

CAPÍTULO 1

Películas Biopoliméricas: Aplicaciones para Envases y otros Productos

Fabiola López-García, Cristian Jiménez-Martínez

Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. Prolongación de Carpio y Plan de Ayala, Col Casco de Sto. Tomás, Del Miguel Hgo. C.P. 11340. México D.F.

fabiolalg410@hotmail.com, crisjm_99@yahoo.com

Doi: <http://dx.doi.org/10.3926/oms.287>

Referenciar este capítulo

López-García, F., & Jiménez-Martínez, C. (2015). *Películas biopoliméricas: Aplicaciones para envases y otros productos*. En Ramírez-Ortiz, M.E. (Ed.). *Tendencias de innovación en la ingeniería de alimentos*. Barcelona, España: OmniaScience. 9-36.

Resumen

Los envases han jugado papeles importantes a través de la historia y junto con la sociedad estos han evolucionado, reflejando nuevos requisitos y características. En la década de los años 20, la producción de plásticos sintéticos, derivados del petróleo a nivel mundial era de 130 millones de t/año para el 2014, la producción fue de 300 millones de t/año de plásticos cantidad que va en aumento, ya que los países europeos reportan un estimado de 100 kg de plástico generado por persona cada año. Para su elaboración se emplean gran variedad de materiales, siendo la mayoría a base de petróleo, reforzados con vidrio y fibras de carbón. En los últimos años ha surgido un creciente interés en las películas biopoliméricas, debido principalmente a la preocupación por la eliminación de los materiales plásticos convencionales derivados del petróleo. La degradación de los plásticos requiere un largo tiempo para su descomposición, alcanzando con ello un nivel crítico de daños irreversibles al medio ambiente. Por el contrario, las películas de origen orgánico a partir de recursos renovables se degradan fácilmente.

Los materiales utilizados en la fabricación de películas biopoliméricas provienen de cuatro fuentes: origen animal (colágeno/gelatina), marino (quitina/quitosan), agrícola (lípidos y grasas e hidrocoloides; proteínas y polisacáridos) y microbiano [ácido poliláctico (PLA) y polihidroxialcanoatos (PHA)], reforzados con materiales de fibras naturales como el lino, yute, cáñamo y otras fuentes de celulosa. Las películas para envases pueden formarse a través de dos principales procesos: una “vía húmeda” en el que los polímeros son dispersados o solubilizados en una solución formadora de película (solución casting),

seguido por evaporación del solvente y un “proceso seco”, que se basa en el comportamiento termoplástico presentado por algunas proteínas y polisacáridos en bajos niveles de humedad en moldeo por compresión y extrusión.

Existen diversos métodos para evaluar las propiedades de las películas biodegradables mediante diferentes técnicas que incluyen: difracción de rayos X, espectroscopia infrarroja, microscopia electrónica de barrido, permeabilidad a los gases, permeabilidad al vapor de agua, densidad, solubilidad al agua, ángulo de contacto, color, modulo elástico, envejecimiento y biodegradación, entre otros.

La versatilidad de aplicaciones de las películas biopoliméricas es extensa, ya que se pueden encontrar en la agricultura (en el uso de acolchados), en la industria farmacéutica (contenedor de medicamentos), envases rígidos (termoformados), recubrimientos en alimentos (uso de gomas para alargar la vida útil de anaquel) y envases activos, en la industria de los alimentos, etc. Los requisitos esenciales que deben de tener las películas para envases son los siguientes:

- a) Permitir una respiración lenta pero controlada, lo que reduce la absorción de O₂ del producto contenido dentro del envase y ser una barrera selectiva a los gases (CO₂) y al vapor de agua;
- b) formar una atmosfera modificada con respecto a la composición del gas interno, regulando así, el proceso de maduración y extendiendo la vida útil del producto;
- c) Disminuir la migración y uso de lípidos sobre todo en productos de la industria de confitería;
- d) Mantener la integridad estructural (retrasar la pérdida de clorofila); y
- e) mejorar la manipulación mecánica.

También pueden servir como vehículo para incorporar los aditivos alimentarios (sabor, color, antioxidantes y agentes antimicrobianos), evitar (o reducir) el deterioro microbiano en almacenamiento prolongado; servir como vehículo para incorporar los aditivos alimentarios (sabor, color, antioxidantes y agentes antimicrobianos) y finalmente evitar (o reducir) el deterioro microbiano en almacenamiento prolongado.

La industria alimentaria ha proporcionado avances considerables en la aplicación de nuevos usos para tecnologías de películas comestibles, por ejemplo, se han desarrollado tiras de electrolitos en lugar de bebidas deportivas para evitar la deshidratación. Otra novedad en el área de películas comestibles se refiere a decoraciones, hoy es posible decorar pasteles con diseño en computadora con imágenes más reales. El mismo proceso puede ser utilizado para producir envolturas de dulces con diseño, rollos de papel para pasteles o quiches, o cubiertas protectoras decorativos para condimentos y tortas y en cientos de otras aplicaciones donde se desea un toque personal o cosmética en un postre. El objetivo de este capítulo es dar una visión general de las aplicaciones de las películas biopoliméricas para envases así como las innovaciones que en ellas se están aplicando.

Palabras clave

Bioenvases, biopelículas, biopolímeros.

1. Introducción

Los envases han jugado papeles diferentes e importantes a través de la historia. Con la evolución de la sociedad han cambiado también, reflejando nuevos requisitos y características sobre estos. En la década de los años 20 la producción de plásticos sintéticos, derivados del petróleo a nivel mundial, era de 130 millones de t/año para el 2014, se estimó una producción de 300 millones de t/año de plásticos, cantidad que va en aumento, ya que los países Europeos reportan un estimado de 100 kg de plástico generado por persona/año (Kolybaba, Tabil, Panigrahi, Crerar, Powell & Wang, 2003; Rizzarelli & Carroccio, 2014).

Una gran variedad de materiales (renovables y no-renovables) son empleados en la fabricación de residuos plásticos, pero la gran mayoría son generalmente a base de petróleo, reforzados con vidrio y fibras de carbón.

Así mismo, los residuos de recursos renovables que incluyen polímeros de crecimiento microbiano y los extraídos de almidones, son utilizados en la fabricación de plásticos cada vez en mayor proporción, reforzados con materiales de fibras naturales, como el lino, yute, cáñamo y otras fuentes de celulosa (Bismarck, Aranberri-Askargorta, Springer, Lampke, Wielage, Stamboulis et al., 2002). Ante la problemática ambiental el uso de plásticos biodegradables se ha ido incrementando hasta un 30% en relación a los plásticos sintéticos.

2. Películas Biopoliméricas: Aplicaciones para Envases y Otros Productos

Los envases de alimentos tradicionales sirven como protección, comunicación, conveniencia y de contención. El envase se utiliza para proteger el producto de los efectos deteriorantes y de las condiciones ambientales externas como el calor, la luz, la presencia o ausencia de humedad, presión, microorganismos, emisiones gaseosas, etc. También proporciona al consumidor la facilidad de uso y ahorro de tiempo, además de ofrecer diferentes

presentaciones, variando en tamaños, formas y colores (Yam, Takhistov & Miltz, 2005)

Existen diferentes clasificaciones de los envases, algunas de ellas son:

2.1. Por su Función

- **Envase primario:** Es el envase inmediato al producto; es decir, el que tiene contacto directo con éste. Por ejemplo la bolsa que contiene el cereal.
- **Envase secundario:** Es el contenedor unitario de uno o varios envases primarios. Su función es protegerlos, identificar el producto y proporcionar información sobre las cualidades del producto. Frecuentemente este envase es desechado cuando el producto se utiliza.
- **Envase terciario:** Es el envase que sirve para distribuir, unificar y proteger el producto a lo largo de la cadena comercial. Por ejemplo, la caja de cartón corrugado que contendrá varias cajas de cereales, para su distribución a los almacenes (Giovannetti, 2003).

2.2. Por su Aplicación

- **Envase rígido:** envases en forma definida no modificable y cuya rigidez permite colocar el producto estibado sobre el mismo, sin sufrir daños, por ejemplo envases de vidrio o latas.
- **Envase semirígido:** envases cuya resistencia a la compresión es mejor a la de los envases rígidos, sin embargo, cuando no son sometidos a los esfuerzos de compresión su aspecto puede ser similar a la de los envases rígidos, por ejemplo los envases de plástico.
- **Envase flexible:** son envases fabricados de películas plásticas, papel, hojas de aluminio, laminaciones u otros materiales flexibles como co-extrucciones. Este tipo de envases no resiste un producto estiba, sin embargo resulta práctico para productos de fácil manejo.

La diferencia entre envases y empaques, es que estos últimos, son sistemas coordinados para la preparación de mercancías, que posteriormente serán transportadas, distribuidas o almacenadas, hasta llegar a la venta y uso final. Es una función de negocios compleja, dinámica, científica, artística y controversial que en su forma más fundamental contiene, protege, preserva, transporta, informa y vende el producto. El empaque es una función de servicio. Dentro del desarrollo de sus funciones el empaque puede clasificarse como: empaque al consumidor, este es, un empaque que será obtenido por el consumidor como unidad de venta. Y empaque industrial; es el empaque para entregar bienes de fabricante a fabricante. Por lo general, el empaque industrial contiene bienes o materiales para su procesamiento posterior (Giovannetti, 2003).

2.3. Bioenvases Activos

El envasado activo es aquel en el que ocurre una interacción positiva entre el envase, el alimento y el medioambiente, que permite extender la vida útil del producto que contiene, mejorando la seguridad o las propiedades sensoriales de un alimento mientras mantiene su calidad (Restuccia, Spizzirri, Parisi, Cirillo, Curcio, Iemma et al., 2010).

La condición de uso como empaque o envase para alimentos, involucra varios aspectos que pueden jugar un papel importante en la determinación de la vida útil, entre estos se encuentran: los procesos fisiológicos (ej. respiración de frutas y vegetales), químicos (ej. la oxidación de lípidos) o físicos (ej. la deshidratación) además de los aspectos microbiológicos (ej. el deterioro por microorganismos) o las plagas (ej. los insectos). Estas condiciones pueden ser reguladas por numerosas vías a través de la aplicación de un sistema de envasado activo apropiado, que dependerá de los requerimientos del alimento de esta forma, el deterioro puede ser reducido significativamente (Ahvenainen, 2003).

Pero los principios detrás de los envases activos se basan ya sea, en las propiedades intrínsecas propias del polímero utilizado como material de envase o por la introducción (inclusión o atrapamiento) de determinadas

sustancias en el interior del polímero, por ejemplo, la inclusión intencional de un monómero o un grupo de complejos activos dentro de la cadena polimérica, estos pueden ser incorporados en el interior del material de empaque o en su superficie, en las estructuras de múltiples capas o elementos particulares asociados con el envasado, tales como: sobres, etiquetas, botellas, tapas, etc. (Gontard, Guilbert & Cuq, 1992)

La naturaleza de los agentes activos, que se pueden agregar son muy diversos, ya que pueden ser: ácidos orgánicos, enzimas, bactericidas, fungicidas, extractos naturales, iones, etanol, etc. y también es variable la naturaleza de los materiales con los que puede fabricarse el empaque como tal, en los que se incluye: papel, plásticos, metales o la combinación de estos materiales (Silva-Weiss, Ihl, Sobral, Gómez-Guillén & Bifani, 2013).

2.3.1. Clasificación de Bioenvases Activos

Los bioenvases activos se clasifican en:

- a) **Los bioenvases activos no migratorios**, que actúan sin promover de manera intencional la migración de compuestos que dañan el alimento.
- b) **Los bioenvases activos de liberación controlada**, que permiten la liberación de agentes no volátiles o una emisión de compuestos volátiles en la atmósfera que rodea al alimento.

Los requisitos esenciales que deben de tener las películas biopoliméricas que pueden ser empleadas en bioenvase activos son los siguientes:

1. Permitir una respiración lenta, pero controlada, lo que reduce la absorción de O₂ del producto contenido dentro del envase.
2. Permite una barrera selectiva a los gases (CO₂) y al vapor de agua.
3. Crea una atmosfera modificada con respecto a la composición del gas interno, regulando así, el proceso de maduración y extendiendo la vida útil del producto.
4. Disminuye la migración y uso de lípidos, en productos de la industria de confitería.

5. Mantiene la integridad estructural (retrasa la pérdida de clorofila) y mejora la manipulación mecánica.
6. Puede servir como vehículo para incorporar los aditivos alimentarios (sabor, color, antioxidantes y agentes antimicrobianos).
7. Evitar (o reduce) el deterioro microbiano en almacenamiento prolongado. (Tharanathan, 2003).

La incorporación de las sustancias activas a los materiales de empaque ha dado origen a diferentes tipos de estructuras siendo estas:

2.3.2. Estructura Multicapa

También llamadas compuestas o complejas, este tipo de estructura resulta de la unión de dos o más capas, que se realiza por medio de un recubrimiento donde va contenida la sustancia activa en la matriz polimérica, adherida a otro tipo de material de empaque que puede ser sintético o natural. En la Figura 1a se muestra la estructura de una película, en donde el recubrimiento se encuentra por encima del material de empaque (capa externa). El agente activo migra a través del material de empaque hacia el alimento; el material de empaque debe de tener como característica una alta porosidad (Muriel-Galet, López-Carballo, Gavara, & Hernández-Muñoz, 2012). Otra manera de adherir el recubrimiento activo es antes de empacar el alimento; el agente activo migra por contacto con el alimento y el empaque actúa como una capa control en esta estructura (Figura 1b) (Appendini & Hotchkiss, 2002).

2.3.3. Estructura Monocapa

El agente activo se incorpora mezclándose con el material de empaque (Figura 1c). Los compuestos activos pueden ser incorporados a los polímeros en diluciones miscibles con alimentos. En la Figura 1d se muestra la estructura de una película donde el agente activo se une al empaque por inmovilización de enlaces iónicos o covalentes, esta inmovilización requiere grupos funcionales con el compuesto activo para enlazarse con el empaque y reaccionar con el producto, utilizándose para esto péptidos, aceites esenciales, enzimas, ácidos

orgánicos y LAE (95% de etil-N-dodecanoil-L-arginatohidrocloruro) que es un tenso activo catiónico, derivado del ácido láurico, L-arginina y etanol, utilizado en los polímeros de soporte como: polietileno, etilendiamino o polietilendiamino (Ruckman, Rocabayera, Borzelleca & Sandusky, 2004).

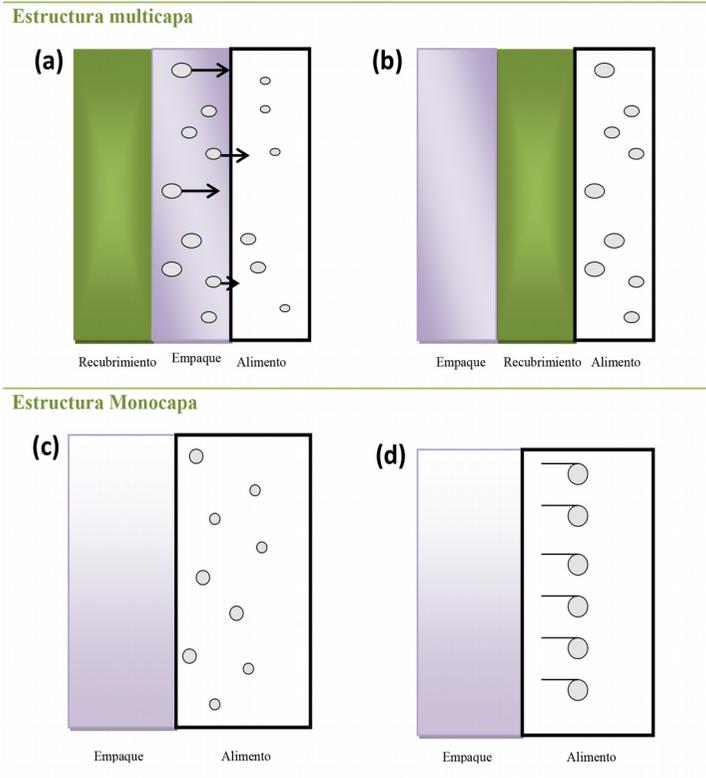


Figura 1. Estructuras de películas bioactivas (Han, 2003a; Brody, Strupinsky & Kline, 2010)

3. Materiales Naturales para Envases y Películas Biodegradables

El remplazo total de los plásticos sintéticos por materiales biodegradables para la elaboración de envases no se ha logrado hasta el presente. Ya que solo el 30 % utiliza este tipo de material, no obstante se han sustituido algunos polímeros sintéticos por otros de origen natural y han permitido el desarrollo de productos con características específicas relacionadas con las propiedades de barrera, mecánicas y térmicas en determinados envases como películas y protectores (Villada, Acosta & Velasco, 2007).

Los biopolímeros naturales utilizados, provienen de cuatro fuentes: origen animal (colágeno/gelatina), marino (quitina/quitosan), agrícola (lípidos, grasas, hidrocoloides, proteínas y polisacáridos) y microbiano [ácido poliláctico (PLA) y polihidroxialcanoatos (PHA)] (Tharanathan, 2003). Varios polisacáridos se han utilizado para preparar películas, incluyendo almidón (Osés, Niza, Ziani & Maté, 2009), mucílago de diversas especies de *Opuntias* (Del-Valle, Hernández-Muñoz, Guarda & Galotto, 2005), goma de semilla de berro, mucílagos de semilla de membrillo (Jouki, Mortazavi, Yazdi & Koocheki, 2014a), goma de semilla de *Psyllium* (Ahmadi, Kalbasi-Ashtari, Oromiehie, Yarmand & Jahandideh, 2012), gomas de semillas de basil (*Ocimum basilicum* L.), tapioca (Vásconez, Flores, Campos, Alvarado & Gerschenson, 2009), almidón de maíz (Psomiadou, Arvanitoyannis & Yamamoto, 1996), celulosa y derivados de celulosa tales como HPMC (hidroxipropil-metilcelulosa), CMC (carboximetilcelulosa) y MC (metilcelulosa) (Pérez, Flores, Marangoni, Gerschenson & Rojas, 2009; Sánchez-González, Vargas, González-Martínez, Chiralt, & Cháfer, 2009). Sin embargo, a través de los últimos años, hay mayor énfasis en la investigación de los diferentes recursos renovables para la producción de películas comestibles y biodegradables (Khazaei, Esmaili, Djomeh, Ghasemlou & Jouki, 2014).

Los materiales formadores de película se pueden utilizar solos o en combinación. Las características físico-químicas de los biopolímeros influyen en gran medida en las propiedades de las películas y recubrimientos resultantes, pueden ser hidrófilo o hidrófobo o ambos; sin embargo, a fin de mantener la

calidad comestible, los disolventes utilizados se limitan solo a agua y etanol (Han, 2014b). Las proteínas se usan en mayor proporción como materiales formadores de película, estas macromoléculas presentan secuencias de aminoácidos específicas y estructuras moleculares bien definidas. Las características más distintivas de las proteínas, en comparación con otros materiales formadores de película son su desnaturalización conformacional, cargas electrostáticas y la naturaleza anfifílica. Las estructuras secundarias, terciarias y cuaternarias de las proteínas se pueden modificar fácilmente para conseguir propiedades deseables en la película mediante el uso de calor por desnaturalización, presión, irradiación, tratamiento mecánico, ácidos, álcalis, iones metálicos, sales, hidrólisis química, tratamiento enzimático y la reticulación química. Estos tratamientos pueden finalmente controlar las propiedades físicas y mecánicas de las películas preparadas y recubrimientos (Gennadios, 2004). Los materiales formadores de película de origen de carbohidratos incluyen los polisacáridos de almidón, algunos compuestos no amiláceos, gomas y fibras. Estos tienen monómeros simples en comparación con las proteínas, que tiene 20 aminoácidos comunes. Sin embargo, debido a la conformación de los polisacáridos, sus estructuras son más complicadas e impredecibles, y su peso molecular es más grande que el de las proteínas. La mayoría de los hidratos de carbono son neutrales, mientras que algunas gomas tienen cargas negativas, pero pocas excepciones presentan carga positiva. Debido a la gran cantidad de grupos hidroxilo, enlaces de hidrógeno, hidratos de carbono neutros u otros restos hidrófilos que se presentan en la estructura estos juegan un papel importante en la formación de la película obteniendo características deseables. Algunas gomas con cargas negativas, tales como el alginato, pectina, celulosa y carboximetil celulosa, muestran diferentes propiedades reológicas en ácido, en comparación con un pH neutro o condiciones alcalinas, así mismo con la presencia de cationes multivalentes. Los lípidos y resinas, también se utilizan como materiales formadores de película, pero no son polímeros y evidentemente “biopolímeros”, es un nombre poco apropiado para ellos. Sin embargo, son comestibles, además de que son biomateriales biodegradables y pueden cohesionar con otros materiales. La mayoría de los lípidos y resinas comestibles son sólidos blandos a temperatura

ambiente y poseen temperaturas de transición de fase característica. Pueden fabricarse en cualquier forma por los sistemas de fundición y moldeo después del tratamiento térmico, causando transiciones de fase reversible entre los estados líquido, sólido blando y sólidos cristalinos (Han, 2014b). Debido a su naturaleza hidrofóbica, las películas o recubrimientos a base de lípidos forman películas con una alta resistencia al agua y baja energía superficial. Los lípidos se pueden combinar con otros materiales formadores de película, tales como proteínas o polisacáridos, como emulsión de partículas o revestimientos de múltiples capas con el fin de aumentar la resistencia a la penetración del agua (Mehyar, Al-Ismail, Han & Chee, 2012). Los biopolímeros compuestos pueden modificar propiedades de la película y crear estructuras deseables para aplicaciones específicas, pueden ser creadas mediante la mezcla de dos o más biopolímeros produciendo una capa de película homogénea. Varios biopolímeros se pueden mezclar juntos para formar una película con propiedades únicas que combinan los atributos más deseables de cada componente (Han, 2014b).

4. Aditivos en Películas Biopoliméricas

La incorporación de aditivos naturales a sistemas activos de envasado o películas comestibles a base de biopolímeros, puede modificar la estructura de la película y como resultado, modificar su funcionalidad y la aplicación final. La funcionalidad definitiva de películas comestibles está relacionada con las propiedades bioactivas (como antioxidante, antimicrobianos y antioscurecimiento), propiedades funcionales (como barrera al oxígeno, CO₂ y la luz UV-vis), la permeabilidad al vapor de agua, la tensión de tracción, el alargamiento a la rotura y las propiedades físicas (tales como opacidad y color). Existen diversas categorías de antioxidantes naturales que se encuentran en vegetales, especias y hierbas (ácidos orgánicos, extractos naturales o aceites esenciales de plantas) estos se han incorporado en películas y recubrimientos comestibles, lo que resulta en una mejora de las propiedades bioactivas de las películas (Silva-Weiss et al., 2013). Sin embargo, las fuentes naturales de una amplia gama de plantas con propiedades bioactivas aún no

se ha caracterizado con respecto a su capacidad para ser aplicada directamente en los alimentos, usando el biopolímero para desarrollar envases activos o películas comestibles para la conservación y aumentar la vida útil de los alimentos. Además, los estudios *in vivo* de la utilización de películas bioactivas para preservar la calidad y el valor nutricional de los alimentos siguen siendo limitados (Khazaei et al., 2014).

5. Procesos de Formación de Películas

Es esencial entender las propiedades químicas y la estructura de los compuestos formadores de película como los biopolímeros y sus modificaciones mediante el uso de aditivos. Para aplicaciones específicas, la solubilidad en agua y etanol son importante para la solución filmogénica húmeda o mezcla de agentes activos. La termo-plasticidad de polímeros, incluyendo transición de fase, transición vítrea y las características de gelatinización, debe evaluarse para las mezcla secas o termoformados (Kennedy & He, 2004). Muchas de las propiedades hidrófilas de los materiales formadores de película son también características importantes que se toman en cuenta para formular una película. Las propiedades relacionadas con el agua, su condición hidrófila, equilibrio lipófilo, higroscopicidad, solubilidad en agua, energía de superficie sólida de las películas, radio hidrodinámico de biopolímeros, plastificantes, tensión superficial y la viscosidad de soluciones de formación de película, deben de ser evaluadas e identificadas con claridad para verificar la compatibilidad química con los biopolímeros empleados y determinar los cambios en la estructura de la película causado por la adición de plastificantes y aditivos. Estos estudios previos son importantes para obtener información crítica relacionada con la formación de película los mecanismos y modificación de propiedades de la película, así como para el proceso de diseño ampliación de la producción comercial (Han, 2014b).

Las películas para envases pueden formarse a través de dos principales procesos: una “vía húmeda” en el que los polímeros son dispersados o solubilizados en una solución formadora de película (solución casting), seguido

por evaporación del solvente y un “proceso seco”, que se basa en la comportamiento termoplástico exhibida por algunas proteínas y polisacáridos en bajos niveles de humedad en moldeo por compresión y extrusión (Pommet, Redl, Morel, Domenek & Guilbert, 2003).

El mecanismo para la formación de películas de polisacáridos, ocurre con el rompimiento del polímero en segmentos y regeneración de la cadena del polímero al interior de la matriz de la película o gel, que se produce durante la evaporación del solvente diluido, dando origen a la formación de enlaces hidrofílicos e hidrofóbicos con el hidrogeno y enlaces iónicos (Nussinovitch, 2013)

Las películas biopoliméricas por lo general no pueden ser preparadas en la misma forma que las películas de polímeros sintéticos por los métodos de extrusión y soplado ya que no tienen un punto de fusión definido y pueden sufrir descomposiciones por la acción del calor. Su formación involucra entrecruzamientos o asociaciones inter o intra moleculares de las cadenas de los polímeros, formando una red de estructura semirrígidas que atrapa e inmoviliza el solvente. El grado de cohesión depende de la estructura del polímero, el solvente usado, la temperatura y la presencia de otras moléculas como los plastificantes (Tharanathan, 2003). En la Figura 2 se indica la adición de ingredientes química o físicamente activos que pueden mejorar o interferir con los mecanismos de formación de película, incluye cualquier reticulación química o sustitución química de cadenas laterales para crear interacciones hidrófobas o interacciones electrostáticas y otros mecanismos adicionales causados por modificaciones químicas.

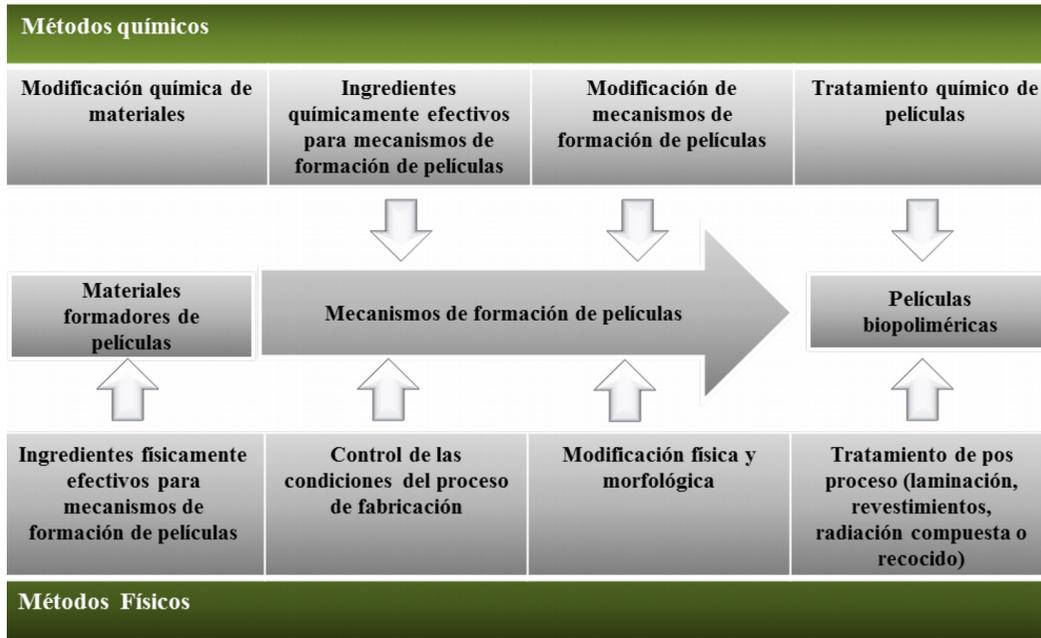


Figura 2. Mecanismos de formación de películas (Tharanathan, 2003)

6. Métodos para Evaluar Propiedades Funcionales de las Películas (Envejecimiento y Degradación)

La Sociedad Americana de Prueba de Materiales (ASTM) y la Organización Internacional de Estándares (ISO) definen a los plásticos degradables como aquellos que presentan un cambio significativo en su estructura química, bajo condiciones específicas de ambiente. Estos cambios resultan de la pérdida de propiedades físicas y mecánicas que son medidos mediante diferentes técnicas que incluyen: difracción de Rayos X, espectroscopia infrarroja, microscopia electrónica de barrido, entre otros.

El fundamento teórico de los métodos de Difracción de Rayos X y las técnicas microscópicas (microscopia electrónica de barrido, microscopia de fuerza atómica, microscopia óptica entre otros.), están basadas en los fenómenos ópticos de refracción, reflexión, dispersión, interferencia y polarización de la luz, expresadas en la ley de Bragg (Dushkina & Lakhtakia, 2013). El concepto del fenómeno Bragg surgió en 1912 a partir de estudios de difracción de rayos X de sólidos cristalinos; también se aplica al electromagnetismo. Si incide luz blanca oblicuamente en una estructura fotónica que puede ser representada como un conjunto discreto de idénticos planos paralelos, cada uno separado de su más cercano vecino por una

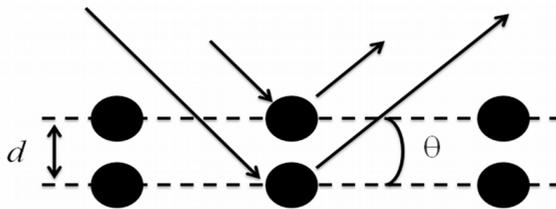


Figura 3. Explicación de la Ley de Bragg (Dushkina & Lakhtakia, 2013)

distancia d (Figura 3), el vector de propagación de las ondas de la luz incidente está inclinado en un ángulo θ con respecto a los planos, entonces la luz de espacio libre de la longitud de onda se refleja especularmente debido a la interferencia constructiva entre planos vecinos.

Este ángulo de selectividad del fenómeno de Bragg (a menudo llamado de difracción) es una causa importante del color estructural, según lo presentado por múltiples capas de estructuras periódicas (Dushkina & Lakhtakia, 2013). Por ello, los colores estructurales se originan en la dispersión de la luz pudiéndose observar microestructuras ordenadas en películas delgadas, e incluso matrices irregulares de partículas eléctricamente pequeñas, pero que no son producidos por pigmentos (Adachi & Matsubara, 2000).

Los *Rayos X* son la radiación electromagnética, invisible, capaz de atravesar cuerpos opacos. Su longitud de onda se encuentra entre los 10 a 10.1 nanómetros (nm), correspondiendo a frecuencias del rango de 30 PHz. Los Rayos X surgen de fenómenos extra nucleares, a nivel de la órbita electrónica, principalmente producidos por desaceleraciones de electrones. La energía de los Rayos X es del orden de 12.3KeV (kilo electronvoltio). Por este tipo de

características (tamaño de λ y energía) es que los Rayos X pueden ser utilizados para explorar la estructura de los cristales por medio de experimentos de difracción de Rayos X, pues la distancia entre los átomos de una red cristalina es similar a λ de los Rayos X.

En el métodos de difracción de Rayos X, el haz incide sobre un cristal, provocando que los átomos que conforman a este se dispersen a la onda incidente, cada uno de ellos produce un fenómeno de interferencia para determinadas direcciones de incidencia. La información que proporciona el patrón de difracción de Rayos X, se puede ver desde dos aspectos diferentes pero complementarios: por un lado, la geometría de las direcciones de difracción (condicionadas por el tamaño y forma de la celdilla elemental del cristal) nos ofrecen información sobre el sistema cristalino. Y por otro lado, la intensidad de los rayos difractados, están íntimamente relacionados con la naturaleza de los átomos y las posiciones que ocupan en la red, tal medida constituye la información tridimensional necesaria para conocer la estructura interna del cristal en dirección de los rayos difractados (www.elergonomista.com).

La espectroscopía infrarroja es una de las herramientas para el estudio de polímeros más utilizado. El método es rápido y sensible, con una gran variedad de técnicas de muestreo, además de ser una técnica que puede considerarse de bajo costo. El espectro de absorción infrarrojo de un compuesto es probablemente su característica física única, se llama a menudo “huella digital” de una molécula. El método fue utilizado en primer lugar, como una herramienta de identificación para compuestos relativamente puros. Sin embargo, las nuevas técnicas permiten el análisis estructural más detallado de las macromoléculas puras y sus oligómeros modelo, el análisis de polímeros y mezclas de muestras en crudo e incluso la investigación de interacciones de macromoléculas particulares (Kačuráková & Wilson, 2001). El Infrarrojo por transformada de Fourier y espectroscopía Raman son técnicas espectroscópicas vibracionales complementarias que permiten el estudio de la composición química y estructura molecular de los biopolímeros (Holse, Larsen, Hansen & Engelsen, 2011). Estos métodos requieren cantidades muy pequeñas de la muestra (IEMG), una de las ventajas que presenta esta técnica

es que son pruebas no destructivas y se puede aplicar para estudiar tanto muestras secas como húmedas (Mauricio-Iglesias, Guillard, Gontard & Peyron, 2009). Esta técnica se basa en los cambios eléctricos, momentos dipolares y polarizabilidad de los enlaces químicos, respectivamente y por lo tanto dan diferente información espectroscópica vibracional. La espectroscopia de IRTF y Raman se puede utilizar para analizar la estructuras secundarias y conformaciones de proteína/polisacáridos sobre la base de las bandas de absorción características específicas de grupos funcionales contenidos en estos biopolímeros (Sivam, Sun-Waterhouse, Perera & Waterhouse, 2013). La región del infrarrojo medio de $4000-400\text{ cm}^{-1}$ es la más ampliamente utilizada para diversas aplicaciones, como en la bioquímica, biología y aplicaciones industriales de alimentos, envases y otros (Zhbakov, Andrianov & Marchewka, 1997). Los métodos quimiométricos se utilizan ampliamente en análisis cuantitativos. En el campo de la física de polímeros sintéticos, nuevas técnicas no convencionales se han desarrollado recientemente. Aunque se ha tenido algunas limitaciones de muestreo para el análisis en dos dimensiones de espectroscopia infrarroja (2D FT-IR) también ha sido introducido con éxito en el campo de la investigación en los hidratos de carbono (Kačuráková & Wilson, 2001).

Los plásticos biodegradables pasan por acciones de degradación natural ocurrida por microorganismos (bacterias, hongos y algas). Este tipo de plástico puede ser denominado fotodegradable, oxidativamente degradables, ó hidrolíticamente degradables por composteo (Kolybaba et al., 2003).

La determinación de las características físicas, mecánicas y reológicas de las estructuras de las película, se relaciona con los parámetros físico-químicos, que incluyen resistencia mecánica, elasticidad, viscosidad, humedad, permeación de gas, la cohesión de los polímeros, adhesión de la película en las superficies de los alimentos, la energía superficial, rugosidad de la superficie/suavidad, transmisión de la luz, color (opaco/brillante) y las características termoplásticas y el proceso idóneo de recubrimiento (Mehyar, Han, Holley, Blank & Hydamaka, 2007). La cohesión de los materiales de formación de película es un parámetro importante que influye en la resistencia

mecánica de las películas, especialmente aquellas de estructura homogénea continua de película. La cohesión es la fuerza de atracción entre moléculas de la misma sustancia (Guilbert, Gontard & Gorris, 1996). Si los materiales formadores de película contienen componentes que no son compatibles con los principales biopolímeros, la cohesión de los materiales de formación de película disminuye y la resistencia de la película se debilita. Cuando se investiga el uso de nuevos biopolímeros o aditivos, la compatibilidad de todos los ingredientes que forman películas debe mantenerse, para obtener una fuerte cohesión. Los plastificantes son los agentes reductores de la cohesión de polímeros formadores de película. La adhesión de los materiales de formación de película es un parámetro importante para el proceso de fundición y los procesos de recubrimiento. La adhesión es la fuerza de atracción entre las moléculas de la superficie de diferentes sustancias, tales como los materiales de revestimiento y superficies de los alimentos (Guilbert et al., 1996). Una fuerza de baja adherencia ocasiona recubrimientos fragmentados sobre la superficie y son fáciles de despegar fuera de las capas de revestimiento de la superficie. La energía superficial de los materiales de formación de película (tensión superficial de la solución formadora de película), la energía de superficie sólida de producto sin revestir y la energía superficial de la película seca debe ser determinadas para lograr una fuerte adhesión. Una diferencia grande de la energía superficial de un material de recubrimiento ocasionan fragmentación en la superficie del producto, disminuyendo el trabajo de adhesión dando como resultado un bajo rendimiento del revestimiento (Good, 1992; Han, 2014b). Los agentes tensoactivos, tales como emulsionantes y otros productos químicos anfífilos en la solución formadora de película, reducen la tensión superficial de la solución de recubrimiento, disminuyendo así la diferencia entre la superficie sólida la energía y la tensión superficial de la solución de revestimiento y finalmente aumentar el trabajo de adhesión (Han, 2014b).

7. Aplicaciones de las Películas Biopoliméricas (Alimentos y Miscelaneos)

7.1. Nuevos Productos

La industria alimentaria ha proporcionado avances considerables en la aplicación de nuevos usos para tecnologías de películas comestibles. Los productores de carne están utilizando películas para curar embutidos como el jamón. Los atletas consumen tiras de electrolitos en lugar de bebidas deportivas para la deshidratación. Las películas se utilizan para separar la salsa de tomate de la corteza en una pizza congelada e incluso para lograr que la corteza quede crujiente. Origami Foods, en cooperación con el Servicio Investigación Agrícola del USDA, ha desarrollado nuevos productos, en que casi cualquier fruta, verdura o su combinación, pueden ser utilizadas para crear películas comestibles. Tales productos son bajos en grasa, en calorías además de ser sabrosas y saludable; también fueron desarrollados algunas, para personas que presentan alergias a algas (<http://www.origami-foods.com>; <http://www.ceepackaging.com>). Otra novedad en el área de películas comestibles se refiere a decoraciones. Hoy es posible decorar pasteles con diseño en imágenes por computadora. Estas imágenes (a veces clip-art) se imprimen con nuevas tintas de grado alimenticio de alta calidad en papel comestible (películas poliméricas), utilizando una impresora de inyección de tinta estándar. El atractivo de las impresiones es que se pueden colocar en cualquier pastel u horneado. El mismo proceso puede ser utilizado para producir envolturas de dulces con diseño, rollos de papel para pasteles o quiches o cubiertas protectoras decorativos para condimentos y tortas y en muchas otras aplicaciones donde se desea un toque personal o cosmética en un producto de postre (Nussinovitch, 2013).

8. Siguiete Generación de Películas Biopoliméricas

La inclusión de nanopartículas en películas comestibles y la adición de nanocompuestos en películas para mejorar las propiedades mecánica y, estabilidad a la oxidación, propiedades de barrera y biodegradabilidad de las matrices poliméricas convencionales (Sorrentino, Gorrasi & Vittoria, 2007). Existen cuatro diferentes tipos de nanocompuestos basados en quitosano para preparar películas biopoliméricas utilizando el método por evaporación de solventes incorporando diversos tipos de nanopartículas (principalmente montmorillonita), el grado de interacción producida en las películas con los nanocompuestos, se obtienen películas modificadas orgánicamente (Nussinovitch, 2013). Recientes estudios de investigación se han centrado principalmente en la aplicación de antimicrobianos naturales en el sistema de envasado de alimentos. Compuestos de derivados biológicos como bacteriocinas, fitoquímicos y enzimas antimicrobianas pueden ser utilizadas para el envasado de alimentos (Irkin & Esmer, 2015). Así mismo, los invertebrados marinos han sido reconocidos como rica fuentes de más de 400 compuestos bioactivos, incluyendo agentes hipotensores, sustancias activas para padecimientos cardiovasculares, relajantes musculares, antibióticos, antiviral y agentes antitumoral. Los pepinos de mar o las holoturias son animales que se encuentra en zonas de aguas poco profundas del mar hasta lo profundo del océano. La pared celular del pepino de mar contiene grandes cantidades de glicanos sulfatados. El polisacárido de la pared celular es comparable con la estructura del sulfato de condroitina de mamíferos, pero algunos de los residuos de ácido glucurónico presentan ramas de fucosa sulfatadas, estas confieren una alta actividad anticoagulante y también una actividad antitrombina (Nussinovitch, 2013).

Con la rápida evolución de la biotecnología existe un gran variedad para hacer uso de los desechos como fuentes de valiosos componentes como los nutraceuticos y otros ingredientes, que comprenden proteínas, incluyendo colágeno y gelatina, hidrolizado de proteína, péptidos bioactivos, lípidos ricos en ácidos grasos poliinsaturados, escualeno, carotenoides, polisacáridos tales como quitina, quitosano, glicosaminoglicanos y nutraceuticos basados en

minerales, entre otros. Estos productos, dependiendo sus características tienen potencial para varias aplicaciones tales como aditivos de alimentos naturales, bioactivo compuestos nutraceuticos, fármacos, envases biodegradables y como encapsulación de materiales para diversos usos (Menon & Lele, 2015).

Aunado a lo anterior una innovación reciente en los envases son los denominados inteligentes el cual consisten en relacionar la migración interna de conservadores para el alimento con la función de comunicación del envase para facilitar la toma de decisiones (Biji, Ravishankar, Mohan & Srinivasa-Gopal, 2015). Los sistemas de envase inteligentes ofrecen al usuario información sobre las condiciones de los alimentos o de su entorno (temperatura, pH). Es una extensión de la comunicación de la función de los envases tradicionales con los consumidores en función de su capacidad para detectar y registrar los cambios en el medio ambiente de los productos envasados (Realini & Marcos, 2014).

9. Conclusiones

Las películas biopoliméricas se pueden obtener de recursos naturales renovables, ventaja comparativa con respecto a los polímeros sintéticos usados en los envases dada su biodegradabilidad. La mezcla es un aspecto importante para las propiedades y diseño del biopolimero en ello implica la diversidad de aplicaciones que se puede dar al envasado. El logro de una constante mezcla de calidad con las propiedades deseadas requiere la atención adecuada a tanto el proceso como el diseño de productos. El futuro de las investigaciones en materia de películas biopoliméricas tendrá que ser relacionadas con el uso de nanotecnología para mejorar las propiedades de tracción, barrera, permeabilidad, etc. a través del desarrollo de nanopartículas que promuevan actividades antimicrobianas, mejorando las características de los alimentos como el dulzor, sabor y otros agentes activos que contengan esos empaques. Se espera que las futuras películas biopoliméricas y comestibles puedan incluir no solo herramientas nanotecnológicas sino todas aquellas que puedan lograr

una evolución de los envases y la producción de nuevas tecnologías de películas.

Referencias

- Adachi, E., & Matsubara, K. (2000). Reproducibility and applicability of gallium replication as evaluated by biological specimen use. *Journal of electron microscopy*, 49(2), 371-378.
- Ahmadi, R., Kalbasi-Ashtari, A., Oromiehie, A., Yarmand, M.-S., & Jahandideh, F. (2012). Development and characterization of a novel biodegradable edible film obtained from psyllium seed (*Plantago ovata* Forsk). *Journal of Food Engineering*, 109(4), 745-751.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.11.010>
- Ahvenainen, R. (2003). *Novel food packaging techniques*. Elsevier.
- Appendini, P., & Hotchkiss, J.H. (2002). Review of antimicrobial food packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3(2), 113-126.
[http://dx.doi.org/10.1016/S1466-8564\(02\)00012-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1466-8564(02)00012-7)
- Biji, K.B., Ravishankar, C.N., Mohan, C.O., & Srinivasa-Gopal, T.K. (2015). Smart packaging systems for food applications: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 1-11.
<http://dx.doi.org/10.1007/s13197-015-1766-7>
- Bismarck, A., Aranberri-Askargorta, I., Springer, J., Lampke, T., Wielage, B., Stamboulis, A. et al. (2002). Surface characterization of flax, hemp and cellulose fibers; Surface properties and the water uptake behavior. *Polymer Composites*, 23(5), 872-894.
<http://dx.doi.org/10.1002/pc.10485>
- Brody, A.L., Strupinsky, E., & Kline, L.R. (2010). *Active packaging for food applications*. CRC press.
- Del-Valle, V., Hernández-Muñoz, P., Guarda, A., & Galotto, M. J. (2005). Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chemistry*, 91(4), 751-756.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.07.002>
- Dushkina, N., & Lakhtakia, A. (2013). Structural Colors. En Lakhtakia, A., & Martín-Palma, R.J. (Eds.). *Engineered Biomimicry*. Boston: Elsevier. 267-303.
- Gennadios, A. (2004). Edible films and coatings from proteins. En Yada, R.Y. (Ed.). *Proteins in Food Processing*. Woodhead Publishing. 442-467.
- Giovannetti, M.D.V. (2003). El mundo del envase: Manual para el diseño y producción de envases y embalajes. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.

- Gontard, N., Guilbert, S., & Cuq, J.-L. (1992). Edible Wheat Gluten Films: Influence of the Main Process Variables on Film Properties using Response Surface Methodology. *Journal of Food Science*, 57(1), 190-195.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb05453.x>
- Good, R.J. (1992). Contact angle, wetting, and adhesion: a critical review. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 6(12), 1269-1302.
<http://dx.doi.org/10.1163/156856192x00629>
- Guilbert, S., Gontard, N., & Gorris, L.G.M. (1996). Prolongation of the Shelf-life of Perishable Food Products using Biodegradable Films and Coatings. *LWT - Food Science and Technology*, 29(1-2), 10-17.
<http://dx.doi.org/10.1006/fstl.1996.0002>
- Han, J.H. (2003a). Antimicrobial food packaging. *Novel food packaging techniques*, 50-70.
- Han, J.H. (2014b). Edible Films and Coatings: A Review. En Han, J.H. (Ed.). *Innovations in Food Packaging (Second Edition)*. San Diego: Academic Press. 213-255.
- Holse, M., Larsen, F.H., Hansen, Å., & Engelsen, S.B. (2011). Characterization of marama bean (*Tylosema esculentum*) by comparative spectroscopy: NMR, FT-Raman, FT-IR and NIR. *Food Research International*, 44(1), 373-384.
- Irkin, R., & Esmer, O. (2015). Novel food packaging systems with natural antimicrobial agents. *Journal of Food Science and Technology*, 1-17.
<http://dx.doi.org/10.1007/s13197-015-1780-9>
- Jouki, M., Mortazavi, S.A., Yazdi, F.T., & Koocheki, A. (2014a). Characterization of antioxidant-antibacterial quince seed mucilage films containing thyme essential oil. *Carbohydrate Polymers*, 99(0), 537-546.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.077>
- Kačuráková, M., & Wilson, R.H. (2001). Developments in mid-infrared FT-IR spectroscopy of selected carbohydrates. *Carbohydrate Polymers*, 44(4), 291-303.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00245-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00245-9)
- Kennedy, J.F., & He, M.M. (2004). Water-Soluble Polymer Application in Foods: A. Nussinovitch. Blackwell Publishers, Oxford. *Carbohydrate Polymers*, 57(3), 350.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.06.007>
- Khazaei, N., Esmaili, M., Djomeh, Z.E., Ghasemlou, M., & Jouki, M. (2014). Characterization of new biodegradable edible film made from basil seed (*Ocimum basilicum* L.) gum. *Carbohydrate Polymers*, 102(0), 199-206.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.062>
- Kolybaba, M., Tabil, L., Panigrahi, S., Crerar, W., Powell, T., & Wang, B. (2003). *Biodegradable polymers: past, present, and future*. Paper presented at the An ASAE Meeting Presentation.

- Mauricio-Iglesias, M., Guillard, V., Gontard, N., & Peyron, S. (2009). Application of FTIR and Raman microspectroscopy to the study of food/packaging interactions. *Food Additives and Contaminants*, 26(11), 1515-1523.
- Mehyar, G.F., Al-Ismail, K., Han, J.H., & Chee, G.W. (2012). Characterization of Edible Coatings Consisting of Pea Starch, Whey Protein Isolate, and Carnauba Wax and their Effects on Oil Rancidity and Sensory Properties of Walnuts and Pine Nuts. *Journal of Food Science*, 77(2), E52-E59.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02559.x>
- Mehyar, G.F., Han, J.H., Holley, R.A., Blank, G., & Hydamaka, A. (2007). Suitability of pea starch and calcium alginate as antimicrobial coatings on chicken skin. *Poultry Science*, 86(2), 386-393.
- Menon, V.V., & Lele, S. (2015). Nutraceuticals and Bioactive Compounds from Seafood Processing Waste. en Kim, S.-K. (Ed.). *Springer Handbook of Marine Biotechnology*. Springer Berlin Heidelberg, 1405-1425.
- Muriel-Galet, V., López-Carballo, G., Gavara, R., & Hernández-Muñoz, P. (2012). Antimicrobial food packaging film based on the release of LAE from EVOH. *International Journal of Food Microbiology*, 157(2), 239-244.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.05.009>
- Nussinovitch, A. (2013). Biopolymer Films and Composite Coatings. En Ebnesajjad, S. (Ed.). *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics*. Boston: William Andrew Publishing. 295-327.
- Osés, J., Niza, S., Ziani, K., & 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.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.01965.x>
- Pérez, C.D., Flores, S.K., Marangoni, A.G., Gerschenson, L.N., & Rojas, A.M. (2009). Development of a High Methoxyl Pectin Edible Film for Retention of l-(+)-Ascorbic Acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(15), 6844-6855.
<http://dx.doi.org/10.1021/jf804019x>
- Pommet, M., Redl, A., Morel, M.H., Domenek, S., & Guilbert, S. (2003). *Thermoplastic processing of protein-based bioplastics: chemical engineering aspects of mixing, extrusion and hot molding*. Paper presented at the Macromolecular symposia.
- Psomiadou, E., Arvanitoyannis, I., & Yamamoto, N. (1996). Edible films made from natural resources; microcrystalline cellulose (MCC), methylcellulose (MC) and corn starch and polyols – Part 2. *Carbohydrate Polymers*, 31(4), 193-204.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0144-8617\(96\)00077-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0144-8617(96)00077-X)

- Realini, C.E., & Marcos, B. (2014). Active and intelligent packaging systems for a modern society. *Meat Science*, 98(3), 404-419.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.031>
- Restuccia, D., Spizzirri, U.G., Parisi, O.I., Cirillo, G., Curcio, M., Iemma, F. et al. (2010). New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry applications. *Food Control*, 21(11), 1425-1435.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.04.028>
- Rizzarelli, P., & Carroccio, S. (2014). Modern mass spectrometry in the characterization and degradation of biodegradable polymers. *Analytica Chimica Acta*, 808(0), 18-43.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2013.11.001>
- Ruckman, S.A., Rocabayera, X., Borzelleca, J.F., & Sandusky, C.B. (2004). Toxicological and metabolic investigations of the safety of N- α -Lauroyl-L-arginine ethyl ester monohydrochloride (LAE). *Food and Chemical Toxicology*, 42(2), 245-259.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2003.08.022>
- Sánchez-González, L., Vargas, M., González-Martínez, C., Chiralt, A., & Cháfer, M. (2009). Characterization of edible films based on hydroxypropylmethylcellulose and tea tree essential oil. *Food Hydrocolloids*, 23(8), 2102-2109.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.05.006>
- Silva-Weiss, A., Ihl, M., Sobral, P.J.A., Gómez-Guillén, M.C., & Bifani, V. (2013). Natural Additives in Bioactive Edible Films and Coatings: Functionality and Applications in Foods. *Food Engineering Reviews*, 5(4), 200-216.
<http://dx.doi.org/10.1007/s12393-013-9072-5>
- Sivam, A.S., Sun-Waterhouse, D., Perera, C.O., & Waterhouse, G.I.N. (2013). Application of FT-IR and Raman spectroscopy for the study of biopolymers in breads fortified with fibre and polyphenols. *Food Research International*, 50(2), 574-585.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.039>
- Sorrentino, A., Gorrasi, G., & Vittoria, V. (2007). Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. *Trends in Food Science & Technology*, 18(2), 84-95.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2006.09.004>
- Tharanathan, R.N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in Food Science & Technology*, 14(3), 71-78.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00280-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00280-7)
- Vásconez, M.B., Flores, S.K., Campos, C.A., Alvarado, J., & Gerschenson, L.N. (2009). Antimicrobial activity and physical properties of chitosan-tapioca starch based edible films and coatings. *Food Research International*, 42(7), 762-769.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2009.02.026>

Villada, H.S., Acosta, H.A., & Velasco, R.J. (2007). Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Temas agrarios*, 12(2).

Yam, K.L., Takhistov, P.T., & Miltz, J. (2005). Intelligent Packaging: Concepts and Applications. *Journal of Food Science*, 70(1), R1-R10.

<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09052.x>

Zhbankov, R.G., Andrianov, V.M., & Marchewka, M.K. (1997). Fourier transform IR and Raman spectroscopy and structure of carbohydrates. *Journal of Molecular Structure*, 436-437(0), 637-654.

[http://dx.doi.org/10.1016/S0022-2860\(97\)00141-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-2860(97)00141-5)