, J.M.; Sepulveda-Ahumada, D.R.; Zamudio-Flores, P.B.; Rodríguez-Marin, M.L.; Hernández-Centeno, F.; Espinosa-Solis, V. and Salgado-Delgado, R. 2016. Ellagic acid may improve mechanical and barrier properties in films of starch-a review paper. *Journal of Food Research*. 5(3):61-71.
- Torlak, Emrah and Nizamlioglu, Mustafa. 2011. Antimicrobial effectiveness of chitosan-essential oil coated plastic films against foodborne pathogens. *Journal of Plastic Film & Sheeting*. 27(3):235-248.
- Trbojevich, Raúl A. y Fernández, Avelina. 2016. Synthesis and properties of metal-based nanoparticles with potential applications in food-contact materials. In *Handbook of nanoparticles*. (pp. 1177-1192). Switzerland: Springer International Publishing.
- Tumwesigye, K.S.; Oliveira, J.C. and Sousa-Gallagher, M.J. 2016. New sustainable approach to reduce cassava borne environmental waste and develop biodegradable materials for food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*. 7:8-19.
- Uysal-Ünalán, İlke; Arserim Uçar, Keriman D.; Arcan, İskender; Korel, Figen and Yemenicioğlu, Ahmet. 2011. Antimicrobial potential of polylysine in edible films. *Food Science and Technology Research*. 17(4):375-380.
- van Beest, Iris; Atarés, Lorena; Chiralt, Amparo y Vargas, María. 2014. Efecto de la adición de aceite esencial de tomillo en las propiedades físicas, antioxidantes y antimicrobianas de películas biodegradables. Aplicación en salmón. En *Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. Volumen 3*. (pp. 560-566). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Velásquez, Patricia; Valenzuela, Loreto y Montenegro, Gloria. 2014. Actividad antimicrobiana de extractos de productos apícolas chilenos para uso en películas comestibles. En *Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos CIBIA 9. Volumen 1*. (pp. 93-96). 13-16 enero. Ciudad Politécnica de la Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Vital, Ana Carolina Pelaes; Guerrero, Ana; Monteschio, Jessica de Oliveira; Valero, Maribel Velandia; Carvalho, Camila Barbosa; de Abreu Filho, Benício Alves; Madrona, Grasielle Scaramal and do Prado, Ivanor Nunes. 2016. Effect of edible and active coating (with rosemary and oregano essential oils) on beef characteristics and consumer acceptability. *PLoS ONE*. 11(8):e0160535.
- Viuda-Martos, M.; Ruiz-Navajas, Y.; Fernández-López, J. and Pérez-Álvarez, J.A. 2008. Functional properties of honey, propolis, and royal jelly. *Journal of Food Science*. 73(9):R117- R124.

- Wang, Wei; Bostic, Terrell R. and Gu, Liwei. 2010. Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. *Food Chemistry*. 122(4):1193-1198.
- Wu, Jiulin; Chen, Shanfei; Ge, Shangying; Miao, Jing; Li, Jianhua and Zhang, Qiqing. 2013. Preparation, properties and antioxidant activity of an active film from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) skin gelatin incorporated with green tea extract. *Food Hydrocolloids*. 32(1):42-51.
- Yang, W.; Fortunati, E.; Dominici, F.; Giovanale, G.; Mazzaglia, A.; Balestra, G.M.; Kenny, J.M. and Puglia, D. 2016a. Effect of cellulose and lignin on disintegration, antimicrobial and antioxidant properties of PLA active films. *International Journal of Biological Macromolecules*. 89:360-368.
- Yang, W.; Owczarek, J.S.; Fortunati, E.; Kozanecki, M.; Mazzaglia, A.; Balestra, G.M.; Kenny, J.M.; Torre, L. and Puglia, D. 2016b. Antioxidant and antibacterial lignin nanoparticles in polyvinyl alcohol/chitosan films for active packaging. *Industrial Crops and Products*. 94:800-811.
- Zamudio-Flores, Paul B.; Ochoa-Reyes, Emilio; Ornelas-Paz, José de J.; Tirado-Gallegos, Juan M.; Bello-Pérez, Luis A. Rubio-Ríos, Anilú y Cárdenas-Felix, Rosario G. 2015. Caracterización fisicoquímica, mecánica y estructural de películas de almidones oxidados de avena y plátano adicionadas con betalaínas. *Agrociencia*. 49(5):483-498.
- Zhou, Xiaohong; Wong, Lily L.; Karakoti, Ajay S.; Seal, Sudipta and McGinnis, James F. 2011. Nanoceria inhibit the development and promote the regression of pathologic retinal neovascularization in the Vldlr knockout mouse. *PLoS ONE*. 6(2):e16733.