



Polímeros utilizados para la elaboración de películas biodegradables

M. Rubio-Anaya* y J. A. Guerrero-Beltrán

*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

El empaque de un alimento tiene como función principal preservar y proteger al producto que contiene, para así poder extender su vida útil. El uso excesivo de empaques elaborados a partir de materiales sintéticos ha generado graves problemas ambientales, debido a su total falta de biodegradabilidad. El creciente interés en los alimentos procesados de alta calidad y menor impacto ambiental ha llevado a la industria de alimentos a buscar diversas alternativas para satisfacer las demandas del consumidor. Hoy en día, se está generando una nueva tecnología en el envasado de alimentos, que tiene como principal objetivo sustituir los materiales convencionales en materia prima obtenida a partir de fuentes renovables que sean completamente biodegradables. El objetivo de identificar los diferentes polímeros utilizados para producir empaques biodegradables.

Palabras clave: películas, biodegradable, polímeros.

Abstract

Food packaging has as main function to preserve and protect the product to extend its self-life. The excessive use of packaging prepared from synthetic materials has led to serious environmental concerns, to their total lack of biodegradability. Increasing interest in high-quality food products and reduced environmental impact has led the food industry to find alternatives to meet these demands. Nowadays, a new technology in food packaging is being generated, which seeks to replace conventional plastic packaging materials prepared from renewable sources that are completely biodegradable. The aim of this review is to identify the different polymers used to produce biodegradable packaging.

Keywords: films, biodegradable, polymers.

Introducción

El empaque de un alimento es fundamental para la conservación del mismo. Sin embargo, una vez que el alimento es consumido, el empaque se desecha y pasa a formar parte de

las grandes cantidades de basura que se acumulan día a día en el planeta. Adicionalmente, la mayor parte de los materiales usados en la fabricación de empaques para alimentos son plásticos, los cuales provienen de una fuente no renovable y no son biodegradables. Por dar un ejemplo, puede mencionarse que a finales de la década pasada en el mundo se consumían alrededor de

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

100 millones de toneladas de poliestireno, material que se utiliza para la producción de empaques y utensilios desechables (platos, vasos, entre otros) para alimentos, de las cuales el 75% se convierte en basura luego de su uso y el 95% no es reciclable (S.M.A., 2008).

Debido a lo anterior, ha surgido una creciente preocupación entre los especialistas en la conservación de alimentos, por disponer de materiales de empaque que además de proteger a los productos que contienen, permitan reducir los problemas causados por la generación y acumulación de basura. Es así como en las últimas décadas se ha realizado un número importante de estudios relacionados con el desarrollo de materiales de empaque, específicamente películas, que puedan ser ingeridos junto con el alimento que protegen (películas comestibles) o que puedan descomponerse en corto tiempo como resultado de la acción de microorganismos y/o enzimas (películas biodegradables). Las investigaciones sobre estos últimos incluyen tanto polímeros de origen natural (hidratos de carbono, proteínas, lípidos) como de origen sintético (ácido poliláctico, polihidroxi alconato). El propósito de este artículo es presentar una revisión sobre dichos polímeros, así como sobre sus propiedades como materiales para la formación de películas para empaacar alimentos.

Revisión bibliográfica

1. Aspectos generales de los empaques

Se define empaque como aquel material que cubre todas las funciones que corresponden a envolver, contener y proteger los productos para su transporte, venta y consumo (Coles *et al.*, 2003).

Sin la existencia de los empaques sería casi imposible que la mayoría de los productos fabricados por las industrias procesadoras de alimentos fueran distribuidos y comercializados, debido a que éstos estarían expuestos a un gran número de factores que causarían su deterioro. Los efectos logrados al aplicar tratamientos a los alimentos frescos con el fin de preservarlos, estarían seriamente comprometidos si los productos obtenidos no fueron empacados. De aquí que la función principal de los empaques sea proteger a los productos. La protección que los empaques deben proporcionar a los alimentos depende principalmente de la naturaleza de éstos últimos. La mayoría de los alimentos necesitan protección contra la contaminación microbiana posterior al tratamiento de conservación, el daño causado por insectos y roedores, y el daño mecánico provocado por golpes, caídas y vibraciones. Muchos requieren protección contra la ganancia y/o pérdida de agua, y algunos otros deben ser protegidos del contacto con el oxígeno, la luz y las radiaciones ultravioleta, debido a que contienen compuestos susceptibles a estos factores. Otra función básica de un empaque es contener al alimento en porciones definidas y apropiadas para su venta. Además, el empaque sirve como medio para proporcionar al consumidor información sobre el producto (cantidad, ingredientes, valor nutricional, instrucciones para el almacenamiento y el consumo, entre otras) y para promoverlo.

Debido a que los empaques tienen múltiples funciones y a que son usados para envasar una gran diversidad de alimentos, sus características y propiedades son muy variadas. Los materiales usados para fabricarlos son tan distintos como papel, cartón, plásticos, vidrio, hojalata, aluminio y combinaciones de los mismos. En cuanto a su forma, se encuentran como cajas, latas, bolsas, frascos, películas, entre otros. Estas últimas se

definen como matrices continuas, delgadas, que se estructuran alrededor del alimento que protegen (García *et. al.*, 2002). La mayoría de las películas usadas comercialmente están fabricadas con distintos tipos de plásticos, los cuales además de ser obtenidos a partir de hidrocarburos, presentan la desventaja de no ser biodegradables. Por esto y con el fin de reducir los volúmenes de basura generados por los empaques de alimentos, recientemente se han llevado a cabo estudios encaminados a producir películas usando materiales biodegradables.

2. Películas biodegradables

Un empaque biodegradable está definido por la ASTM como aquel que es capaz de descomponerse en bióxido de carbono, metano, agua, compuestos inorgánicos o biomasa, siendo el mecanismo dominante de descomposición la acción enzimática de los microorganismos y que los productos resultantes puedan ser obtenidos y medidos en un periodo determinado de tiempo (ASTM, 2005).

Existen dos tipos de biodegradación, la aerobia y la anaerobia. La biodegradación aerobia ocurre en presencia de oxígeno; los productos resultantes de este proceso de degradación son biomasa, dióxido de carbono, agua y compuestos inorgánicos. La biodegradación anaerobia no necesita oxígeno y los productos resultantes son biomasa, metano, metabolitos intermedios y compuestos inorgánicos. El grado de biodegradación del empaque va a depender de las condiciones ambientales tales como temperatura, humedad, presión parcial del oxígeno, composición de la flora microbiana y pH del suelo (Kyrikou y Briassoulis, 2007).

Los materiales utilizados para la elaboración de empaques biodegradables pueden ser polímeros de origen natural (proteínas, almidón, lípidos, quitosano, entre

otros) o de origen sintético (polihidroxialcanoatos y ácido poliláctico) (Tharanathan, 2003).

2.1 Polímeros de origen natural

Entre los polímeros de origen natural que están siendo utilizados para la elaboración de películas biodegradables se encuentran proteínas como colágeno, queratina, gelatina, gluten de maíz, gluten de trigo, proteínas de leche, proteínas de soya, entre otras; polisacáridos como almidón, derivados de celulosa, quitosano, alginato, carragenatos, pectinas, entre otras; y lípidos como ceras, ácidos grasos y moniglicéridos (Tang *et al.*, 2012).

2.1.1 Hidratos de carbono

Almidón. Este polisacárido ha sido considerado durante muchos años como un polímero con alto potencial para formar películas biodegradables, debido a que es un material de alta disponibilidad, bajo costo, renovable y biodegradable (Stagner *et al.*, 2012). Se usa en la fabricación de empaques en distintos niveles, ya que puede combinarse con plásticos en pequeñas cantidades con el fin de incrementar el grado de biodegradación de éstos o emplearse para fabricar empaques con muy altos contenidos de almidón. Los llamados “almidones plastificados” presentan propiedades mecánicas similares a las de los plásticos convencionales y son generalmente resistentes a las grasas y los alcoholes; sin embargo, son degradados cuando se exponen al agua caliente. Las propiedades de estos materiales pueden ser variadas, modificando el contenido de almidón y otros materiales. Son completamente biodegradables y composteables y pueden reemplazar a los plásticos tradicionales en los empaques para alimentos. Usualmente su componente básico es el almidón de maíz (40 – 60%) y el resto son aditivos que mejoran la funcionalidad y otros materiales biodegradables. Cuando los

almidones plastificados son colocados en ambientes biológicamente activos, como compostas y sistemas de tratamiento de aguas de deshecho, presentan características de degradación similares a las hojas, cortezas y papel. Entre los procesos usados para la formación del almidón plastificado están la extrusión, el termoformado, el soplado y el moldeado por inyección (Flieger *et al.*, 2003).

Otro tipo de bioplásticos a base de almidón son los llamados “almidones termoplásticos”, los cuales contienen una alta concentración de este polisacárido (aproximadamente 90%). Éstos son estables en aceites y grasas; sin embargo, dependiendo del tipo pueden cambiar de estables a inestables en agua caliente o fría. También dependiendo del tipo, pueden ser degradados completamente en 5 días en sistemas acuosos y en 45 días en compostas controladas (Flieger *et al.*, 2003).

Además de los anteriores, existe un bioplástico con un contenido de almidón del 100% conocido como “espuma de almidón”. Es un material antiestático, aislante y amortiguador, completamente biodegradable y composteable, que puede sustituir a la espuma de poliestireno como material de empaque biodegradable o puede ser comprimido en láminas para productos de paredes delgadas, tales como charolas, platos desechables, entre otros. Las pruebas de composta confirman su degradación en pocas semanas sin acumulación de residuos (Tiefenbacher, 1993).

Celulosa. Este polisacárido es el biopolímero más abundante en la naturaleza. Es el constituyente principal de las paredes celulares de las plantas y más de la mitad del carbono orgánico del planeta se encuentra en la celulosa. En comparación con el almidón, la celulosa es relativamente resistente a la biodegradación. Lednická *et al.* (2000) evaluaron más de 70 cepas bacterianas, organizadas en tres grupos, *Cellulomonas* spp., *Cellvibrio* spp. y *Pseudomonas* spp., para la

degradación de fibras de celulosa. Estas bacterias degradaron fibras de algodón y lino rápidamente, causando pérdidas de peso de entre el 40% y el 86% en 13 días. La degradación anaerobia de celulosa es mucho más lenta que la aerobia. Clarkson y Xiao (2000) publicaron los resultados de la bioconversión anaerobia de papel de prensa y papel de oficina, la cual fue casi completa a los 20 días, pero se completó después de aproximadamente 165 días.

Una categoría muy importante pero poco explotada de materiales a base de celulosa, es la que condujo a algunos de los primeros productos poliméricos industriales tales como el celuloide y el celofán. Esta categoría todavía ofrece nuevas posibilidades para materiales poliméricos (Simon *et al.*, 1998)

Por otro lado cuando se incrusta celulosa natural conteniendo fibras en matrices poliméricas biodegradables, se obtiene una nueva generación de materiales fibrosos reforzados conocidos como “biocompuestos” (Herrmann *et al.*, 1998). Mientras los polímeros tradicionales consisten de componentes muy estables, los cuales son muy difíciles de descomponer, los biocompuestos están totalmente hechos con materiales provenientes de fuentes biológicamente renovables. Esto ofrece posibilidades adicionales de eliminación conveniente después del final del tiempo de vida, es decir, biodegradación, composteo o combustión neutral a dióxido de carbono (Riedel y Nickel, 2001).

Otra material derivado de la celulosa es el acetato de celulosa, el cual es un material termoplástico amorfo, translúcido, que pertenece a la familia de los ésteres de celulosa. Es obtenido introduciendo grupos acetilo en la celulosa (como algodón o fibras de madera) para producir un material plástico duro. Es especialmente adecuado para películas inflamables y otras aplicaciones de

recubrimiento que requieren alto punto de fusión, dureza, claridad y buena resistencia a las radiaciones ultravioleta, los químicos, los aceites y las grasas (Edgar *et al.*, 2001). Con respecto a la biodegradación de los acetatos de celulosa, Buchanan *et al.* (1993) llevaron a cabo un estudio acerca de la biodegradación aeróbica de estos materiales en el que se demostró que las fibras y películas de acetato de celulosa son potencialmente biodegradables y que la velocidad de biodegradación puede ser controlada por el grado de acetilación. Las películas de monoacetato de celulosa requirieron de 10 a 12 días para una degradación extensiva; el 80% de las películas de diacetato de celulosa evaluadas se degradaron en 4 – 5 días; en cambio las películas preparadas con triacetato de celulosa permanecieron sin cambios después de 28 días. Por otro lado, Gartiser *et al.* (1998) compararon varios métodos para la determinación de la biodegradabilidad anaeróbica de acetatos de celulosas y demostraron que pueden ser degradados a metano.

Quitosano. Este material se obtiene mediante un proceso de desacetilación química o enzimática de la quitina, la cual es un polisacárido compuesto de N-acetil-D-glucosamina, que después de la celulosa, es el polisacárido más abundante en la naturaleza. Su producción industrial se basa principalmente en el tratamiento de los caparazones de crustáceos como camarones, langostas y cangrejos, los cuales se obtienen como desecho de las plantas procesadoras de estas especies (Avérous y Pollet, 2012). Se ha demostrado que bajo condiciones aeróbicas en ambientes acuosos, la quitina se degrada a CO₂ en unos cuantos días (el 30% se degrada después de un día) (Boyer, 1994).

El quitosano es un material con alto potencial para la elaboración de películas y materiales de empaque, ya que además de ser biodegradable, no es tóxico y tiene

propiedades antimicrobianas que le permiten inhibir una amplia variedad de bacterias (Aider, 2010). Las películas elaboradas con este material son transparentes, cuentan con buenas propiedades mecánicas y presentan baja permeabilidad al O₂ y CO₂. Su principal inconveniente es que son altamente permeables al vapor de agua; sin embargo, esta dificultad puede minimizarse incorporando algunos aditivos (Avérous y Pollet, 2012).

Alginatos. Estos polisacáridos se obtienen de diferentes especies de algas y forman geles cuando se les adiciona calcio. Estos geles se usan para elaborar películas y recubrimientos para alimentos, los cuales tienen buenas propiedades de barrera frente al oxígeno y los lípidos (Tang *et al.*, 2012).

2.1.2 Proteínas

En su estado nativo, las proteínas pueden presentar dos tipos de arreglos estructurales: la fibrilar y el globular. Las proteínas fibrilares se caracterizan por ser insolubles en agua y son los constituyentes estructurales de los tejidos animales; están unidas a través de enlaces de hidrógeno, formando fibras. Por su parte, las proteínas globulares son solubles en agua y forman arreglos esféricos complejos; entre ellas se encuentran el gluten de trigo, la proteína de soya, la proteína del suero de leche y la caseína (Flieger *et al.*, 2003).

Esta última proteína presenta características físicas interesantes para la elaboración de películas y recubrimientos comestibles, tales como solubilidad en agua y capacidad para actuar como emulgentes. El caseinato de sodio es altamente soluble, se dispersa rápidamente en mezclas acuosas, se homogeniza en presencia de grasa o aceite y forma fácilmente películas a partir de soluciones acuosas debido a su naturaleza espiral aleatoria y su capacidad para formar enlaces de hidrógeno. Las películas de caseinato presentan alta

resistencia a la desnaturalización química y a la coagulación, lo que significa que se mantienen estables en un amplio intervalo de valores de pH, temperatura y concentración de sal. Además, son menos permeables al oxígeno que las películas elaboradas a partir de polisacáridos. Sin embargo, debido a su carácter hidrófilo presentan una resistencia limitada a la transmisión de agua (Khwaldia, 2010).

Otro sistema proteico utilizado para formar películas es el gluten de trigo, el cual es una alternativa interesante debido a que presenta buenas propiedades de barrera a los gases y una naturaleza relativamente hidrófoba en comparación con otros polímeros naturales (Pallos *et al.*, 2006).

La proteína de soya es otra de las proteínas globulares utilizadas para la formación de películas. En ella pueden distinguirse cuatro fracciones (2S, 7S, 11S y 15S) de acuerdo a las velocidades de sedimentación relativa (Gennadios *et al.*, 1994). Las fracciones principales son la 7S (conglucina) y la 11S (glicina); ambas son proteínas estrechamente plegadas. El grado de enlaces cruzados disulfuro de la conglucina es limitado debido a que sólo hay dos o tres grupos cisteína por molécula; en cambio la glicina contiene veinte enlaces disulfuro intramoleculares. Tanto el medio alcalino como el calentamiento, causan la disociación y el subsecuente desdoblamiento de la glicina debido a la ruptura de los enlaces disulfuro (Kinsella y Phillips, 1979). Existen dos formas para elaborar películas biodegradables basadas en proteína de soya: a partir de leche de soya caliente o de soluciones de aislado de proteína de soya (Gennadios y Weller, 1992).

2.1.3 Lípidos

Otro grupo de materiales que se utilizan para la elaboración de películas biodegradables son los lípidos. Los compuestos de naturaleza

lipídica usados como recubrimientos son: monoglicéridos acetilados, ceras naturales y surfactantes. Las sustancias lipídicas más efectivas son las ceras de parafina y la cera producida por las abejas. La principal función de las cubiertas lipídicas es obstruir el transporte de humedad, debido a su baja polaridad. Por el contrario, la hidrofobicidad característica de los lípidos da lugar a la formación de películas gruesas y frágiles. Consecuentemente las películas elaboradas a base de lípidos deben combinarse con proteínas o derivados de celulosa (Debeauford *et al.*, 1993). Generalmente, la permeabilidad al vapor de agua disminuye cuando la concentración de los materiales hidrofóbicos incrementa. Las películas a base de lípidos son a menudo soportadas sobre una matriz polimérica, usualmente un polisacárido que le proporciona fuerza mecánica (Bourtoom, 2008).

Ceras. Son los compuestos comestibles más eficientes para ser usados como barrera a la humedad. Además, sirven como barrera para los gases y mejoran la apariencia superficial de varios alimentos. Si se aplican como una capa gruesa, como en los quesos, deben ser removidas antes de su consumo; cuando se aplican como capas delgadas, como en las frutas y vegetales crudos, son consideradas comestibles. Entre las ceras utilizadas en alimentos están: la de abeja, la de carnauba (un exudado de las hojas de palma, *Copaernica cerifera*) y la de candelilla (Bourtoom, 2008).

Acetoglicérido. La acetilación del glicerol monoesterato mediante su reacción con anhídrido acético, produce 1-estearodiacetina. Este monoglicérido acetilado presenta la característica particular de solidificarse del estado fundido a un sólido ceroso flexible (Feurge *et al.*, 1953). Muchos lípidos en el estado sólido pueden estirarse 102% de su longitud original antes de fracturarse. Sin embargo, el glicerol monoesterato acetilado, puede estirarse hasta el 800% de su longitud

original. La principal desventaja de estas películas es que su permeabilidad al vapor de agua es mucho menor que la de las películas de polisacáridos. A pesar de esto, han sido usadas en cubiertas de pollo y carne para retardar la pérdida de humedad durante el almacenamiento (Kester y Fennema, 1986).

2.2 Polímeros de origen sintético

Los polímeros de origen sintético biodegradables, son resultado de la fermentación de polímeros primarios (celulosa, almidón, proteína, pectina, entre otros), utilizados como sustratos por diferentes microorganismos, obteniendo diferentes productos finales tales como el ácido poliláctico (PLA), polihidroxialcanoatos (PHA), entre otros (Robertson, 2010).

Ácido poliláctico (PLA). Es un polímero biodegradable derivado de ácido láctico; es un material altamente versátil que se caracteriza por ser termoplástico, biodegradable y composteable; se produce a partir de recursos renovables y presenta propiedades mecánicas, térmicas y de barrera comparables a las de polímeros sintéticos de amplio uso como el poliestireno y el polietileno tereftalato. Se obtiene de cualquier material con alto contenido de almidón o azúcares (por ejemplo: maíz, caña de azúcar, papa, entre otros), el cual sirve de sustrato a bacterias productoras de ácido láctico. La conversión del ácido láctico a su dímero deshidratado (láctido), se lleva a cabo por el proceso de polimerización siempre y cuando se utilice el adecuado catalizador, dando como resultado una película resistente que se usa para la elaboración de empaques para alimentos (Petnamsin *et al.*, 2000). Este tipo de polímero posee características similares a las que tienen el PET (Tereftalato de Polietileno), es un material permanente e inodoro, claro y

brillante, resistente a la humedad y a las grasas. La fuerza extensible y la elasticidad que presenta es también comparable al polietileno, pero este es más hidrofílico, presenta una densidad más baja y estable a la luz ultravioleta (Tharanathan, 2003).

Polihidroxi alconato (PHA). Polímero de origen microbiano producido por *Pseudomonas aeruginosa*. Sintetizados en los cuerpos de las bacterias alimentadas con glucosa. Son polímeros extremadamente versátiles, completamente biodegradables, cristalinos, pueden ser manipulados para proporcionar una amplia gama de propiedades mecánicas y de barrera, en algunos casos, que coinciden con el rendimiento de termoplásticos de ingeniería. Pueden ser degradados con una hidrólisis simple, sin requerir enzimas que la catalicen (Flieger *et al.*, 2003; Tohyama *et al.*, 2002). La producción industrial de PHA, se realiza extrayendo el polímero a partir de las bacterias mediante la optimización de las condiciones de la fermentación microbiana de glucosa. En la década de 1980, Imperial Chemical Industries desarrollo poli (3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato) obtenido por fermentación que fue nombrado "Biopol". Actualmente se encuentra disponible en el mercado bajo el nombre de "Biopol" y distribuido en los EE.UU. por Monsanto y Metabolix (Rudnik, 2008).

Otro polímero producido por la fermentación microbiana es el polihidroxibutirano (PHB), este presenta propiedades similares a las del polipropileno y se pueden elaborar botellas por la técnica de moldeado por soplado. La mayor desventaja que presenta este polímero es su alto costo a comparación de los plásticos convencionales. Cuanta con baja densidad y puede alcanzar la biodegradación completa (Lee *et al.*, 2008).

Conclusiones y comentarios finales

Los avances en el desarrollo de películas biodegradables como materiales de empaque para alimentos, permiten suponer que a corto o mediano plazo será posible disponer de películas que puedan degradarse en poco tiempo por la acción de agentes biológicos y que además cumplan adecuadamente las funciones de protección propias de un empaque. El incremento en los proyectos de investigación orientados a optimizar la calidad de estas películas y los procesos para su elaboración, será determinante para el logro de esta meta.

Agradecimientos

El presente artículo de revisión no podría ser posible sin el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la otorgación del financiamiento a través del proyecto de becas para estudios de posgrado.

Referencias

- Aider, M. (2010). Chitosan application for active biobased films production and potential in the food industry. *Food Science and Technology*, 43, 837 – 842.
- ASTM D5511 – 12. 2005. Standard Test Method for determining anaerobic biodegradation of plastic materials under high-solids anaerobic-digestion conditions. EE.UU.
- Averous L. y Pollet E. 2012. *Polymer degradation and Stability*. Biopol-2011 special issue. EE.UU. pp 1851.
- Bourtoom T. 2008. Edible films and coating: characteristics and properties. *International Food Research Journal*. 15(3): 1 – 12.
- Boyer J. 1994. Aerobic and anaerobic degradation and mineralization of C¹⁴-chitin by water column and sediment inocula of York-river-estuary. *Applied Environment Microbiology*. 60: 174 – 179.
- Buchanan C. Gardner R. y Komarek R. 1993. Aerobic biodegradation of cellulose acetate. *Journal of Applied Polymer Science*. 47: 1709 – 1719.
- Clarkson W. y Xiao W. 2000. Bench-scale anaerobic bioconversion of newsprint and office paper. *Water Science Technology*. 41: 93 – 100.
- Coles R, McDowell D. y Kirwan M. 2003. *Food packaging technology*. Blackwell Publishing. EE.UU. pp 346.
- Debeaufort F, Martin-Polo M. y Voilley A. 1993. Polarity homogeneity and structure affect water vapor permeability of model edible films. *Journal of Food Science*. 58: 426-434.
- Edgar K. Buchanan C, Debenham J, Rundquist P, Sieler B, Shelton M. y Tindall D. 2001. Advance in cellulose ester performance and application. *Progress in Polymer Science*. 26: 1605 – 1688.
- Feurge R, Vicknair E. y Lovegren N. 1953. Modification of vegetable oils. XIII. Some additional; properties of acetostearin products. *Journal of the American Oil Chemistry Society* 30: 283 – 291.
- Flieger M, Kantorovpa M, Rezanka T. y Votruba J. 2003. Biodegradable plastics from renewable sources. *Folia Microbiologica*. 48(1): 27 – 44.
- García M, Ferrero C, Bértola N, Martino M. y Zaritzky N. 2002. Edible coatings from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fries products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 3: 391 – 397.
- Gartiser S. Wallrabenstein M. y Stiene G. 1998. Assessment of several test methods for the determination of the anaerobic biodegradability of polymers. *Journal of Environment Polymer Degradation*. 6: 159 – 173.
- Gennadios A. y Weller C. 1992. Tensile strength increase of wheat gluten films. *International Winter Meeting American Society of Agricultural Engineers*. (92):15 – 18.
- Gennadios A, McHugh H, Weller L. y Krochta J. 1994. Edible coating and films based on protein. En Krochta J, Balwin E. y Niperos-Carriedo, M. (Eds.). *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. Technomic Publishing. EE.UU. pp. 201-277
- Herrmann A, Nickel J. y Riedel U. 1998. Construction material based upon biologically renewable resources. *Polymer Degradation and Stability*. 59: 251 – 261.
- Kester J. y Fennema O. 1986. Edible films and coatings: A review. *Food Technology* 40(12): 47-59.

- Khwalidia K. 2010. Water vapor barried and mechanical properties of paper-sodium caseinate and paper-sodium caseinate-paraffin wax films. *Journal of Food Biochemistry*. 34: 998 – 1013.
- Kinsella J. y Phillips L. 1979. Film properties of modified proteins. In Kinsella J. y Soucie W. Food Protein. *The American Oil Chemists's Society*:78-99.
- Kyrikou I. y Briassoulis D. 2007. Biodegradation of agricultural plastic films: a critical review. *Journal of Polymer Environment*. 15: 125 – 50.
- Lee D, Yam K. y Piergiovanni L. 2008. *Food packaging science and technology*. CRC Press. EE.UU. 629.
- Lednická D, Mergaert J, Cnockaert M. y Swings J. 2000. Isolation and identification of cellulolytic bacteria involved in the degradation of natural cellulosic fibres. *Systematic and Applied Microbiology*. 23: 292 – 299.
- Pallos F, Robertson G, Pavlath A. y Orts W. 2006. Thermoformed wheat gluten biopolimers. *Journal of Agriculture of Food Chemistry*. 54: 349 – 352.
- Petnamsin C, Termvejsayanon N. y Sriroth K. 2000. Effect of particle size on physical properties and biodegradability of cassava starch/ polymer blend. *Journal of Natural Sciences* 34:254-261.
- Riedel U. y Nickel J. 2001. Structural materials from renewable resource. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*. 32: 493 – 498.
- Robertson G. 2010. *Food Packaging and Shelf Life*. CRC Press. EE.UU. 388.
- Rudnik E. 2008. *Compostable polymer materials*. Elsevier. EE.UU.
- Simon J, Muller H, Koch R. y Muller V. 1998. Thermoplastic and biodegradable polymers of cellulose. *Polymers Degradation Stability*. 59: 107 – 115.
- Stagner J, Dias V. y Narayan R. 2012. Application and performance of maleated thermoplastics starch-poly (butylene adipate-co-terephthalate) blends for films. *Journal of Applied Polymer Science*. 126(1): 135 – 142.
- S.M.A. 2008. “Norma Ambiental Estatal NAE-SEMADES-007/2008, Criterios y especificaciones técnicas bajo las cuales se deberá realizar la separación, clasificación y valorización de los residuos en el Estado de Jalisco”. Secretaría de Medio Ambiente. México.
- Tang X, Kumar P, Alavi S. y Sandeep K. 2012. Recent advances in biopolymers and biopolymer-based nanocomposite for food packaging materials. *Food Science and Nutrition*. 52(2): 426 – 441.
- Tharanathan R. 2003. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Food Science and Technology*. 14:71-78
- Tiefenbacher K. 1993. Starch-based foamed material: use and degradation properties. *Journal of Macromolecular Science-Pure and Applied Chemistry*. 30: 727 – 731.
- Tohyama A, Patarinska T, Qiang Z. y Shimizuki K. 2002. Modeling of the mixed culture and periodic control for PHB production. *Biochemistry Engineering Journal*. 9: 1 – 17.