



Películas comestibles de proteína: características, propiedades y aplicaciones

C. Montalvo*, A. López-Malo y E. Palou.

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

Resumen

Las películas comestibles se utilizan para alargar la vida útil de los alimentos actuando como barrera selectiva contra los gases y la humedad. Las películas elaboradas con proteína presentan buenas propiedades mecánicas y de barrera, debido a que las proteínas tienen una estructura única que les confieren un amplio espectro de propiedades, que están influenciadas por su estructura heterogénea, sensibilidad térmica y características hidrofílicas. Las interacciones poliméricas que se presentan en la proteína generan películas con una red proteica rígida, menos flexibles y menos permeables a los gases y vapores que otras películas. Estas propiedades pueden ser mejoradas aplicando métodos químicos, físicos o adicionando materiales hidrofóbicos u otros polímeros. En esta revisión se hace una descripción de las proteínas que se utilizan como materia prima para la elaboración de películas comestibles, de las propiedades que presentan y de cómo pueden ser mejoradas estas propiedades para ser aplicadas en alimentos.

Palabras clave: películas comestibles, proteínas, biopolímeros.

Abstract

Edible films can extend the shelf life of foods acting as selective barrier against gases and moisture. Protein edible films have good mechanical and barriers properties, because proteins have a unique structure which confers a wider range of properties, which are highly dependent on structural heterogeneity, thermal sensitivity, and hydrophilic characteristics. The polymer interactions result in films with strong network, but less flexible and less permeable to gases and vapors. These properties could be improved applying chemical or physical methods, or combining proteins with hydrophobic material or some polymers. This review shows a description of proteins that could be used like raw matter to make edible films, their properties and how it could be enhanced to be applied on foods.

Keywords: edible films, proteins, biopolymers.

Introducción

Las películas comestibles se definen como una capa delgada de polímero que puede ser consumida y empleada en la superficie de un

alimento, que puede aplicarse como capas continuas entre los diferentes componentes o utilizarse como cubierta durante su elaboración (Kowalczyk y Baraniak, 2011). Las películas comestibles se pueden formar a partir de biopolímeros que tengan la propiedad de formar películas como los polisacáridos, proteínas y lípidos, los cuales deberán ser

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

previamente dispersos y disueltos en un disolvente, generalmente agua, para posteriormente ser vertidas y secadas a la temperatura deseada para obtener el material de empaque. Actualmente se están desarrollando nuevas tecnologías en materiales de empaque como una respuesta a las tendencias de comercialización global que permitan una mayor distribución de alimentos. Debido a ello, se ha incrementado el interés en las películas comestibles para que cumplan con algunos requerimientos que apoyen en el control de las causas de deterioro del alimento, sin olvidar que estas necesidades dependerán de la naturaleza del alimento en el que se vayan a aplicar. Algunos requerimientos deseables en las películas son el control en la permeabilidad al vapor de agua y solutos, permeabilidad selectiva a gases y compuestos volátiles y control en la pérdida o intercambio de sabor en los alimentos, entre otros.

Aunque las películas comestibles elaboradas con biopolímeros presentan en general buenas propiedades de barrera al oxígeno, se considera que las películas de proteína son las más efectivas en este sentido. Esto debido a la estructura compleja que se forma como resultado de la interacción de los monómeros que pueden estar presentes en la matriz, los cuales, dependiendo de su naturaleza (hidrofóbica o hidrofílica), tendrán un efecto en las propiedades de la película comestible. Otros factores que pueden influir en las propiedades que presentan este tipo de películas son el valor de pH de la solución de proteína, el uso de plastificantes, las condiciones de formación y las sustancias incorporadas a la solución formadora de la película. Varios tipos de proteínas han sido utilizadas para la formación de películas comestibles, entre ellas se encuentran gelatina, caseína, proteína de suero, gluten de trigo y proteínas de soya, por mencionar algunas, todas ellas con propiedades funcionales particulares principalmente por el origen diverso de la matriz proteica utilizada.

El enfoque de este trabajo es conocer las diferentes fuentes de proteína que pueden ser utilizadas como materia prima en la elaboración de películas comestibles, hacer una revisión acerca de los métodos que pueden utilizarse para su fabricación y de las propiedades funcionales que presentan, así como de algunas variantes que se utilizan durante su proceso de elaboración (plastificantes, aditivos, condiciones térmicas, etc.) con el fin de mejorar dichas propiedades. Además se incluye una sección acerca de las aplicaciones de este tipo de películas al ser utilizadas como recubrimientos en alimentos de diferente naturaleza.

Revisión bibliográfica

1. Películas de proteína

La película comestible es una matriz preformada, delgada que se aplica directamente al alimento, que puede ser utilizada en forma de recubrimiento o que formará parte de la composición del alimento. Los polímeros naturales como las proteínas, ofrecen una gran oportunidad para ser utilizados como materia prima en la elaboración de películas comestibles debido a su biodegradabilidad y a que pueden suplementar el valor nutritivo de los alimentos. Por otro lado, le confieren al polímero un amplio rango de propiedades debido al potencial que tienen para formar enlaces intermoleculares (Bourtoom, 2009).

Las proteínas pueden adquirir diversas conformaciones: estructura primaria, dependiendo de la secuencia de aminoácidos presentes; estructura secundaria, basada en atracciones electrostáticas, fuerzas de van der Waals, puentes de hidrógeno y enlaces disulfuro a lo largo de la cadena polimérica; estructura terciaria, que se refiere a cómo se pliega la estructura secundaria sobre sí misma y que utiliza los mismos tipos de enlaces y fuerzas de atracción antes mencionadas

(Damodaran, 1997). Con base en este tipo de estructura, se forman proteínas de tipo fibroso, que están asociadas estrechamente unas con otras en estructuras paralelas, y de tipo globular, enrolladas sobre sí mismas en estructuras esféricas (Badui, 2006). Finalmente también se pueden formar estructuras cuaternarias donde una unidad proteica interacciona con otra para formar una estructura única que puede tener funcionalidad biológica, característica que es utilizada por las células para formar órganos y tejidos (Damodaran, 1997). Gracias a las diferentes conformaciones que pueden presentar las proteínas, es que se pueden formar películas con alto grado de cohesividad, que son estabilizadas cuando se forman nuevos enlaces o interacciones.

Dentro de las proteínas fibrosas, el colágeno ha recibido una gran atención en la producción de películas comestibles (Villada *et al.*, 2007); sin embargo, proteínas globulares como el gluten de trigo, la zeína de maíz, la proteína de soya y la proteína de suero de leche, también están siendo investigadas para la formación de películas (Rakotonirainy *et al.*, 2001; Tanada-Palmu y Grosso, 2003; Bourtoom, 2008a). Adicionalmente se puede clasificar a las proteínas que se han utilizado para la elaboración de películas, en proteínas de origen vegetal y de origen animal.

1.1 Películas de proteínas de origen vegetal

Las frutas y vegetales generalmente tienen un bajo contenido de proteína, siendo los polisacáridos el componente mayoritario de las mismas y que han sido utilizados como materia prima para la elaboración de películas y cubiertas comestibles. Por otro lado, los cereales y las leguminosas tienen un mayor contenido de proteínas en su composición (8-15% y 17-45%, respectivamente), siendo aisladas y estudiadas para la formación de películas comestibles (Olvera-Novoa y Olivera-Castillo, 2000).

Las películas obtenidas de zeína (proteína mayoritaria del maíz) y de gluten de trigo, se obtienen por el secado de dispersiones alcohólicas utilizadas para solubilizar a la proteína, ya que debido a la gran cantidad de aminoácidos no polares que poseen (46% y 39%, respectivamente) son prácticamente insolubles en agua. Este tipo de proteínas forman películas con propiedades similares: brillantes, impermeables a la grasa, con bajos niveles de permeabilidad al O₂ y CO₂, y baja permeabilidad al vapor de agua en comparación con otras películas de proteína (Ghanbarzadeh *et al.*, 2007). En el caso de leguminosas, investigadores como Rhim *et al.* (1999, 2000, 2002) y Cho *et al.* (2007) han estudiado el potencial de la proteína de soya para la formación de películas comestibles. Generalmente se utilizan aislados de proteína de soya, con más del 90% de proteína, obtenidos por extracciones ácidas y alcalinas, que posteriormente se solubilizan en soluciones acuosas alcalinas para formar las películas cuando se elimina el disolvente por secado (Rhim *et al.*, 2000). Las películas de proteína de soya requieren de la adición de plastificantes para darles textura y flexibilidad, siendo el glicerol y el sorbitol los más usados (Rhim *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2003). Sin embargo otras leguminosas que también se están usando para la obtención de películas comestibles son el frijol verde, haba, chícharo y garbanzo, aunque la información acerca de ellas todavía es limitada (Bourtoom, 2008b; Saremnezhad *et al.*, 2011; Adebiyi y Aluko, 2011; Kowalczyk y Baraniak, 2011).

1.2 Películas de proteínas de origen animal

Las proteínas derivadas de la leche, como las del suero y caseína, se han estudiado ampliamente debido a su alto valor nutricional. La caseína se utiliza para obtener películas a partir de soluciones acuosas debido a su habilidad para formar enlaces intermoleculares (hidrógeno, electrostáticos e hidrofóbicos), que incrementan la cohesión del polímero (Atarés

et al., 2010). Sin embargo, se prefiere utilizar caseinatos de sodio o potasio, debido a que se mejora su solubilidad en agua y se obtienen películas con mejores propiedades funcionales: no presentan olor ni sabor, tienen buena flexibilidad y son transparentes, características que también se pueden encontrar en las películas obtenidas a partir de proteínas del suero (Yoo y Krochta, 2011). Las proteínas del suero de leche están formadas por diferentes proteínas individuales globulares y termolábiles, constituidas principalmente por β -lactoglobulina, las películas comestibles a las que dan origen se caracterizan por presentar buenas propiedades de barrera al oxígeno, a los lípidos y a los aromas (Regalado *et al.*, 2006).

Otra proteína de origen animal es el colágeno, se clasifica como fibrosa y está presente en piel y tejido conectivo, tiene puentes intra e intermoleculares debido a la formación de enlaces covalentes (ester, amida y enlaces peptídicos) que se forman en la matriz polimérica, aunque los enlaces disulfuro también juegan un rol importante en la estructura; sin embargo, estos no son muy numerosos debido al bajo contenido de cisteína presente en este tipo de proteína (Xiong, 1997). Las películas obtenidas a partir de este material se han usado para embutidos, ya que presentan una buena barrera a los gases y buenas propiedades mecánicas (Lacroix y Cooksey, 2005). Con la hidrólisis parcial del colágeno, llevada a cabo en condiciones alcalinas y temperaturas de 60 °C, se obtiene la gelatina, que también puede ser utilizada para obtener películas comestibles (Hoque *et al.*, 2011). Este tipo de películas se caracterizan por ser claras, flexibles e impermeables al oxígeno; sin embargo, son muy hidrofílicas por lo tanto, no presentan buena permeabilidad al vapor de agua (Bourtoom, 2008a).

Las proteínas miofibrilares (formadas por actina y miosina) se encuentran en el músculo

de mamíferos y peces, siendo estos últimos la principal fuente de proteína para la obtención de películas. Las películas que se obtienen generalmente presentan elevada permeabilidad al vapor de agua y no muy buenas propiedades mecánicas, por lo cual se deben someter a un proceso de desnaturización proteica previo a la formación de la película comestible (Limpan *et al.*, 2010).

2. Formación de películas de proteína

La formación de una red macromolecular de proteína requiere de tres pasos: 1) ruptura de enlaces intermoleculares de baja energía que estabilicen a los polímeros en el estado nativo, 2) arreglo y orientación de las cadenas poliméricas, y 3) formación de una red tridimensional que se estabilice por la formación de nuevos enlaces (Cuq *et al.*, 1998).

La probabilidad de formar enlaces intermoleculares depende de la forma de la proteína y de las condiciones utilizadas durante el proceso de elaboración (Tian *et al.*, 2011). Generalmente, las proteínas globulares deben ser desnaturizadas por calentamiento, empleo de medios acuosos ácidos o básicos, o por solventes, con la intención de formar estructuras más extendidas que son requeridas para la formación de películas. Una vez extendida, las cadenas de proteínas pueden asociarse por uniones de hidrógeno, iónicas, hidrofóbicas y enlaces covalentes. La interacción entre cadenas produce una película cohesiva que es afectada por el grado de extensión de la cadena (estructura de la proteína), así como por la naturaleza y secuencia de los residuos de aminoácidos. La distribución uniforme de grupos polares, hidrofóbicos, y/o grupos tioles a lo largo del polímero incrementa la probabilidad de las interacciones (Krochta, 1997).

Hay dos tecnologías que se utilizan comúnmente para preparar películas: el

proceso húmedo y el proceso seco (Fig.1). Para la formación de películas de proteína puede utilizarse cualquiera de los dos procesos, a nivel de investigación se utiliza más el método húmedo por su efectividad y bajo costo, aunque el método seco es más rápido y puede requerir menos energía.

El proceso húmedo se basa en la dispersión o solubilización de las proteínas en un solvente y su posterior eliminación para dar lugar a la formación de la película (Guerrero *et al.*, 2010). Algunas proteínas presentan poca solubilidad en agua debido al bajo contenido de aminoácidos polares ionizables que contienen, como en el caso de la zeína y kafirina (proteína del sorgo); sin embargo, esto favorece la formación de películas en un amplio rango de pH (4.4-9.4) (Romero-Bastida *et al.*, 2004; Ghanbarzadeh *et al.*, 2007). En contraste, las películas de soya tienen una elevada cantidad de aminoácidos polares (25%), lo que limita la formación de la

película a valores de pH ligeramente ácidos; las condiciones recomendables, para promover reacciones de intercambio de puentes disulfuro que favorezcan la formación de la película, son valores de pH entre 7 y 10 y temperaturas mayores a 70 °C (Cuq *et al.*, 1998; Rhim *et al.*, 2000). La selección del solvente es uno de los factores más importantes, sobre todo para la formación de películas comestibles, donde agua, alcohol, ácido acético (en algunos casos) y sus mezclas son los solventes apropiados para este fin (Taylor *et al.*, 2005). También puede ser necesaria la adición de agentes dispersantes (mercaptoetanol o sulfito de sodio, entre otros) para solubilizar la proteína y el ajuste de pH mediante la adición de ácidos (láctico, clorhídrico o acético) o bases (amonio, hidróxido de sodio o potasio) (Rhim *et al.*, 2000; Rhim *et al.*, 2002; Taylor *et al.*, 2005; Byaruhanga *et al.*, 2007). Todos los componentes deben ser disueltos para producir la solución formadora de película que podrá ser aplicada a superficies planas ya sea por

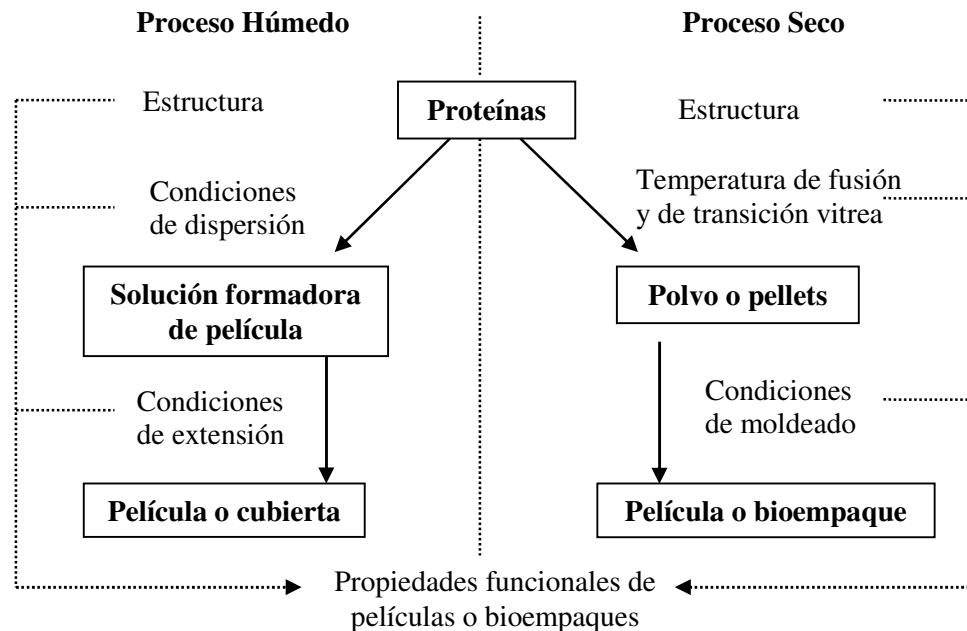


Fig. 1. Representación esquemática de los dos procesos tecnológicos utilizados para obtener películas comestibles de proteína (Adaptada de Cuq *et al.*, 1998).

vertido, rociado o paso por rodillos, y posteriormente ser sometida a condiciones controladas de temperatura y/o de humedad relativa para eliminar el solvente y formar la película comestible (Han y Gennadios, 2005; Ghanbarzadeh *et al.*, 2007). Las condiciones de secado que se utilizan (temperatura del ambiente, luz UV, energía infrarroja o de microondas) pueden tener efecto en las propiedades físicas de la película formada, incluyendo morfología, apariencia y propiedades mecánicas y de barrera (Jangchud y Chinnan, 1999a; Rhim *et al.*, 2000; Byaruhanga *et al.*, 2007; Denavi *et al.*, 2009).

El proceso seco se basa en las propiedades termoplásticas de la proteína en condiciones de humedad bajas, donde generalmente se realiza un prensado térmico o moldeado por compresión del polímero. Se deben alcanzar temperaturas por arriba del punto de fusión y de la transición vítrea de la proteína, para ello se puede utilizar una prensa hidráulica con placas previamente calentadas a temperaturas que pueden ir de 100 a 150 °C, como en el caso de las películas elaboradas con proteína de soya o gelatina (Guerrero *et al.*, 2010; Krishna *et al.*, 2012). Cuando se alcanza el punto de fusión en un polímero, su fracción cristalina se transforma en un líquido con estructura desordenada; mientras que en la transición vítrea se caracteriza por cambios en su fracción amorfa, pasando de un estado vítreo estable a un estado desordenado y gomoso donde el material se transforma en blando y flexible (Cuq *et al.*, 1998). Estos cambios en las propiedades termoplásticas permiten que la matriz polimérica forme una película cohesiva (Byaruhanga *et al.*, 2007). La cohesión del material es una propiedad muy importante, ya que puede tener efecto en las propiedades mecánicas del material final, y se define como la fuerza atractiva entre las moléculas de la misma sustancia (Han y Gennadios, 2005). Finalmente, las películas comestibles de proteína obtenidas se pueden

moldear por extrusión o compresión (Guerrero *et al.*, 2010; Krishna *et al.*, 2012).

3. Propiedades de las películas de proteína

Las conformaciones secundaria, terciaria y cuaternaria de las proteínas pueden ser modificadas por varios agentes físicos (temperatura, tratamientos mecánicos y presión) o químicos (adición de lípidos, ácidos o álcalis) (Tian *et al.*, 2012). Estos agentes se utilizan generalmente en la formación de películas de proteína para optimizar la interacción entre aminoácidos y favorecer la formación de polímeros con mayor estabilidad.

3.1. Propiedades de barrera

La aplicación de las películas comestibles se debe en gran medida a las propiedades de barrera a gases y/o vapores que presenten, ya que éstas pueden influir en diferentes procesos que pueden ocurrir en los alimentos (oxidación, cambios de textura por pérdida o ganancia de humedad, pérdida de aromas, entre otros), y por lo tanto incidir en su calidad final.

En las películas comestibles, durante el transporte de gas y/o vapor pueden ocurrir dos mecanismos: difusión capilar y difusión activa. El primero ocurre en materiales que son porosos o que presentan imperfecciones, y la difusión activa incluye la solubilización del gas en la película, difusión a través del material y finalmente su difusión hacia el otro lado de la película (Cayot *et al.*, 2008).

El carácter polar de las proteínas determina las propiedades de barrera de las películas comestibles. En general la mayoría de los grupos hidrofílicos libres favorecen la sorción y transferencia de vapor de agua a través de la película, en comparación con la transferencia de gases (de naturaleza hidrofóbica), para los cuales será más difícil este mecanismo (Cuq *et*

al., 1998). Adicionalmente, la permeabilidad de los gases aumenta en relación a la fracción amorfa que se presenta en la estructura proteica, ya que se refiere a cadenas poliméricas con grupos laterales voluminosos mal empacados que favorecen la movilidad de las moléculas (McHugh y Krochta, 1994). Este tipo de permeabilidad también se ve afectada por las condiciones de humedad relativa en el ambiente, los valores elevados de humedad incrementan la permeabilidad de la película (Fabra *et al.*, 2012). Por lo tanto es muy importante mantener una baja humedad relativa en el sistema para maximizar la efectividad de la película como barrera para gases.

En este sentido Bamdad *et al.* (2006) observaron que, la permeabilidad de películas de proteína de lenteja es mayor (0.30 ng / m s Pa) que la permeabilidad que presentan las películas de zeína (0.116 ng / m s Pa), presumiblemente por la diferencia en la cantidad de aminoácidos hidrofóbicos presentes, ya que para el caso de lenteja estos representan el 13.6% del peso total de la proteína, mientras que en la zeína corresponden al 35 %. Por otro lado, Limpan *et al.* (2010) reportaron que, en películas de proteína miofibrilares de pescado y alcohol polivinílico, la permeabilidad al vapor de agua aumenta al presentarse un mayor contenido de grupos hidroxilo libres (por incremento en la cantidad del alcohol polivinílico de hasta un 40 %), lo que favorece las características hidrofílicas del polímero, pero limita sus propiedades de barrera. En el caso de permeabilidad a los gases, se observó que en películas de caseinato, sometidas a diferentes humedades relativas (33%, 53% y 90%), se presentó una mayor permeabilidad a valores altos de humedad relativa. Esto debido a que la interacción de las moléculas de agua con los grupos polares del polímero reduce las interacciones intramoleculares entre las proteínas que, aunado a la ruptura de puentes de hidrógeno, aumenta el espacio

intermolecular y favorece la movilidad de O₂ y CO₂ ((Fabra *et al.*, 2012).

3.2. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas permiten predecir la durabilidad de la película comestible y en un momento dado la integridad del alimento. La interacción entre la proteína y pequeñas moléculas, como agua, plastificantes, lípidos y otros agentes dispersantes, tienen efecto en las propiedades mecánicas de la película comestible (Regalado *et al.*, 2006).

La fuerza de tensión y porcentaje de elongación son dos de las mediciones más comunes utilizadas para evaluar las propiedades mecánicas de películas comestibles. La fuerza de tensión se refiere al máximo estrés desarrollado en una película al someterse a una prueba de tensión, mientras el valor de elongación representa la habilidad de estirarse (Guarda y Galotto, 2001). La magnitud de estas dos propiedades está estrechamente asociada con la cantidad de plastificante presente en la película. Generalmente un incremento en la cantidad de plastificante da como resultado películas con menor fuerza de tensión y una mayor elongación, efecto observado en películas de proteína de chícharo (Choi y Han, 2001), gelatina de pescado (Andreuccetti *et al.*, 2009; Krishna *et al.*, 2012) y de proteína de harina de triticale (híbrido de trigo y centeno) (Aguirre *et al.*, 2011), donde las cantidades de glicerol varían de 10 a 75 g por cada 100 g de aislado o concentrado de proteína. Por otro lado, proteínas de alto peso molecular, por su estructura fibrosa, como colágeno y glutelina, generalmente favorecen la formación de películas con buenas propiedades mecánicas; mientras que las proteínas globulares (proteína de cacahuate, suero de leche o surimi), requieren ser desnaturizadas previo a la formación de la película, con el fin de favorecer la formación de nuevos enlaces que

den mayor estabilidad al polímero y mejorando con ello sus propiedades mecánicas (Bourtoom *et al.*, 1994; Jangchud y Chinnan, 1999a; Pérez-Gago *et al.*, 1999; Iwata *et al.*, 2000; Guo *et al.*, 2012).

3.3 Propiedades de solubilidad

Es una propiedad importante que se relaciona con el uso que podrá tener la película comestible; por ejemplo si se desea que proporcione resistencia a la humedad e integridad al alimento se preferirá que la película comestible sea insoluble, mientras que una película soluble se requiere sobre todo si contiene algún ingrediente específico (Pérez-Gago *et al.*, 1999).

Las proteínas insolubles en agua como zeína y kafirina producirán películas que son insolubles en agua; esto debido a la presencia de glutamina, aminoácido polar sin carga, que promueve la presencia de enlaces de hidrógeno en la película formada (Byaruhanga *et al.*, 2007). Las proteínas solubles en agua producirán películas de solubilidad variable, dependiendo de la proteína y de sus condiciones de formación; como en el caso de las proteínas de suero de leche (lactoalbúmina y lactoglobulina), que producen películas comestibles 100% solubles en agua, y para modificar su estructura es necesario aplicar temperaturas de 70 a 100 °C para formar nuevos enlaces que la hagan insoluble (Pérez-Gago *et al.*, 1999; Vachon *et al.*, 2000). De forma similar en películas a partir de proteína de frijol, el incremento de la temperatura favorece la formación de puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas disminuyendo la solubilidad de la proteína (Tang *et al.*, 2009).

4. Modificaciones de las propiedades de películas de proteína

Existen muchas estrategias para mejorar las propiedades de barrera, mecánicas y de solubilidad de las películas comestibles de

proteína, las cuales se basan en la modificación de la estructura de la proteína o la interacción entre sus componentes; así mismo, se han elaborado películas compuestas por la introducción en la formulación de polisacáridos o compuestos hidrofóbicos.

Durante la elaboración de la solución formadora de película se adicionan agentes plastificantes (glicerol, sorbitol, polietilenglicol o propilenglicol) que disminuyen las fuerzas intermoleculares cuando interactúan con los grupos amino y ácido de la proteína, lo que trae como consecuencia un incrementando en la movilidad de la película (Guerrero *et al.*, 2010). Estos cambios en la organización molecular modifican la funcionalidad de las películas incrementando su flexibilidad y disminuyendo su resistencia mecánica y rigidez (Jangchud y Chinnan, 1999b). Otras propiedades que se ven claramente afectadas en las películas por la adición de plastificantes, son las de barrera y solubilidad. En películas comestibles de proteínas de soya (Guerrero *et al.*, 2010), haba (Saremnezhad *et al.*, 2011) y chícharo (Choi y Han, 2001), la elongación y solubilidad se incrementaron y la fuerza de tensión disminuyó cuando la cantidad de glicerol se incrementó hasta 60 g por cada 100 g del aislado proteico. La permeabilidad al vapor de agua en películas de hidrolizado de suero de leche (Sothornvit y Krochta, 2000) y proteína de chícharo (Choi y Han, 2001; Kowalczyk y Baraniak, 2011), aumenta proporcionalmente con la concentración de glicerol adicionado debido al carácter fuertemente hidrofílico de esta molécula. Para evitar este efecto se puede sustituir por otro plastificante como sorbitol, molécula menos hidrofílica, que en películas comestibles de proteína de soya mejoró las propiedades de permeabilidad al vapor de agua (Kim *et al.*, 2003). En películas de proteínas de chícharo (Choi y Han, 2001; Kowalczyk y Baraniak, 2011) y calabaza (Popović *et al.*, 2012), la adición de glicerol no afecta

significativamente la solubilidad de la película, debido probablemente a la fuerte unión que ocurre entre el plastificante y la matriz.

Otros agentes químicos que se pueden adicionar son surfactantes, como la lecitina que al adicionarse a películas de gelatina, se observó un incremento en la fuerza de tensión y disminución en la elongación y permeabilidad al vapor de agua (Andreuccetti *et al.*, 2011).

Otra forma en que la estructura de la matriz polimérica puede ser modificada es cambiando las condiciones de preparación de las soluciones formadoras de película. Se ha observado que dos factores pueden tener un efecto positivo en la formación del polímero: temperaturas elevadas, mayores a 70 °C, para lograr la desnaturalización del polímero, y valores de pH alcalinos para favorecer la ionización de los grupos funcionales, que faciliten la orientación de los grupos para formar el entrecruzamiento de la estructura polimérica. En películas de proteína de cacahuate (Jangchud y Chinnan, 1999a; Liu *et al.*, 2004), de frijol verde (Bourtoom, 2008b), de haba (Saremnezhad *et al.*, 2011) y de chícharo (Kowalczyk y Baraniak, 2011), cuando se aplicaron las condiciones antes mencionadas, se observó una disminución en la permeabilidad al vapor de agua y al oxígeno, así como un incremento en la fuerza de tensión. Esto contrasta con lo observado en películas de suero de leche donde únicamente se mejoró la fuerza de tensión por efecto de la temperatura, no así la permeabilidad al vapor de agua (Pérez-Gago *et al.*, 1999).

También es posible lograr un entrecruzamiento entre los componentes de la película utilizando agentes físicos como la radiación gamma, este tipo de tratamiento se aplicó en películas de proteína soya con proteína de suero y de caseinato de calcio con proteína de suero de leche, logrando una disminución en la permeabilidad al vapor de

agua y una mejora en las propiedades mecánicas (Vachon *et al.*, 2000; Sabato *et al.*, 2001). También la humedad relativa puede modificar la estructura polimérica; en películas de caseinato, el incremento en la humedad relativa (del 33 al 75%), favoreció la movilidad de la estructura molecular (al aumentar el espacio intermolecular y reducir las interacciones proteicas intermoleculares), que tuvo como consecuencia un aumento en la permeabilidad del O₂ y CO₂ (Fabra *et al.*, 2012).

Finalmente, la formación de películas compuestas es otra opción para modificar la estructura de la proteína y mejorar sus propiedades, para este fin se han utilizado lípidos. A películas de proteína de soya se les adicionó aceite de oliva (en una proporción del 5 al 15% con respecto a los g de proteína), obteniéndose una película comestible con menor fuerza de ruptura y mayor elongación (Guerrero *et al.*, 2011). No siempre se logra una mejora en las propiedades mecánicas; por ejemplo Zahedi *et al.* (2010) adicionaron ácidos grasos a películas de proteína de pistache obteniendo una matriz heterogénea débil donde la fuerza de tensión decreció; de igual forma Pires *et al.* (2011) elaboraron una película compuesta de proteína de merluza con aceite de tomillo, pero no observaron un efecto positivo en las propiedades mecánicas porque la concentración de aceite era muy baja (0.25 ml por cada g de proteína) en comparación con el glicerol adicionado (59% con respecto al peso de proteína), así que el plastificante evitó la óptima interacción entre el lípido y el polímero.

Las propiedades de permeabilidad también pueden ser modificadas, como en el caso de películas de caseinato donde, con la adición de aceites esenciales de canela y jengibre, se logró una disminución en la permeabilidad al vapor de agua (Atarés *et al.*, 2010). Otros compuestos no polares que se han adicionado a este tipo proteínas son ácido oleico, cera de

abeja y sus mezclas, observándose una disminución en la permeabilidad al vapor de agua en las películas obtenidas; en las películas con cera de abeja también se logró una disminución en la permeabilidad al O₂ y CO₂; sin embargo, en las películas elaboradas solamente con ácido oleico la permeabilidad a estos gases aumentó (Fabra *et al.*, 2012).

5. Aplicaciones de películas comestibles de proteína

Las películas comestibles ayudan a mejorar la calidad y extender la vida útil de productos alimenticios. Para aplicar exitosamente esta tecnología de empacado se debe entender el problema que presenta el alimento y establecer claramente la función que la película ejercerá sobre él. Por lo tanto, es necesario tomar en cuenta algunas consideraciones como: la forma en que las propiedades de la solución formadora de la película pueden afectar el producto, cómo puede cambiar la película con el tiempo, la interacción que se establecerá entre el polímero y el alimento; así como hasta qué punto la película se puede ver afectada por las condiciones de almacenamiento (Bourtoom, 2008a).

Las propiedades de barrera de las películas comestibles son muy importantes, ya sea para controlar el intercambio gaseoso de alimentos frescos u oxidables o para disminuir el intercambio de humedad con la atmósfera externa (Cuq *et al.*, 1998). El oxígeno es responsable de muchos de los procesos de degradación que ocurren en los alimentos como oxidación lipídica, crecimiento de microorganismos, oscurecimiento enzimático y pérdida de vitaminas; por lo tanto, los procesos oxidativos ocasionan la degradación de proteínas, lípidos y pigmentos disminuyendo la vida de aquello del producto (Bonilla *et al.*, 2012). Por otro lado, la pérdida de humedad, trae consigo la pérdida de peso

del alimento y en alimentos frescos se manifiesta en una pérdida de turgencia y aparición de senescencia (Castro *et al.*, 2010). Los productos mínimamente procesados como frutas y hortalizas se deterioran más rápidamente debido al daño mecánico que sufren durante las operaciones de cortado y pelado, además de que se aceleran procesos metabólicos que ocasionan pérdida de textura, pardeamiento enzimático, entre otras alteraciones; ocasionando características indeseables en los productos (Avena-Bustillos *et al.*, 1994; Shon y Choi, 2011). Las películas comestibles también han sido utilizadas como acarreadores de sustancias activas (antioxidantes, antimicrobianos, entre otros), que son liberados lentamente en el alimento y retrasan el proceso de oxidación o contaminación microbiana (Baysal *et al.*, 2010; Amal *et al.*, 2010). Algunos ejemplos de las aplicaciones de películas comestibles de proteínas se presentan en la Tabla I.

Conclusiones y comentarios finales

Las diversas fuentes a partir de las cuales se pueden obtener las proteínas (vegetales o animales) definen el tipo y ordenamiento de aminoácidos presentes en el polímero, lo que influye de manera decisiva en las propiedades de barrera, solubilidad y mecánicas de la película comestible. Sin embargo, muchas veces no todas las propiedades que presentan las películas comestibles son ventajosas para una aplicación específica, y en este sentido la composición compleja de la estructura proteica, puede usarse a favor, ya que puede ser modificada obteniendo un polímero con propiedades funcionales diferentes al de su origen. El estudio de las diferentes variables que afectan la estructura del polímero, ofrece una gran ventaja en ciencia y tecnología, ya que permite entender cómo mejorar las

Tabla I. Aplicaciones de películas comestibles de proteína.

Proteína	Aditivos	Aplicación	Función	Condiciones de almacenamiento	Referencia
<i>Origen Vegetal</i>					
Gluten de trigo (7.5%)		Tomates, queso	Barrera a la permeabilidad al O ₂ y evita obscurecimiento	14 días / 10 °C	Tanada-Palmu, 2000
Gluten de trigo (9 %)	Timol (1 %)	Fresa	Barrera a la permeabilidad al agua y antimicrobiano	15 días / 25 °C	Amal <i>et. al.</i> , 2010
Soya (5 %)	Vit. E (0.5 %) , BHA (Butilhidroxilanisol) al 0.5 %	Manteca	Barrera a la permeabilidad al agua y gases, propiedades mecánicas y antioxidante	5 semanas / 36 °C	Zhang <i>et al.</i> , 2010
Soya (10 %)		Fresa liofilizada	Velocidad de rehidratación	10 min / 25 °C	Huang <i>et al.</i> , 2011
Soya (5 %)		Manzana, papas, zanahoria.	Barrera a la permeabilidad al agua y evita	5 días / 25 °C	Shon y Choi, 2011
Zeína (16%)	Ácido oleico (16%)	Brócoli	Barrera al vapor de agua y gases	6 días / 4 °C	Rakotonirainy <i>et al.</i> , 2001
Zeína (16%)	Ácido ascórbico (2.5%) y sorbato de potasio (0.25 %)	Chabacanos deshidratados	Barrera a la permeabilidad al vapor de agua, antimicrobiana y	10 meses/ 5 y 25 °C	Baysal <i>et al.</i> , 2010
<i>Origen Animal</i>					
Caseína (2 %)		Zanahoria	Barrera al vapor de agua y gases	2 meses/ 10 °C	Avena-Bustillos <i>et al.</i> , 1994
Caseinato de calcio (5 %)		Papa, manzana	Barrera a la permeabilidad al O ₂ y evita obscurecimiento	130 min / 20 °C	Tien <i>et al.</i> , 2001
Gelatina (4 %)	Aceite de maíz (2.5%) y aceite de oliva (5%)	Salchicha	Barrera a la permeabilidad al agua y gases, propiedades mecánicas y antioxidantes	6 días / 25 °C	Liu <i>et al.</i> , 2007
Gelatina (4 %)	Aceite de orégano (0.25 %)	Uchuva	Barrera a la permeabilidad al vapor de agua	35 días / 25 °C	Castro <i>et al.</i> , 2010
Suero de leche (5 %)		Papa, manzana	Barrera a la permeabilidad al O ₂ y evita obscurecimiento	130 min / 20 °C	Tien <i>et al.</i> , 2001
Suero de leche (5%)	Ácido ascórbico (1%), ácido cítrico (1%) y ácido oxálico (0.05%)	Manzana	Evita obscurecimiento	15 días / 3 °C	Lee <i>et al.</i> , 2003
Suero de leche deslactosado (5 %)		Tomate	Barrera a los gases y al vapor de agua	10 días / 4 °C	Galletta <i>et al.</i> , 2005
Suero de leche (5 %)	Palmitato de ascorbilo (0.5 %) y tocoferol (0.5%)	Cacahuate	Barrera al O ₂ y antioxidante	16 semanas/ 25 °C	Han <i>et al.</i> , 2008
Suero de leche (5 %)	Timol (1 %)	Fresa	Barrera a la permeabilidad al agua y antimicrobiano	15 días / 25 °C	Amal <i>et. al.</i> , 2010
Suero de leche (5 %)	Aceite de arroz (0.2, 0.4 y 0.6 %)	Kiwi	Propiedades mecánicas y antioxidantes	4 semanas / 4 °C	Hassani <i>et al.</i> , 2012

propiedades que presentan las películas comestibles para ser aplicadas a un grupo de alimentos en particular (frutas, hortalizas, frutos secos, cárnicos o lácteos) y alargar su vida de anaquel.

Aunque existen diversos estudios en esta área, la gran cantidad de proteínas presentes en la naturaleza, que aún no han sido investigadas en su totalidad, así como el gran número de metodologías disponibles que pueden ser

utilizadas para modificar la estructura de las proteínas, proporciona un campo vasto en esta área de investigación.

Agradecimientos

A la Universidad de las Américas Puebla y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT, México) por el financiamiento recibido para realizar este trabajo.

Referencias

- Adebiyi, A. P. y Aluko, R. E. 2011. Functional properties of protein fractions obtained from commercial yellow field pea (*Pisum sativum L.*) seed protein isolate. *Food Chemistry*. 128(4):902-908.
- Aguirre, A., Borneo, R. y León, A. E. 2011. Properties of triticale flour protein based films. *Food Science and Technology*. 44(9):1853-1858.
- Amal, S. H., Atress, El-Mogy, M. M., Aboul-Anaen, H. E. y Alsanius, B. W. 2010. Improving strawberry fruit storability by edible coating as a carrier of thymol or calcium chloride. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*. 2(3):88-97.
- Andreuccetti, C., Carvalho, R. A. y Grosso, C. R. F. 2009. Effect of hydrophobic plasticizers on functional properties of gelatin-based films. *Food Research International*. 42(8):1113-1121.
- Andreuccetti, C., Carvalho, R. A., Galicia-García, T., Martínez-Bustos, F. y Grosso, C. R. 2011. Effect of surfactants on the functional properties of gelatin-based edible films. *Journal of Food Engineering*. 103:129-136.
- Atarés, L., Bonilla, J. y Chiralt, A. 2010. Characterization of sodium caseinate-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. *Journal of Food Engineering*. 100:678-687.
- Avena-Bustillos, R. J., Cisneros-Zevallos, L. A., Kroculta, J. M. y Saltveit, M. E. 1994. Application of casein-lipid edible film emulsions to reduce white blush on minimally processed carrots. *Postharvest Biology and Technology*. 4:319-329.
- Badui, S. 2006. *Química de los Alimentos*. Cuarta edición. Editorial Pearson, México. 245p.
- Bamdad, F., Goli, A. H., y Kadivar, M. 2006. Preparation and characterization of proteinous film from lentil (*Lens culinaris*). *Food Research International*. 39(1): 106–111.
- Baysal, T., Bilek, S. E. y Apaydın, E. 2010. The effect of corn zein edible film coating on intermediate moisture apricot (*Prunus armenica L.*) quality. *Gıda Teknolojisi Derneği*. 35(4):245–249.
- Bonilla, J., Atarés, L., Vargas, M. y Chiralt, A. 2012. Edible films and coatings to prevent the detrimental effect of oxygen on food quality: Possibilities and limitations. *Journal of Food Engineering*. 110:208-213.
- Bourtoom, T., Chinnan, M. S., Jantawat, P. y Sanguandeeku, R. 1994. Effect of select parameters on the properties of edible film from water-soluble fish proteins in surimi wash-water. *Food Science and Technology*. 39(4):406–419.
- Bourtoom, T. 2008a. Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal*. 15(3):237–248.
- Bourtoom, T. 2008b. Factors affecting the properties of edible film prepared from mung bean proteins. *International Food Research Journal*. 15(2):167–180.
- Bourtoom, T. 2009. Edible protein films: properties enhancement. *International Food Research Journal*. 16(1):1-9.
- Byaruhanga, Y. B., Erasmus, C., Emmambux, M. N. y Taylor, J. R. N. 2007. Effect of heating cast kafirin films on their functional properties. *Journal of the Science of Food Agriculture*. 175:167–175.
- Castro, R. A., Helena, G. y González, B. 2010. Recubrimiento comestible en la conservación de uchuva (*Physalis peruviana L.* var. *Colombia*). *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 91(19):16–34.
- Cayot, N., Dury-Brun, C., Karbowiak, T., Savary, G. y Voilley, A. 2008. Measurement of transport phenomena of volatile compounds: A review. *Food Research International*. 41(4):349–362.
- Cho, S. Y., Park, J.-W., Batt, H. P. y Thomas, R. L. 2007. Edible films made from membrane processed soy protein concentrates. *Food Science and Technology*. 40(3):418–423.
- Choi, W. y Han, J. 2001. Physical and mechanical properties of pea-protein based edible films. *Journal of Food Science*. 66(2):319–322.

- Cuq, B., Gontard, N. y Guilbert, S. 1998. Proteins as agricultural polymers for packaging production. *Cereal Chemistry*. 75(1):1–9.
- Damodaran, S. 1997. Food proteins: an overview. En: S. Damodaran y A. Paraf (Eds). *Food proteins and their applications*. New York, USA. pp. 1-24.
- Denavi, G., Tapia-Blácido, D. R., Añón, M. C., Sobral, P. J. A., Mauri, A. N. y Menegalli, F. C. 2009. Effects of drying conditions on some physical properties of soy protein films. *Journal of Food Engineering*. 90(3):341-349.
- Fabra, M. J., Talens, T., Gavara, R. y Chiralt, A. 2012. Barrier properties of sodium caseinate films as affected by lipid composition and moisture content. *Journal of Food Engineering*. 109:372-379.
- Galieta, G., Harte, F., Molinari, D., Capdevielle, R. y Diano, W. 2005. Aumento de la vida útil poscosecha de tomate usando una película de proteína de suero de leche. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 6(2):117–123.
- Ghanbarzadeh, B., Musavi, M., Oromiehie, A. R., Rezayi, K., Razmi Rad, E. y Milani, J. 2007. Effect of plasticizing sugars on water vapor permeability, surface energy and microstructure properties of zein films. *Food Science and Technology*. 40(7):1191-1197.
- Guarda, G. y Galotto, M. G. 2001. Propiedades físicas de materiales plásticos. En: J. D. Alvarado y J. M. Aguilera (Eds). *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*. Acribia, Zaragoza, España. pp. 285-308.
- Guerrero, P., Retegi, A., Gabilondo, N. y De la Caba, K. 2010. Mechanical and thermal properties of soy protein films processed by casting and compression. *Journal of Food Engineering*. 100:145-151.
- Guerrero, P., Hanani, N. Z., Kerry, J. P. y De la Caba, K. 2011. Characterization of soy protein-based films prepared with acids and oils by compression. *Journal of Food Engineering*. 107: 41-49.
- Guo, X., Lu, Y., Cui, H., Jia, X., Bai, H. y Ma, Y. 2012. Factors affecting the physical properties of edible composite film prepared from zein and wheat gluten. *Molecules*. 17(4):3794–3804.
- Han, J. H. y Gennadios, A. 2005. Edible films and coating: a review. En: J. H. Han (Eds). *Innovations in food packaging*. Elsevier Academic Press, London, UK. pp. 239-276.
- Han, J. H., Hwang, H.-M., Min, S. y Krochta, J. M. 2008. Coating of peanuts with edible whey protein film containing alpha-tocopherol and ascorbyl palmitate. *Journal of Food Science*. 73(8):349–355.
- Hassani, F., Garousi, F. y Javanmard, M. 2012. Edible coating based on whey protein concentrate-rice bran oil to maintain the physical and chemical properties of the kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Trakia Journal of Sciences*. 10(1):26–34.
- Hoque, M. S., Benjakul, S. y Prodpran, T. 2011. Effects of partial hydrolysis and plasticizer content on the properties of film from cuttlefish (*Sepia pharaonis*) skin gelatin. *Food Hydrocolloids*. 25(1):82–90.
- Huang, L., Zhang, M., Yan, W., Mujumdar, A. S. y Sun, D. 2011. Rehydration characteristics of freeze-dried strawberry pieces as affected by whey protein edible coatings. *International Journal of Food Science & Technology*. 46(4):671–677.
- Iwata, K. I., Ishizaki, S. H., Handa, A. K. y Tanaka, M. U. 2000. Preparation and characterization of edible films from fish water-soluble proteins. *Fisheries Science*. 66(2):372–378.
- Jangchud, A. y Chinnan, M. S. 1999a. Peanut protein film as affected by drying temperature and pH of film forming solution. *Journal of Food Science*. 64(1):153–157.
- Jangchud, A. y Chinnan, M. S. 1999b. Properties of peanut protein film: sorption isotherm and plasticizer effect. *Food Science and Technology*. 32(2):89–94.
- Kim, K. M., Marx, D. B., Weller, C. L y Hanna, M. A. 2003. Influence of sorghum wax, glycerin, and sorbitol on physical properties of soy protein isolate films. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 80(1):71–76.
- Kowalczyk, D. y Baraniak, B. 2011. Effects of plasticizers, pH and heating of film-forming solution on the properties of pea protein isolate films. *Journal of Food Engineering*. 105:295-305.
- Krishna, M., Nindo, C. I. y Min, S. C. 2012. Development of fish gelatin edible films using extrusion and compression molding. *Journal of Food Engineering*. 108:337-344.
- Krochta, M. J. 1997. Edible protein films and coatings. En S. Damodaran y A. Paraf (Eds). *Food proteins and their applications*. Primera edición. New York, USA. pp. 529-550.
- Lacroix, M. y Cooksey, K. 2005. Edible films and coatings from animal-origin proteins. En J. H. Han (Eds). *Innovations in food packaging*. Elsevier Academic Press, London, UK. pp. 301-317.
- Lee, J. Y., Park, H. J., Lee, C. Y. y Choi, W. Y. 2003. Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *Food Science and Technology*. 36(3):323–329.

- Limpan, N., Prodpran, T., Benjakul, S. y Prasarpran, S. 2010. Properties of biodegradable blend films based on fish myofibrillar protein and polyvinyl alcohol as influenced by blend composition and pH level. *Journal of Food Engineering*. 105:85-92.
- Liu, C.-C., Tellez-Garay, A. M. y Castell-Perez, M. E. 2004. Physical and mechanical properties of peanut protein films. *Food Science and Technology*. 37(7):731–738.
- Liu, L., Kerry, J. F. y Kerry, J. P. 2007. Application and assessment of extruded edible casings manufactured from pectin and gelatin/sodium alginate blends for use with breakfast pork sausage. *Meat Science*. 75(2):196–202.
- McHugh, T. H. y Krochta, M. J. 1994. Permeability properties of edible films. En J. M. Krochta, E. A. Baldwin y M. N. Carriedo (Eds). *Edible coatings and films to improve food quality*. Primera edición. Pennsylvania, USA. pp. 139-189.
- Olvera-Novoa, M. y Olvera-Castillo, L. 2000. Potencialidad del uso de las leguminosas como fuente proteica en alimentos para peces. *Avances en Nutrición Acuícola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. La Paz, B.C.S., México. 15-18 Noviembre. En: Civera-Cerecedo, R., Pérez-Estrada, C.J., Rieque-Marie, K. y Cruz Suárez, L. E. (Eds.).
- Pérez-Gago, M. B., Nadaud, P. y Krochta, J. M. 1999. Water vapor permeability, solubility, and tensile properties of heat-denatured versus native whey protein films. *Journal of Food Science*. 64(6):1034–1037.
- Pires., C., Ramos, C., Teixeira., G., Batista, I., Mendes, R., Nunes, L. y Marques, A. 2011. Characterization of biodegradable films prepared with hake proteins and thyme oil. *Journal of Food Engineering*. 105:422-428.
- Popović, S., Peričin, D., Vaštag, Z., Lazić, V. y Popović, L. 2012. Pumpkin oil cake protein isolate films as potential gas barrier coating. *Journal of Food Engineering*. 110:374-379.
- Rakotonirainy, A. M., Wang, Q. y Padua, G. W. 2001. Evaluation of zein films as modified atmosphere packaging for fresh broccoli. *Food Chemistry and Toxicology*. 66(8):1108–1111.
- Regalado, C., Pérez-Pérez, C., Lara-Cortés, E. y García-Almendarez, B. 2006. Whey protein based edible food packaging films and coatings. En R. G. Guevara-González e I. Torres-Pacheco (Eds). *Advances in Agricultural and Food Biotechnology*. Research Signpost, Kerala, India. pp. 237-261.
- Rhim, J. W., Wu, Y., Weller, C. L. y Schnepf, M. 1999. Physical characteristics of a composite film of soy protein isolate and propylene glycol alginate. *Journal of Food Science*. 64(1):149–152.
- Rhim, J. W., Gennadios, A., Handa, A., Weller, C. L. y Hanna, M. A. 2000. Solubility, tensile, and color properties of modified soy protein isolate films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48(10):4937–4941.
- Rhim, J. W., Gennadios, A., Weller, C. L. y Hanna, M. A. 2002. Sodium dodecyl sulfate treatment improves properties of cast films from soy protein isolate. *Industrial Crops and Products*. 15(3): 199–205.
- Romero-Bastida, C. A., Martin-Polo, M. O., Velazquez, G. y Torres, J. A. 2004. Effect of plasticizer, pH and hydration on the mechanical and barrier properties of zein and ethylcellulose films. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 4(4):251–256.
- Sabato, S. F., Ouattara, B., Yu, H., Aprano, G. D., Tien, C. L. y Mateescu, M. A. 2001. Mechanical and barrier properties of cross-linked soy and whey protein based films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49:1397-1403.
- Saremnezhad, S., Azizi, M. H., Barzegar, M., Abbasi, S. y Ahmadi, E. 2011. Properties of a new edible film made of faba bean protein isolate. *Journal Agriculture Science and Technology*. 13:181–192.
- Shon, J. y Choi, Y. 2011. Effect of edible coatings containing soy protein isolate (SPI) on the browning and moisture content of cut fruit and vegetables. *Journal Appl. Biol. Chem.* 54(3): 190–196.
- Sothornvit, R. y Krochta, J. M. 2000. Water vapor permeability and solubility of films from hydrolyzed whey protein. *Journal of food Science*. 65(4):700–703.
- Tanada-Palmu, P. S. y Grossio, C. R. F. 2003. Development and characterization of edible films based on gluten from semi-hard and soft Brazilian wheat flours (development of films based on gluten from wheat flours). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 23(2):264–269.
- Tang, C.-H., Xiao, M.-L., Chen, Z., Yang, X.-Q. y Yin, S.-W. 2009. Properties of cast films of vicilin-rich protein isolates from *Phaseolus* legumes: influence of heat curing. *Food Science and Technology*. 42(10):1659–1666.
- Taylor, J., Taylor, J. R. N., Dutton, M. F. y Kock, S. 2005. Identification of kafirin film casting solvents. *Food Chemistry*. 90(3):401–408.
- Tian, H., Xu G., Yang, B. y Guo, G. 2011. Microstructure and mechanical properties of soy

- protein/agar blend films: effect of composition and processing methods. *Journal of Food Engineering*. 107: 21-26.
- Tian H., Wu, W., Guo, G., Gaolun, B., Jia, Q. y Xiang, A. 2012. Microstructure and mechanical properties of glycerol plasticized soy protein plastics containing castor oil. *Journal of Food Engineering*. 109:496-500.
- Tien, L. C., Vahchon, C., Mateescu, M. A. y Lacroix, M. 2001. Milk protein coatings prevent oxidative browning of apples and potatoes. *Food Chemistry and Toxicology*. 66(4): 512–516.
- Vachon, C., Yu, H. L., Yefsah, R., Alain, R., St-Gelais, D. y Lacroix, M. 2000. Mechanical and structural properties of milk protein edible films cross-linked by heating and gamma-irradiation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48(8): 3202–3209.
- Villada, H. S., Acosta, H. A. y Velasco, R. J. 2007. Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Temas Agrarios*. 12(2):5–13.
- Xiong, Y. L. 1997. Structure-function relationships of muscle proteins. En S. Damodaran y A. Paraf (Eds). *Food proteins and their application*. New York, USA. pp. 341-392.
- Yoo, S. y Krochta, M. J. 2011. Whey protein-polysaccharide blended edible film formation and barrier, tensile, thermal and transparency properties. *Journal Science of Food Agriculture*. 91:2628-2636.
- Zahedi, Y., Ghanbarzadeh, B. y Sedaghat, N. 2010. Physical properties of edible emulsified films based on pistachio globulin protein and fatty acids. *Journal of Food Engineering*. 100(1):102-108.