



Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones

M. F. Domínguez-Courtney * y M. T. Jiménez-Munguía

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

Resumen

Debido a la creciente preocupación de sustituir empaques plásticos por empaques biodegradables y a la búsqueda de tecnologías para prolongar la vida de anaquel de los alimentos, existen diversos estudios de películas comestibles. Las películas obtenidas con polisacáridos son una opción atractiva porque estos compuestos son abundantes en la naturaleza y renovables, además provienen de diversas fuentes. Sin embargo, las películas formuladas con polisacáridos presentan valores altos de permeabilidad al vapor de agua y limitaciones en cuanto a sus propiedades mecánicas. Para mejorar las propiedades mecánicas de estas películas, se ha estudiado la adición de plastificantes. Mientras que para disminuir las altas permeabilidades al vapor de agua se ha estudiado la adición de surfactantes o compuestos hidrofóbicos. Entre los polisacáridos estudiados el almidón produce las películas con mejores características mecánicas. Mientras que las películas formuladas con gomas presentan las menores permeabilidades al vapor de agua. El objetivo de la presente revisión es exponer un panorama general de películas comestibles formuladas con polisacáridos adicionados de manera individual o en mezclas.

Palabras clave: películas comestibles, polisacáridos, propiedades mecánicas, permeabilidad al vapor de agua.

Abstract

Due to the increasing concern of plastic substitution in packaging with biodegradable materials and the quest of new technologies to increase shelf life of food products, there are several studies regarding edible films. Films produced using polysaccharides are a viable option because these materials are renewable, can be obtained from various sources and are abundant in nature. However, films produced with polysaccharides have high water vapor permeability and limited mechanical properties. The addition of plasticizer for improving mechanical properties has been studied, as well as addition of surfactants or hydrophobic materials in order to lower water vapor permeability. Among the studied polysaccharides films produced with starch showed the best mechanical properties. While gum formulated films had the lowest water vapor permeability values. The aim of this article is to give a general outline of edible films produced with polysaccharides formulated individually or in combination.

Keywords: edible films, polysaccharides, mechanical properties, water vapor permeability.

*Programa de Doctorado en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126, fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica: mariaf.dominguezcv@udlap.mx

Introducción

Las películas en el área de alimentos funcionan como barreras selectivas para la transferencia de gases, humedad y nutrientes; son utilizadas porque ayudan a disminuir el deterioro de productos alimenticios causado por factores ambientales. De igual manera, se busca que eviten o disminuyan la oxidación y pérdida de compuestos volátiles responsables de sabores y propiedades específicas de los alimentos. La mayoría de las películas son elaboradas con materiales plásticos. Debido a la preocupación de sustituir empaques plásticos por empaques biodegradables, existen diversos estudios de películas comestibles, que además de las características otorgadas pueden ser ingeridas con el alimento.

Por otra parte, se busca que la materia prima provenga de una fuente renovable, abundante y económica, para que el uso industrial sea factible. Por tal motivo, se han realizado diversos estudios utilizando polisacáridos como materiales para la formulación de películas comestibles.

La formulación de cada película comestible depende directamente de la aplicación que se requiere; la cual determina las propiedades mecánicas y de barrera deseables. Diversos materiales han sido investigados para la formación de películas de forma individual o en sistemas con más de un compuesto. En muchas ocasiones, es necesario añadir un plastificante para que la película no sea quebradiza y se pueda manejar fácilmente.

Los polisacáridos se obtienen de fuentes naturales, principalmente de origen vegetal. Los más utilizados para la formación de películas comestibles incluyen celulosa y sus derivados, almidón de diversas fuentes, gomas, carrageninas y alginato.

En la presente revisión se expondrá un panorama general de películas comestibles formuladas con polisacáridos, se resumirán sus propiedades mecánicas y de barrera; y sus aplicaciones en alimentos.

Revisión bibliográfica

1. Materiales para la formación de películas

El deterioro de alimentos durante el almacenamiento puede ser retardado al mejorar los empaques. Se requiere que dicho empaque proteja al producto del medio ambiente, principalmente de los gases y de la humedad; además, es deseable que éste funcione como barrera contra microorganismos que puedan contaminar el alimento. De igual manera, existe una creciente preocupación por reducir la contaminación generada por el uso y la producción de envases alimenticios hechos con plástico. Como posible solución, se estudian materiales biodegradables. Debido a esto, se han buscado diversas alternativas; entre ellas y una de las más estudiadas es el desarrollo de películas comestibles (Rawdkuen *et al.*, 2010).

Las películas comestibles deben funcionar como barrera selectiva a la transferencia de humedad y gases, además de evitar la oxidación de lípidos y la pérdida de compuestos volátiles responsables de aromas y sabores de ciertos alimentos (Espino-Díaz *et al.*, 2010). Deben estar formuladas con compuestos de grado alimenticio y además cumplir con costos relativamente bajos de producción (Vargas *et al.*, 2008). Los materiales probados para la formación de películas incluyen proteínas, polisacáridos y lípidos. Entre las proteínas principales se encuentran la gelatina, el colágeno y algunas proteínas de origen vegetal como las de soya y maíz. Los polisacáridos más estudiados incluyen celulosa y sus derivados, carrageninas, gomas, pectina, almidón y alginatos; mientras que los lípidos más utilizados son las ceras, triglicéridos y algunos ácidos grasos (Nanda y Nayak, 2009).

Los lípidos forman películas que tienen buenas propiedades de barrera contra el paso del agua, pero sus aplicaciones se ven limitadas porque las películas obtenidas son quebradizas (Liu *et al.*, 2006). En cambio, las películas formuladas con polisacáridos o proteínas se caracterizan por ser buenas barreras al oxígeno; sin embargo, por ser fabricadas con compuestos hidrofílicos, son

permeables al agua (Vargas *et al.*, 2008; Nanda y Nayak, 2009).

1.1. Polisacáridos

Los polisacáridos son utilizados en la industria de alimentos como gelificantes, espesantes estabilizantes, y formadores de películas comestibles, entre otras aplicaciones. Se obtienen principalmente de vegetales, algas y microorganismos. Entre los polisacáridos obtenidos de vegetales están la celulosa y el almidón; los polisacáridos obtenidos de algas que más se utilizan son los alginatos, las carrageninas y el agar; mientras que los polisacáridos obtenidos de microorganismos incluyen la goma xantana, el dextrano y la goma gellan, entre otros (Khan *et al.*, 2007).

Al usar polisacáridos como compuestos para la formación de películas comestibles, se obtienen películas transparentes que presentan propiedades mecánicas moderadas. Sin embargo, las aplicaciones se limitan debido a que las películas son solubles en agua y permeables al vapor de agua. Para mejorar dichas condiciones es posible adicionar compuestos hidrofóbicos como ceras o aceites, y también se pueden realizar tratamientos para el entrecruzamiento de las moléculas (Vargas *et al.*, 2008; Campos *et al.*, 2011).

Debido a su naturaleza hidrofóbica, la adición de surfactantes mejora la resistencia al vapor de agua de las películas formuladas con polisacáridos; sin embargo, las aplicaciones se ven limitadas, debido a que se incrementa la opacidad de las películas resultantes. Por ejemplo, la opacidad de películas formuladas con metilcelulosa, glucomanan y pectina en proporción 1/4/1, presentaron un aumento en opacidad del 3% al adicionar éster de sacarosa como surfactante (Chambi y Gross, 2011). Por un efecto sinérgico, la adición de una proteína a la formulación puede mejorar las propiedades mecánicas y de barrera de películas comestibles de polisacáridos (Chen *et al.*, 2010; Espinoza-Herrera *et al.*, 2011).

1.2. Plastificantes

Para la formación de películas comestibles muchas veces es necesario agregar un plastificante para mejorar las propiedades mecánicas de las mismas. Los plastificantes usados incluyen glicerol, polietilenglicol, sorbitol y algunos azúcares, entre otros. Debido a que el plastificante reduce los enlaces intermoleculares entre las cadenas de polímeros, los plastificantes modifican las propiedades mecánicas y producen películas más flexibles (Campos *et al.*, 2011).

En un estudio realizado por Jongjareonrak *et al.* (2006) se midieron las propiedades de películas comestibles formuladas con distintas concentraciones de glicerol, polietilenglicol, etilenglicol y sorbitol. En general, las películas formuladas con glicerol presentaron mayor flexibilidad y elongación, mientras que las formuladas con etilenglicol presentaron mayor fuerza tensil. En todos los casos, al aumentar la concentración del plastificante aumentó el porcentaje de elongación y se redujo la fuerza tensil. Por ejemplo, al aumentar la concentración de glicerol de 25 a 75% la fuerza tensil disminuyó de 46.87 a 11.72 MPa, mientras que el porcentaje de elongación aumentó de 10.87 a 98.14%.

Bozdemir y Tutas (2003) compararon los valores de permeabilidad al vapor de agua de películas de goma de algarrobo, utilizando distintos plastificantes en diferentes concentraciones. Para todos los sistemas, al aumentar la concentración de plastificante aumentó la permeabilidad al vapor de agua. Por ejemplo, las películas con 0.4% de glicerol mostraron valores de 4×10^{-11} g m⁻¹ s⁻¹ Pa⁻¹ de permeabilidad al vapor de agua, mientras que con las que contenían 1.6% de glicerol se obtuvieron valores de 6×10^{-11} g m⁻¹ s⁻¹ Pa⁻¹. Para la misma concentración de plastificante de 1.6%, las películas con glicerol presentaron valores de permeabilidad al vapor de agua del doble que las formuladas con la misma cantidad de polietilenglicol.

Javanmard *et al.* (2011) estudiaron la mezcla de glicerol y polietilenglicol (PEG) a distintas concentraciones en películas de almidón al 4%. La concentración de glicerol fue variada de 0 a 3%, mientras que los niveles de PEG utilizados fueron 0, 0.2, 0.3 y 0.4%. Las formulaciones de almidón que sólo contenían PEG no se pudieron despegar de los moldes, por lo que no formaron películas. Las películas con 2% glicerol y 0.2% PEG presentaron valores de 82.17% de elongación, mientras que con la misma concentración de glicerol y 0.4% de PEG la elongación aumentó a 96.92%. Los investigadores concluyeron que al aumentar el contenido de PEG de la mezcla de plastificantes, se incrementó la elongación, sin embargo, no hubo ningún efecto en las propiedades de barrera.

Aunque los valores de permeabilidad al vapor de agua de las películas adicionadas con glicerol son mayores que las formuladas con otros plastificantes, el glicerol es el plastificante más utilizado debido a que es muy estable y compatible con las cadenas de biopolímeros (Campos *et al.*, 2011). Generalmente, el contenido de glicerol para la formación de películas se encuentra entre el 10 y el 30% (p/p biopolímero seco) (Osés *et al.*, 2009; Tongdeesontorn *et al.*, 2011). Dentro de dichos límites, al aumentar el contenido de glicerol disminuye la fuerza tensil y aumenta el porcentaje de elongación. Por ejemplo, en un estudio realizado por Qiu-Ping y Wen-Shui, (2008), utilizando la misma composición de las películas al variar el porcentaje de glicerol de 10 a 24%, la fuerza tensil bajó de 39.23 a 28.83 MPa y el porcentaje de elongación aumentó de 8.9 a 110.7%.

Aún cuando la adición de plastificante ayuda a que las películas sean menos quebradizas y más flexibles, existen efectos adversos del uso de este tipo de agentes. En diversos estudios se ha comprobado que debido a su naturaleza, el glicerol es sumamente higroscópico y por tanto, las películas formadas presentan un aumento en el contenido de humedad, lo que a la vez provoca que tengan menores capacidades de protección (Karbowiak *et al.*, 2006; Osés *et al.*, 2009; Bergo *et al.*, 2010).

2. Propiedades mecánicas y de barrera de las películas comestibles de polisacáridos

La fuerza tensil, la elongación y la fuerza de corte son propiedades mecánicas de las películas comestibles que pueden ser usadas para describir el comportamiento del material (Espinoza-Herrera *et al.*, 2011). La fuerza tensil o dureza es la fuerza máxima por área que una película puede soportar antes de romperse; se obtiene dividiendo la fuerza máxima entre el área transversal de la película. La elongación es el porcentaje de cambio máximo en longitud de la película antes de romperse, a menor porcentaje de elongación menor flexibilidad. La fuerza de corte está definida como la fuerza requerida para cortar la película (Wang *et al.*, 2007). En diversos estudios se ha observado que al aumentar el valor de la fuerza tensil, el porcentaje de elongación disminuye y viceversa (Peressini *et al.*, 2004; Brindle y Krochta, 2008).

En un estudio realizado por Wang *et al.* (2007) a distintas concentraciones de proteínas y polisacáridos para la formación de películas comestibles, se determinó que en general las películas formuladas con polisacáridos tienen mayores valores de fuerza tensil en comparación con las películas formuladas con proteínas. Sin embargo, las películas con polisacáridos tienen menores valores de porcentaje de elongación. Por ejemplo, las películas de gelatina al 8% presentaron una fuerza tensil de 6.60 MPa y un porcentaje de elongación de 89.69%, mientras que con películas formuladas con carboximetilcelulosa al 2% se obtuvieron valores de 11.25 MPa de fuerza tensil y 10.53% de elongación.

Otra propiedad importante de las películas es su función como barreras contra la humedad, ya que se busca que las películas comestibles disminuyan la transferencia de humedad entre el producto y el medio. Dicha propiedad es medida con el valor de permeabilidad al vapor de agua. Se requiere que la permeabilidad al vapor de agua sea lo más baja posible (Qiu-Ping y Wen-Shui, 2008).

De igual manera, se requiere que las películas funcionen como barrera a gases, principalmente oxígeno y dióxido de carbono. Debido a las

reacciones de oxidación causadas por el oxígeno en varias aplicaciones de películas comestibles, se busca que las películas tengan bajas permeabilidades a éste gas (Fontes *et al.*, 2011).

En la Tabla I se presenta un resumen sobre investigaciones recientes acerca de películas elaboradas con polisacáridos.

2.1. Películas de carboximetilcelulosa

Debido a su bajo costo y a que son materiales biodegradables, los derivados de celulosa son utilizados en industrias de alimentos, farmacéuticas y en otras aplicaciones diversas (Espinoza-Herrera *et al.*, 2011). Un derivado de celulosa es la carboximetilcelulosa (CMC),

Tabla I. Estudios recientes sobre películas elaboradas con polisacáridos.

Biopolímero	Concentración de biopolímero (p/v)	Concentración de glicerol (p/p biopolímero)	Estudio	Referencia
Alginato de sodio	0.02%	0.6-2%	Propiedades de barrera	Tapia <i>et al.</i> , 2007
	1-5%	0-50%	Efectos del plastificante en propiedades	Boateng <i>et al.</i> , 2009
	0.5-2%	50%	Propiedades mecánicas a distintas concentraciones del polímero	Wang <i>et al.</i> , 2007
	1.75%	0.25%	Propiedades mecánicas	Fazilah <i>et al.</i> , 2011
Almidón	1-5%	0.30%	Propiedades mecánicas de películas	Tongdeesontorn <i>et al.</i> , 2011
	2%	0, 10, 20, 30%	Propiedades de barrera	Osés <i>et al.</i> , 2009
	1-3%	50%	Propiedades mecánicas a distintas concentraciones del polímero	Wang <i>et al.</i> , 2007
	4%	13, 15, 20, 25, 27%	Efectos del plastificante en propiedades mecánicas	Pressini <i>et al.</i> , 2004
	2%	0, 15, 30, 45%	Efectos del plastificante en propiedades físicas	Bergo <i>et al.</i> , 2008
	10%	0	Propiedades mecánicas	Rachtanapun <i>et al.</i> , 2012
Carragenina	0.03%	0, 15, 30, 45%	Efectos del plastificante en propiedades	Karbowiak <i>et al.</i> , 2006
	2-5%	50%	Propiedades mecánicas a distintas concentraciones del polímero	Wang <i>et al.</i> , 2007
	3%	30%	Propiedades de barrera	Hambleton <i>et al.</i> , 2008
	5-10%	25, 50%	Efectos del plastificante en propiedades mecánicas	Briones <i>et al.</i> , 2004
Carboximetilcelulosa	1-5%	0.30%	Propiedades mecánicas de películas	Tongdeesontorn <i>et al.</i> , 2011
	1-2%	0, 50%	Efectos del plastificante en propiedades mecánicas	Boateng <i>et al.</i> , 2009
	3%	0	Propiedades físicas	Espinoza-Herrera <i>et al.</i> , 2010
	2-5%	50%	Propiedades mecánicas a distintas concentraciones del polímero	Wang <i>et al.</i> , 2007
	2%	0	Propiedades mecánicas de películas	De Moura <i>et al.</i> , 2011
Goma gellan	0.50%	0.6-2%	Propiedades de barrera	Tapia <i>et al.</i> , 2007
Goma guar	1%	50%	Propiedades de barrera	Mehyar <i>et al.</i> , 2011
Goma xantana	0.01%	0, 50%	Efectos del plastificante en propiedades	Boateng <i>et al.</i> , 2009
	0.25-1%	50%	Propiedades mecánicas a distintas concentraciones del polímero	Wang <i>et al.</i> , 2007

obtenida mediante la adición de grupos carboximetilos a la molécula de celulosa; es un producto soluble en agua, no tóxico y que cada vez es más utilizado (Enebro *et al.*, 2007). Las películas comestibles formadas con CMC son resistentes, transparentes y pueden ser flexibles con la adición de plastificantes como glicerol. Sin embargo, la disminución en la fuerza tensil debe ser considerada como una limitante para el contenido de glicerol. Se observó que en películas de CMC: glicerol 2:1 la fuerza tensil fue de 48 N, mientras que al aumentar la concentración de glicerol a una proporción 2:3 la fuerza tensil observada fue de 7.9 N. (Boateng *et al.*, 2009).

Además de las propiedades mecánicas, las películas formuladas con CMC también tienen aplicaciones limitadas a causa de las altas permeabilidades al vapor de agua (Espinoza-Herrera *et al.*, 2011). Sin embargo, la permeabilidad al vapor de agua de dichas películas puede ser disminuida. En un estudio realizado por De Moura *et al.* (2011), las propiedades de las películas formadas con CMC al 2% mejoraron al adicionar quitosano. Al agregar nanopartículas de quitosano de 110 nm, bajaron los coeficientes de difusión, lo que causó que la permeabilidad al vapor de agua de las películas disminuyera de 1.12 a 0.65 g mm K⁻¹ Pa⁻¹ h⁻¹ m⁻².

2.2. Películas de carragenina

Las carrageninas son polímeros obtenidos de varias algas marinas; son solubles en agua y tienen una cadena lineal de galactanos parcialmente sulfatados. Las carrageninas se clasifican en tres grupos, kappa (κ), iota (ι) y lambda (λ), dependiendo de la posición y el número de grupos sulfatados. Las carrageninas κ , ι y λ tienen grupos sulfatados de 20%, 33% y 41% (p/p), respectivamente. La carragenina ι tiene la capacidad de producir geles termorreversibles al ser enfriada por debajo de cierta temperatura. Por tal efecto, dicha carragenina es usada ampliamente para la formación de películas en el área de alimentos (Karbwiak *et al.*, 2006).

La superficie que se obtiene al formar películas de carragenina es porosa, lo que puede provocar puntos débiles que disminuyen la fuerza tensil. En

un estudio realizado por Briones *et al.* (2004), se observó que las películas de carragenina al 5% sin plastificante presentaron menor elongación (106%) y mayor dureza (fuerza tensil 3.87 kg mm⁻²) en comparación con las películas adicionadas con glicerol al 5% que presentaron menor dureza (1.3 kg mm⁻²) y mayor flexibilidad (156.8%).

Las películas producidas con carragenina ι y glicerol muestran ventajas interesantes, tales como reducción de transferencia de oxígeno y buenas propiedades mecánicas. La adición de lípidos a la formulación de películas de dicho polisacárido disminuye la permeabilidad al vapor de agua de la película resultante. Las películas formadas con la combinación de carragenina y lípidos son una opción interesante para la encapsulación de sustancias activas, como por ejemplo agentes antimicrobianos (Hambleton *et al.*, 2008; Campos *et al.*, 2011).

2.3. Películas de almidón

Las fuentes de almidón son varias y tienen la gran ventaja de estar presentes de forma natural, lo que hace al polisacárido un excelente ingrediente a considerar en procesos industriales. El almidón es un carbohidrato que se compone de dos polímeros de unidades de glucosa: amilosa y amilopectina. La amilosa es un polímero lineal, mientras que la amilopectina es un polímero ramificado. La relación entre amilosa y amilopectina es un valor muy importante para la formación de películas comestibles y tiene influencia en las propiedades mecánicas y físicas de éstas (Tongdeesontorn *et al.*, 2011).

En general, un incremento en el contenido de amilosa dará como resultado películas con mayor dureza (Tharanathan, 2003). En un estudio realizado, se observó que al aumentar el contenido de amilosa de 14.2% a 18.4% la fuerza tensil tuvo un incremento de 7.4 a 9.6 MPa (Talja *et al.*, 2008).

Independientemente del contenido de amilosa, las películas formuladas con almidón presentan propiedades mecánicas limitadas, ya que son quebradizas; aún así, son consideradas como las películas formuladas con polisacáridos que

presentan las mejores características de flexibilidad (Wang *et al.*, 2007). Al igual que en otros casos, las propiedades mecánicas mejoran al adicionar plastificantes o al mezclar el almidón con otros biopolímeros (Tongdeesoontorn *et al.*, 2011).

Un almidón en específico que se ha estudiado para la formación de películas es el de yuca. La película formulada únicamente con este material tiene la ventaja de ser resistente a los lípidos y al calor, pero al igual que otras fuentes de almidón, presenta la gran desventaja de formar películas quebradizas y muy solubles en agua caliente y en agua fría (Qiu-Ping y Wen-Shui, 2008; Bergo *et al.*, 2010).

2.4. Películas de alginato de sodio

Debido a sus propiedades coloidales y a su capacidad de formación de geles al reaccionar con cationes de metales, el alginato de sodio es utilizado para la formación de películas comestibles (Tapia *et al.*, 2007). La formación de películas con alginato se basa en la capacidad que tiene el compuesto para reaccionar con cationes divalentes y trivalentes como calcio, hierro y magnesio, entre otros (Vargas *et al.*, 2008).

Las películas de alginato de sodio tienen menor resistencia al agua que las películas formadas con otros polisacáridos. En un estudio realizado por Fazilah *et al.* (2011), se demostró que las películas formuladas con alginato de sodio al 1.75% y 15% glicerol se disuelven en agua al 100% después de un minuto de contacto, mientras que las películas de almidón de fécula con las mismas condiciones se disuelven únicamente un 15%. La alta solubilidad del alginato de sodio puede ser explicada por la naturaleza hidrofílica del compuesto, que a su vez causa que las propiedades de barrera al vapor de agua de las películas obtenidas sean reducidas. Para disminuir este problema, se pueden agregar lípidos a la formulación (Tapia *et al.*, 2007).

En cuanto a las propiedades mecánicas, las películas de alginato presentan menor flexibilidad que las formadas con otros polisacáridos como CMC y almidón. En un estudio de Wang *et al.* (2007), las películas formadas con alginato al 1%

presentaron valores de elongación de 4.69%, mientras que las de CMC al 3% mostraron valores de 14.58% y las de almidón de papa al 2% tuvieron una elongación del 55.73%.

Para incrementar la fuerza tensil, se realizó un estudio con películas de alginato de sodio al 1.75% y 15% glicerol. Las películas fueron tratadas con cloruro de calcio mediante una inmersión en una solución al 2% durante un minuto, posteriormente se evaluó el efecto del tratamiento en las propiedades mecánicas. Las películas con cloruro de calcio mostraron un incremento significativo en la fuerza tensil de 40 a 60 MPa (Fazilah *et al.*, 2011).

2.5. Películas de gomas

La goma de algarrobo ha sido ampliamente estudiada para la formación de películas comestibles. En un estudio, se determinó que las películas obtenidas con dicha goma y plastificante presentaron valores de permeabilidad al vapor de agua bajos en comparación con otros polisacáridos. Para reducir aún más los valores de permeabilidad al vapor de agua, se agregaron esteároptenos y cera de abeja (Bozdmeir y Tutas, 2003).

La goma gellan también es un biopolímero utilizado para la formación de películas. En comparación con otros polisacáridos como el alginato de sodio, las películas obtenidas con la goma gellan presentan mejor protección contra el vapor de agua. En un estudio realizado por Tapia *et al.* (2007), al agregar aceite de girasol al 0.05% a películas formuladas con 0.5% goma gellan y 1% glicerol, la permeabilidad al vapor de agua disminuyó de 0.26×10^{-9} g m⁻¹ s⁻¹ Pa⁻¹ a 0.20×10^{-11} g m⁻¹ s⁻¹ Pa⁻¹.

Otra goma que ha sido probada en la elaboración de películas comestibles es la goma guar. En un estudio realizado por Mehyar *et al.* (2011), se demostró que las películas con goma guar adicionadas con sorbato de potasio conservaron mejor ciertos vegetales en comparación con películas de almidón formuladas con el mismo conservador. Por ejemplo, *C. cucumerinum* en pepinos después de 5 días de incubación tuvo una reducción de 1.5 log UFC/g

con la película formulada con 1% goma guar y 0.1% sorbato de potasio, mientras que la película de almidón al 4% y misma cantidad de conservador presentó una reducción de 0.4 log UFC/g.

También se han realizado estudios utilizando goma xantana para formar películas. Al igual que las películas formadas con CMC, las películas con goma xantana presentan la ventaja de ser transparentes. Sin embargo, al igual que al utilizar otros polisacáridos, se debe agregar glicerol a la formulación para mejorar las propiedades mecánicas de las películas comestibles obtenidas (Boateng *et al.*, 2009).

2.6. Películas de mezclas de polisacáridos

Las películas producidas con un sólo tipo de material pueden presentar ciertos aspectos deseables, pero mostrar desventajas en otras áreas (Jia *et al.*, 2009). Por tal motivo, en algunas ocasiones los materiales deben ser mezclados para obtener las características requeridas. Cada película, dependiendo de su formulación, tendrá propiedades diferentes (Liu *et al.*, 2006).

Existen estudios con los compuestos almidón-carboximetilcelulosa usando distintas concentraciones de carboximetilcelulosa (de 0 a 40% peso/peso del almidón) y 30% glicerol como plastificante. Tongdeesoontorn *et al.* (2011) observaron que la fuerza tensil de películas de almidón aumentó de 5 N/mm² a 30 N/mm² al agregar carboximetilcelulosa en la misma cantidad. Mientras que la elongación bajó de 42 mm en las películas con almidón puro, a 18 mm en las películas con almidón y CMC. Por lo tanto, se concluyó que al aumentar la concentración de CMC se incrementó la fuerza tensil y se redujo la elongación; también se redujo la solubilidad en agua de las películas resultantes.

En una investigación de Peressini *et al.* (2004) se evaluaron películas de metilcelulosa y almidón a distintas concentraciones. Debido a la naturaleza hidrofílica de los compuestos, las películas preparadas no fueron buenas barreras al vapor de agua. No existió variación significativa del valor de permeabilidad al vapor de agua de todas las

formulaciones probadas (26.2×10^{-11} g m⁻¹ s⁻¹ Pa⁻¹). Sin embargo, las propiedades mecánicas en función de las distintas concentraciones estudiadas presentaron variaciones.

Otra combinación que ha sido estudiada es almidón al 3% con goma xantana y glicerol al 20%. La adición de goma xantana produjo un efecto positivo en las propiedades mecánicas; las películas con ambos compuestos presentaron mayor resistencia a la ruptura y más estabilidad que las películas formadas únicamente con almidón. A las mismas condiciones, las películas de almidón presentaron valores de 2.5 MPa de resistencia a la ruptura; mientras que al agregar 10% de goma xantana la resistencia aumentó a 5.5 MPa (Melo *et al.*, 2011).

3. Aplicaciones en alimentos de películas comestibles preparadas con polisacáridos

Las películas comestibles presentan varias opciones de usos y aplicaciones en alimentos. Además de funcionar como barreras, las películas pueden ser usadas para ser acarreadoras de saborizantes, nutracéuticos, agentes antimicrobianos, antioxidantes e ingredientes funcionales como vitaminas y minerales (Vargas *et al.*, 2008). En general, se busca que las películas comestibles ayuden a disminuir el oscurecimiento, la deshidratación y pérdida de agua, conserven sabores y retarden la putrefacción por microorganismos de diversos alimentos (Rojas-Graü *et al.*, 2009).

Una aplicación ampliamente estudiada es utilizar películas comestibles adicionadas con agentes antimicrobianos para proteger a los alimentos del riesgo de crecimiento de microorganismos y por lo tanto, prolongar la vida de anaquel de los mismos (Campos *et al.*, 2011). Tal es el caso de aplicaciones de películas comestibles en frutas y vegetales mínimamente procesados (Bourlieu *et al.*, 2009). En frutas específicamente, se han estudiado las películas de alginato de sodio para retardar el deterioro de duraznos y fresas refrigeradas (Mafsoonazad *et al.*, 2008; Moayednia *et al.*, 2009). También se ha estudiado la vida de anaquel de manzanas, pepinos y tomates refrigerados tratados con películas de

almidón adicionadas con sorbato de potasio (Mehyar *et al.*, 2011). De igual forma, las películas de carboximetilcelulosa ayudan a prolongar la vida de anaquel de cerezas refrigeradas y de chiles verdes (Sabularse *et al.*, 2009; Lim *et al.*, 2011).

Para aumentar la vida de anaquel de alimentos, las películas comestibles se pueden combinar con el método de atmósfera modificada para la protección de frutas frescas cortadas; en otros casos, se les agrega algún ácido orgánico, aceite esencial o sulfitos (Rojas-Graü *et al.*, 2009).

Otro método que se ha estudiado para aumentar la vida de anaquel de ciertos alimentos, es el de películas comestibles en conjunto con radiación. Hussain *et al.* (2010) demostraron que la vida de anaquel de peras refrigeradas aumentó 12 días, en comparación con el sistema control, al utilizar películas de 1% carboximetilcelulosa en conjunto con radiación gamma a 1.5 kGy.

Entre las aplicaciones estudiadas de películas de polisacáridos en el área de alimentos, está su uso en la deshidratación osmótica, con el fin de disminuir la absorción de sólidos e incrementar la pérdida de agua. Dehghannya *et al.* (2006) realizaron un estudio de deshidratación osmótica de manzanas rebanadas utilizando películas de CMC al 1%; estos investigadores observaron que en comparación con el sistema control la pérdida de agua de la fruta aumentó de 28.7 a 29.6%, mientras que la absorción de sal disminuyó de 4.75 a 3.22%.

La prevención de rancidez oxidativa de lípidos insaturados también ha sido estudiada como aplicación de películas formuladas con polisacáridos. En un estudio realizado usando películas de almidón de papa al 2% y 10% glicerol, se demostró que las películas comestibles actuaron como barrera contra el oxígeno y retardaron la rancidez en aceite de girasol con altos contenidos de ácidos grasos insaturados. El aceite cubierto con las películas presentó un valor de peróxido de 10 mEq O₂ /kg de aceite después de 15 días con una prueba de rancidez, en comparación con el aceite sin tratar en el que el valor de peróxido fue de 25 mEq O₂ /kg de aceite en las mismas condiciones. Los resultados obtenidos se pueden extender a

cualquier alimento o sustancia con un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (Osés *et al.*, 2009).

Otra aplicación de las películas comestibles es para mejorar el valor nutrimental de los alimentos. Las películas formadas con alginato, carragenina o algunos derivados de celulosa han sido utilizadas como barreras para que los alimentos fritos no absorban tanto aceite (Marrs *et al.*, 2003; Fontes *et al.*, 2011).

Las películas comestibles de polisacáridos también se utilizan en algunos procesos de dulces y pasteles. Para la producción de dulces, las películas son utilizadas para que los productos conserven su textura y sabor (Ergun *et al.*, 2010). En un estudio se demostró que las películas de goma xantana al 1.2 y 2.4% fueron eficientes para reducir en un 3% la pérdida de humedad de un pastel sin azúcar después de seis días de almacenamiento (Panchev *et al.*, 2005).

Conclusiones y comentarios finales

A partir de la revisión, se concluye que las películas comestibles formuladas con polisacáridos generalmente son quebradizas. Por lo que para mejorar sus propiedades mecánicas de películas se ha estudiado la adición de plastificantes. Las películas formuladas con glicerol son más flexibles en comparación con las obtenidas usando otros plastificantes. Entre los polisacáridos estudiados, el alginato de sodio produce las películas menos flexibles y con mayor dureza, mientras que las películas de almidón son más flexibles y con mayores porcentajes de elongación. Así mismo, para mejorar la fuerza tensil de películas de almidón se puede adicionar CMC o alguna goma.

Además las películas formuladas con polisacáridos presentan altos valores de permeabilidad al vapor de agua. La permeabilidad al vapor de agua de las películas formadas con gomas es generalmente menor que las películas obtenidas con otros polisacáridos y puede disminuir aún más con la adición de aceites vegetales.

Por las diversas aplicaciones que tienen las películas comestibles en el área de alimentos, la tendencia del mercado del uso de las mismas continúa aumentando; ya sea en forma individual o en conjunto con otros métodos. Las características de las películas comestibles formuladas con polisacáridos dependen directamente del tipo de producto y proceso. Por esta razón, las investigaciones continuarán hacia la búsqueda de nuevas tecnologías para mejorar las limitantes de las películas obtenidas con polisacáridos.

Agradecimientos

M. F Domínguez-Courtney agradece a la Universidad de las Américas Puebla y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, México) por las becas recibidas para la realización de los estudios de doctorado.

Referencias

- Bergo, P. P., Sobral, P. A. y Prison, J. M. 2010. Effect of glycerol on physical properties of cassava starch films. *Journal of Food Processing & Preservation*. (34):401-410.
- Boateng, J. S., Stevens, H., N., Eccleston, G. M., Auffret, A., D., Humphrey, M. J. y Matthews K. H. 2009. Development and mechanical characterization of solvent-cast polymeric films as potential drug delivery systems to mucosal surfaces. *Drug Development and Industrial Pharmacy*. 35(8):986-996
- Bourlieu, C. C., Guillard, V. V., Valles-Pamies, B. B., Guilbert, S. S. y Gontard, N. N. 2009. Edible moisture barriers: how to assess of their potential and limits in food products shelf-life extension? *Critical Reviews In Food Science & Nutrition*. 49(5):474-499.
- Bozdemir, Ö. y Tutas, M. 2003. Plasticizer effect on water vapour permeability properties of locust bean gum-based edible films. *Turkish Journal of Chemistry*. 27(6):773-782.
- Brindle, L. P. y Krochta, J. M. 2008. Physical properties of whey protein-hydroxypropylmethylcelullose blend edible films. *Journal of Food Science*. 73(9):446-454
- Briones, A. V., Ambal W. O., Estrella, R. R., Pangilinan, R., De Vera, C. J., Pacis, R. L., Rodriguez, N. y Villanueva M. 2004. Tensile and tear strength of carrageenan film from philippine eucheuma species. *Marine Biotechnology*. 6:148-151
- Campos, C. A., Gerschenson, L. N. y Flores S. K. 2011. Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food Bioprocess Technol*. 4:849-875
- Chambi, H., y Grosso, C. 2011. Effect of surfactants on the functional properties of gelatin-polysaccharide-based films. *European Food Research & Technology*. 232(1):63-69.
- Chen, C. P., Wang, B. W. y Weng, Y. M. 2010. Physiochemical and antimicrobial properties of edible aloe/gelatin composite films. *International Journal of Food Science & Technology*. 45(5):1050-1055.
- Dehghannya, J. J., Emam-Djomeh, Z. Z., Sotudeh-Gharebagh, R. R. y Ngadi, M. M. 2006. Osmotic dehydration of apple slices with carboxy-methyl cellulose coating. *Drying Technology*. 24(1):45-50.
- De Moura, M. R., Lorevice, M. V., Mattoso, L. C. y Zucolotto, V. 2011. Highly stable, edible cellulose films incorporating chitosan nanoparticles. *Journal of Food Science*. 76(2):25-29.
- Enebro, J., Momcilovic, D., Siika-aho, M. y Karlsson, S. 2007. A new approach for studying correlations between the chemical structure and the rheological properties in carboxymethyl cellulose. *Biomacromolecules*. 8(10):3235-3257.
- Ergun, R. R., Lietha, R. R. y Hartel, R. W. (2010). Moisture and shelf life in sugar confections. *Critical Reviews In Food Science & Nutrition*. 50(2):162-192.
- Espino-Díaz, M., Ornelas-Paz, J., Martínez-Téllez, M. A., Santillán, C., Barbosa-Cánovas, G. V., Zamudio-Flores, P. B. y Olivas, G. I. 2010. Development and characterization of edible films based on mucilage of opuntia ficus-indica (L.). *Journal of Food Science*. 75(6):347-352.
- Espinosa-Herrera, N., Pedroza-Islands, R., San Martín-Martínez, E., Cruz-Orea, A., y Tomás, S. 2011. Thermal, mechanical and microstructures properties of cellulose derivatives films: a comparative study. *Food Biophysics*. 6(1):106-114.
- Fazilah, A. A., Maizura, M. M., Abd Karim, A. A., Bhupinder, K. K. y Rajeev, B. B. 2011. Physical and

- mechanical properties of sago starch-alginate films incorporated with calcium chloride. *International Food Research Journal.* 18(3):1027-1033.
- Fontes, L. B., Ramos, K. K., Sivi, T. C. y Queiroz, F. C. 2011. Biodegradable edible films from renewable sources-potential for their application in fried foods. *American Journal of Food Technology.* 6(7):555-567.
- Hambleton, A., Debeaufort, F., Beney, L., Karbowiak, T. y Voilley, A. 2008. Protection of active aroma compound against moisture and oxygen by encapsulation in biopolymeric emulsion-based edible films. *Biomacromolecules.* 9(3):1058-1063.
- Hussain, P. R., Meena, R. S., Dar, M. A. y Wani, A. M. 2010. Carboxymethyl cellulose coating and low-dose gamma irradiation improves storage quality and shelf life of pear (*Pyrus Communis L.*, Cv. Bartlett/William). *Journal of Food Science.* 75(9):586-596.
- Javanmard, M. M., Ahangari, R. R., y Tavakolipour, H. H. 2011. Effects of wheat starch edible films on rancidity and moisture uptake of pistachio kernels as a new package. *Journal of Food Process Engineering,* 34(4):1156-1171.
- Jia, D., Yu, F. y Kai, Y. 2009. Water vapor barrier and mechanical properties of konjac glucomannan-chitosan-soy protein isolate edible films. *Food & Bioproducts Processing.* 87(1):7-10.
- Jongjareonrak, A., Benjakul, S., Visessanguan, W. y Tanaka, M. 2006. Effects of plasticizers on the properties of edible films from skin gelatin of bigeye snapper and brownstripe red snapper. *European Food Research and Technology.* 222(3-4):229-235.
- Karbowiak, T., Hervet, H., Leger, L., Champion, D., Debeaufort, F. y Voilley, A. 2006. Effect of plasticizers (water and glycerol) on the diffusion of a small molecule in iota-carrageenan biopolymer films for edible coating application. *Biomacromolecules.* 7(6):2011-2019.
- Khan, T., Park, J. K. y Kwon, J. H. 2007. Functional biopolymers produced by biochemical technology considering applications in food engineering. *Korean Journal of chemical Engineering.* 24(5):816-826.
- Lim, R. R., Stathopoulos, C. E. y Golding, J. B. 2011. Effect of edible coatings on some quality characteristics of sweet cherries. *International Food Research Journal.* 18(4):1237-1241.
- Liu, L., Kerry, J. F., & Kerry, J. P. 2006. Effect of food ingredients and selected lipids on the physical properties of extruded edible films/casings. *International Journal of Food Science & Technology.* 41(3):295-302.
- Maftoonazad, N., Ramaswamy, H. S. y Marcotte, M. 2008. Shelf-life extension of peaches through sodium alginate and methyl cellulose edible coatings. *International Journal of Food Science & Technology.* 43(6):951-957.
- Marrs, M., Titoria, P. y Madden, J. 2003. Ingredients That Gel. *Prepared Foods.* 172(6):67-76.
- Mehyar, G. F., Al-Qadiri, H. M., Abu-Blan, H. A. y Swanson, B. G. 2011. Antifungal effectiveness of potassium sorbate incorporated in edible coatings against spoilage molds of apples, cucumbers, and tomatoes during refrigerated storage. *Journal of Food Science.* 76(3):210-217.
- Melo, C., Grossmann, M., Yamashita, F., Youssef, E., Dall'Antonia, L. y Mali, S. 2011. Effect of manufacturing process and xanthan gum addition on the properties of cassava starch films. *Journal of Polymers and The Environment.* 19(3):739-749.
- Moayednia, N., Ehsani, M. R., Emamjomeh, Z., Asadi, M. M., Mizani, M. y Mazaheri A.F. 2009. Effect of sodium alginate concentrations on viability of immobilized *lactobacillus achidophilus* in fruit alginate coating during refrigeration storage. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences.* 3(4):3213-3226
- Nanda, R. y Nayak, P. 2009. Edible biodegradable films for packaging applications. *Popular Plastics & Packaging.* 54(2):17-22.
- Osés, J., Niza, S., Ziani, K., y Maté, J. I. 2009. Potato starch edible films to control oxidative rancidity of polyunsaturated lipids: effects of film composition, thickness and water activity. *International Journal of Food Science & Technology.* 44(7):1360-1366.
- Panchev, I. N., Baeva, M. R. y Lambov, S. I. 2005. Influence of edible films upon the moisture loss and microstructure of dietetic sucrose-free sponge cakes during storage. *Drying Technology.* 23(4):925-940.
- Peressini, D. D., Bravin, B. B. y Sensidoni, A. A. 2004. Tensile properties, water vapour permeabilities and solubilities of starch-methylcellulose-based edible films. *Italian Journal of Food Science.* 16(1):5-16.
- Qiu-Ping, Z., y Wen-Shui, X. 2008. Physicochemical properties of edible and preservative films from chitosan/cassava starch/gelatin blend plasticized

- with glycerol. *Food Technology & Biotechnology*. 46(3):262-269.
- Rachtanapun, P., Pankan, D. y Srisawat, D. 2012. Edible films of blended cassava starch and rice flour with sorbital and their mechanical properties. *Journal of Agricultural Science and Technology*. (2):252-258.
- Rawdkuen, S., Sai-Ut, S., y Benjakul, S. 2010. Properties of gelatin films from giant catfish skin and bovine bone: a comparative study. *European Food Research & Technology*. 231(6):907-916.
- Rojas-Graü, M., Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R. y Martín-Belloso, O. 2009. The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review. *International Journal of Food Science & Technology*. 44(5):875-889.
- Sabularse, V. C., Montalbo, M. D., Hernandez, H. P., y Serrano, E. P. 2009. Preparation of nata de coco-based carboxymethylcellulose coating and its effect on the post-harvest life of bell pepper (*Capsicum annuum l.*) fruits. *International Journal of Food Sciences & Nutrition*. 60(7):206-218.
- Talja, R. A., Peura, M., Serimaa, R. y Jouppila, K. 2008. Effect of amylose content on physical and mechanical properties of potato-starch-based edible films. *Biomacromolecules*. 9(2):658-663.
- Tapia, M., Rojas-Graü, M., Rodriguez, F., Ramirez, J., Carmona, A. y Martin-Belloso, O. 2007. Alginate- and gellan-based edible films for probiotic coatings on fresh-cut fruits. *Journal of Food Science*. 72(4):190-196.
- Tharanathan, R. N. 2003. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in Food Science & Technology*. 14(3):71.
- Tongdeesoontorn, W., Mauer, L. J., Wongruong, S., Sriburi, P. y Rachtanapun, P. 2011. Effect of carboxymethyl cellulose concentration on physical properties of biodegradable cassava starch-based films. *Chemistry Central Journal*. 5(6):1-8.
- Vargas, M., Pastor, C., Chiralt, A., McClements, D. y Gonzalez-Martinez, C. 2008. Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. *Critical Reviews In Food Science & Nutrition*, 48(6):496-511.
- Wang, L. Z., Li, L., Holmes, J., Kerry, J. F. y Kerry, J. P. 2007. Assessment of film-forming potential and properties of protein and polysaccharide-based biopolymer films. *International Journal of Food Science & Technology*. 42(9):1128-1138.