

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

BIOPOLÍMEROS NATURALES USADOS EN EMPAQUES BIODEGRADABLES

BIOPOLYMERS NATURALS USED IN BIODEGRADABLE PACKAGING

Héctor S. Villada¹, Harold A. Acosta² y Reinado J. Velasco¹

Recibido para evaluación: Agosto 1 de 2006 - Aceptado para publicación: Julio 25 de 2007

RESUMEN

En esta revisión se hace una descripción de algunos biopolímeros aplicados a la agroindustria de empaques biodegradables, como también algunos conceptos sobre recubrimientos para productos alimenticios y otras estructuras membranosas. Estas películas dan transparencia, flexibilidad y dureza. Las películas elaboradas con biopolímeros y adición de plastificantes comerciales, aumentan sustancialmente la biodegradabilidad y mejoran las propiedades mecánicas y de barrera. Con los biopolímeros naturales renovables se abre la posibilidad de producir recubrimientos y empaques biodegradables a partir de materias primas autóctonas de Latinoamérica con destino a la protección de alimentos y otros usos agroindustriales.

Palabras clave: Películas, cubrimiento, protección.

ABSTRACT

In this review a description is made about some applied biopolymers to the agro industry of biodegradable packaging, as well as some concepts related to coating for foods products and other membranous structures. These films give transparency, flexibility and hardness. The films elaborated with biopolymers and with commercial addition of plasticizer increase the biodegradability and improve the mechanical and isolating properties of the films. With the use of biopolymers from renewable natural resources, the possibility to produce coating and biodegradable packaging from native raw materials native to Latin America is open for food protection and others agro-industrials uses.

Key words: Films, coating, protection.

¹Universidad del Cauca, Departamento de Agroindustria, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Calle 5 No. 4 -70. Popayán, Cauca. hsamuelv@yahoo.com, rvelasco@unicauca.edu.co

²Universidad del Valle. Departamento de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ingeniería. Calle 13 No. 100-00. AA 25360 Cali, Colombia. hcostaz@gamil.com

INTRODUCCIÓN

La prioridad principal de los empaques es la preservación y protección de todo tipo de productos, siendo los alimentos y las materias primas el campo de mayor prioridad. Estos productos requieren atención dada la contaminación generada por microorganismos (bacterias, esporas, hongos, etc.) durante la manipulación (Tharanathan, 2003). La protección se hace a través de los empaques, los cuales generalmente se elaboran a partir de polímeros sintéticos. No obstante, el uso indiscriminado de empaques sintéticos ha generado serios problemas ecológicos contribuyendo a la contaminación ambiental provocada por desechos sólidos de baja degradabilidad, lo que ha impulsado a la búsqueda de biopolímeros naturales. El aprovechar los recursos naturales como fuente de conservación y reciclaje se convierte en una excelente opción e innovación en el desarrollo de nuevos productos biodegradables. Su total biodegradación en productos como CO₂, agua y posteriormente en abono orgánico es una gran ventaja frente a los sintéticos (Bastioli, 2001). El objetivo de esta revisión es conocer los diferentes biopolímeros obtenidos de diversas fuentes de recursos naturales usados en empaques biodegradables.

MATERIALES NATURALES PARA EMPAQUES BIODEGRADABLES

El reemplazo total de los plásticos sintéticos por materiales biodegradables para la elaboración de empaques no se ha logrado hasta el presente, no obstante si se han sustituido algunos polímeros sintéticos por otros naturales, en aplicaciones específicas. Tales reemplazos han permitido el desarrollo de productos con características específicas relacionadas con las propiedades de barrera, mecánicas y térmicas en determinados empaques como películas, protectores,

espumas, envolturas, platos, tasas, cucharas, bolsas, etc., (Avérous y Boquillon, 2004; Wang *et al.*, 2003).

Los biopolímeros naturales provienen de cuatro grandes fuentes: origen animal (colágeno/gelatina), origen marino (quitina/quitosan), origen agrícola (lípidos y grasas e hidrocoloides: proteínas y polisacáridos) y origen microbiano (ácido poliláctico (PLA) y polihidroxialcanoatos (PHA)) (Tharanathan, 2003).

Polisacáridos

Los polisacáridos son conocidos por su estructura compleja y diversidad funcional (Stawaski y Jantas, 2003). La estructura lineal de algunos de estos polisacáridos es, por ejemplo, la celulosa (1,4-b-D- glucano), la amilosa (un componente del almidón 1, 4-a-D- glucano) y el quitósan (1, 4-b-D- polímero de glúcidos), le proporcionan a algunas películas dureza, flexibilidad y transparencia; las películas son resistentes a las grasas y aceites. El entrelazamiento, por ejemplo, del quitósan con aldehídos hace la película más dura, insoluble en agua y le proporciona una alta resistencia (Benavides, 2002; Srinivasa *et al.*, 2004).

El celofán, es una película regenerada de celulosa que se hace por un proceso viscoso. La celulosa de éter aniónico y la carboximetilcelulosa (CMC), se solubilizan en agua siendo compatibles con otro tipo de biomoléculas, mejorando las propiedades mecánicas y de barrera en las películas elaboradas. La CMC es una película capaz de absorber el aceite recogido en los alimentos sometidos a proceso de fritura profunda (García *et al.*, 2004). Películas elaboradas de bagazo de yuca, CMC y residuos de papel Kraft han mostrado una alta resistencia, importante propiedad para la fabricación de panales de huevo, empaques para frutas y verduras (Matsui *et al.*, 2004).

El almidón es otra materia prima en abundancia, específicamente el que proviene del maíz, tiene propiedades termoplásticas cuando se realiza la disrupción estructural a nivel molecular. La presencia de amilosa en un 70% en almidones de amilo-maíz da una estructura fuerte y más flexible a la película. La estructura ramificada de la amilopectina generalmente le da a la película pobres propiedades mecánicas. Los compuestos de los almidones hidroxipropilados son usados para la preservación de caramelos, pasas, nueces y dátiles para evitar la rancidez oxidativa (Tharanathan, 2003). La síntesis de la copolimerización e injertación de monómeros tales como acrilonitrilo (AN), generan un precursor de fibras acrílicas utilizadas en la preparación de compuestos de almidón más polímero (almidón-injerto-PAN), los cuales son también biodegradables (Tharanathan, 2002).

Las investigaciones en plásticos biodegradables basadas en almidón se iniciaron desde 1970 y continúan actualmente en varios laboratorios del mundo. Las tecnologías que aún se siguen desarrollando, están relacionadas con la incorporación del gránulo de almidón o almidón en forma gelatinizada a las formulaciones de las películas fabricadas en procesos de compresión, extrusión soplado, extrusión de un sólo tornillo o doble tornillo y moldeo por inyección (Blacido *et al.*, 2005; Parra *et al.*, 2004). El problema que han presentado las películas fabricadas con almidón es la sensibilidad a la humedad, la cual se ha reducido utilizando en las formulaciones polivinilalcohol (PVA), glicerina, sorbitol, bases nitrogenadas, etc. (Shamekin *et al.*, 2002; Smits *et al.*, 2003; Finkenstadt y Willett, 2004; Yu, 2004; Acosta *et al.*, 2006). La plastificación del gránulo de almidón nativo o almidón hidrolizado se obtiene por la disrupción estructural que resulta de una disminución de los cristales durante el proceso de extrusión y la acción del plastificante, emergiendo un nuevo tipo de material conocido como almidón

termoplástico (TPS) (Acosta *et al.*, 2005; Villada, 2005). Igualmente, se han realizado estudios en TPS hechos a partir de amilosa y amilopectina; en éstos se analizaron las propiedades de barrera, las cuales mostraron una alta permeabilidad al O₂ y disminución al vapor de agua en TPS de amilosa comparados con los elaborados a partir de amilopectinas. (Forsell *et al.*, 2002; Dole *et al.*, 2004; Jansson y Thuvander, 2004; Blacido *et al.*, 2005).

La adición de polímeros naturales como el almidón al interior del polietileno (polímero sintético), en forma granular entre un 6 y el 30%, es otra aproximación en la fabricación de los empaques biodegradables. Las películas de almidón y polietileno de baja densidad (LDPE) contienen hasta un 30% de almidón, mostrándose como un material parcialmente biodegradable. Otra aplicación del almidón es la combinación en forma gelatinizada en proporciones entre el 30 y el 70% mezclado con polímeros sintéticos igualmente gelatinizados, como el caso de polivinilalcohol en proporciones variando entre 10% y 20% (Muratore *et al.*, 2005). Existen en el mercado diferentes productos hechos de polímeros sintéticos y almidón gelatinizado comercializados por Mater-Bi® (Hanna, 2004). Sin embargo, hoy ambos tipos de material no se pueden considerar como compuestos completamente biodegradables (Pedroso y Rosa, 2005). Los envases plásticos de almidón formados a partir de espumas por mezclas de almidón con ácido poliláctico son usados como material de relleno que amortigua y protege contra golpes y vibraciones durante el transporte (Peesan *et al.*, 2005; Xu *et al.*, 2005).

Los productos derivados del almidón tales como dextrinas o glucosa son extensamente usados como materias primas de medios fermentativos. La glucosa puede ser fermentada y convertida a ácido láctico, el cual puede ser polimerizado a un polímero de

alto peso molecular como es el ácido poliláctico (PLA) e igualmente copolimerizado. Su uso como plástico biodegradable es de considerable interés y demanda (Kulinski y Piorkowska, 2005). La conversión del ácido láctico a su dímero deshidratado (láctido), permite el proceso de polimerización siempre y cuando se utilice el adecuado catalizador. El láctido está seguido por el rompimiento de un anillo que se abre a la polimerización de varios polímeros de alto peso molecular a una posterior reacción de copolimerización con caprolactona dando como resultado una película que se usa para empaques de alimentos (Petnamsin *et al.*, 2000).

La pectina, es un complejo aniónico polisacárido compuesto de b-1,4-D- ácido galacturónico residual, ésta puede ser pectina de alto metoxilo (HMP) o pectina de bajo metoxilo (LMP); la HMP forma excelentes películas. La mezcla de plastificante de pectina cítrica y almidón de alta amilosa dan estabilidad y flexibilidad a la película, la cual es térmicamente estable sobre 180 °C. La pectina es también miscible en polivinilalcohol o en glicerina en todas las proporciones, puede usarse en la elaboración de películas por proceso de extrusión, compresión y/o otras operaciones térmicas (Marshall y Coffin, 1998); es soluble en agua e igualmente es usada en la fabricación de bolsas y en diversos sistemas médicos. Las películas que resultan de las mezclas de pectina y quitósan junto con cualquier plastificante y PLA, generan buenas propiedades mecánicas y de barrera según el porcentaje de los componentes y la relación con el material alimenticio en estudio (Fishman *et al.*, 2004).

Las películas también son preparadas desde el quitósan y sus derivados; las propiedades mecánicas, de barrera y su biodegradación son características estudiadas (Tangpasuthadol *et al.*, 2003;). Es antifúngico y antimicrobiano, las

películas a partir de quitósan prolongan la vida de los alimentos en las estanterías o en los anaqueles como en el caso del banano, el mango y la pera. Productos como Nutri-Suve[®], basados en derivados del quitósan son trabajados extensamente para alargar la vida en anaquel de frutas como la manzana, las peras, granadillas, etc. Se han realizado estudios en películas de quitósan-almidón y quitósan-PLA las cuales han mostrado una alta permeabilidad a gases y un aumento en las propiedades mecánicas (Peesan *et al.*, 2005; Xu *et al.*, 2005).

Hidrocoloides, lípidos/grasas

Dos tipos de biomoléculas son usados en la preparación de empaques biodegradables de película, los hidrocoloides y los lípidos. Individualmente, tienen una escasa integridad estructural y características funcionales; por ejemplo, los hidrocoloides no son una buena barrera contra la humedad, en cambio los lípidos, sí. Algunas formulaciones de las películas se han adaptado a necesidades específicas de comercialización; por ejemplo, las naranjas tienen una cáscara gruesa que está expuesta a condiciones anaeróbicas generando fácilmente el ciclo de senescencia y putrefacción, de tal manera que estas películas ricas en lípidos pueden retardar este efecto (Tharanathan, 2003).

El uso de cera para cubrir las frutas por inmersión es uno de los métodos más antiguos, practicado desde principios del siglo XII (Krochta *et al.*, 1994). Se practicó en China, con el propósito de retardar la transpiración en limones, naranjas y se sigue utilizando en pimentones, manzanas, peras, etc. (Hagenmaier, 2005). La preservación de frutas frescas y secas se realiza con estas ceras y se practica desde tiempos inmemorables. El cubrimiento con ceras naturales fundidas en la superficie de frutas y vegetales ayudan a prevenir la disminución de la humedad, específicamente durante los cambios de

estación. La cera, las ceras parafinadas, la cera de candelilla (un aceite exudado de la planta de candelilla, originaria de USA y México), son algunas de las ceras preparadas y usadas en tales aplicaciones; ellas también son usadas como agentes de microencapsulación, específicamente para sustancias con olores y sabores a condimento (Tharanathan, 2003).

Las lacas también son usadas en la preparación de algunos compuestos, pero se debe tener cuidado en su selección, dado que el tipo de ácido hidrácido de composición puede ser cadena corta o larga, lo cual puede incidir en la formulación y concentración de la mezcla usada en ciertas aplicaciones específicas. Las formulaciones preparadas por mezclas compuestas de hidrocoloides, emulsificantes y lípidos se muestran como promisorias para prolongar la vida del alimento durante el almacenamiento. Del insecto *Candida oleophila* se obtiene un ácido hidrocíclico que se utiliza solo o mezclado con soluciones salinas para el control de ácaros u otros microorganismos en hortalizas, frutas y verduras (Gamagae *et al.*, 2004).

El método de bañar las frutas, los vegetales y los productos cárnicos, es el más común y las diferentes formulaciones están directamente relacionadas con el tipo de alimento. Los baños atacan el crecimiento de microorganismos sobre la superficie, mientras que la tierra y los desperdicios son eliminados con el propósito de mejorar el cubrimiento, la apariencia y presentación del alimento (Pesis, 2005). El cubrimiento puede darse por la aplicación del método de la espuma, que es el más utilizado con las emulsiones por su distribución uniforme sobre la superficie del alimento. Igualmente, cubrir con spray ha sido un método aplicado en varios alimentos, dada su alta presión (60-80 psi) que genera menos pérdida de solución y mayor protección al penetrar los poros de la cáscara en los alimentos evitando la transpiración (Gulewicz *et al.*, 2004; Wittmaack *et al.*, 2005).

Hidrocoloides de origen animal y vegetal son usados en algunas formulaciones específicas en el cubrimiento de algunos alimentos. Estos proveen una buena barrera al O₂ y CO₂, pero no al agua; sin embargo, tales películas se convierten en suplementos nutricionales en el cubrimiento del alimento (Cho y Rhee, 2002; Kumar *et al.*, 2002; Tangpasuthadol *et al.*, 2003). La zeína es una fracción proteica del maíz, puede formar películas en soluciones acuosas-alcohólicas duras, vidriosas y con gran resistencia (Ryu *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2003), y con la adición de un polialcohol se mejora el esfuerzo de tensión. La proteína del suero de leche, cuando se procesa apropiadamente, produce una película flexible, pero frágil (Tharanathan, 2003). Las películas son comestibles y se pueden producir por el calentamiento de la proteína de girasol a 85 °C. La formación de la película con estas proteínas, se hace a través de enlaces moleculares disulfóxidos y anillos de hidrógeno.

Colágeno/gelatina

Las películas de colágeno también son usadas tradicionalmente en la preparación de envolturas comestibles (Tharanathan, 2003). El colágeno es el mayor constituyente de la piel, tendones y tejidos conectivos, y se encuentra extensamente distribuido en las proteínas fibrosas de los animales. La gelatina resulta de una hidrólisis parcial del colágeno, produce una película flexible y gruesa y las propiedades mecánicas mejoran cuando se utiliza cloruro de sodio (NaCl) en concentraciones bajas (Lee *et al.*, 2004). Actualmente, los embutidos como salchichón, se recubren con materiales derivados de la proteína (gelatina) o con materiales derivados de mezclas de quitósan y gelatina. Usualmente, películas de un grosor aproximado de 2.5 mm, se fabrican por varios métodos y estas estructuras membranosas delgadas son utilizadas para cubrir los alimentos o como medio de separación (Johnson *et al.*, 2001).

Origen bacterial

La fermentación bacterial de la glucosa y la alimentación con ácido acético durante el almacenamiento da un novedoso poliéster termoplástico llamado polihidroxibutirato (PHB), el cual, sólo o en combinación con plásticos sintéticos o con almidón, produce excelentes películas para empaques. El PHB es un biopolímero termoplástico que posibilita la acumulación de CO₂, de tal manera que permite el control de atmósferas y el crecimiento de bacterias. También se han incorporado comonómeros por injertación; por ejemplo, los copolímeros de PHV (3-hidroxivalerato) son producidos por el uso específico de aditivos en el crecimiento del medio, la desventaja del PHB es su alto costo de producción (Tharanathan, 2003). El PHA es otro biopolímero producido por una *Pseudomonas aeruginosa* que producen excelentes películas para empaques y permite controlar el CO₂ durante el almacenamiento de frutas y verduras (Fernández *et al.*, 2005). Un segundo producto es el polisacárido pululan que es secretado por el *Aureobasidium pullulans*, el cual es comercialmente usado como un hidrocoloide. Es un α-glucano que consiste en la repetición de maltotriosa residual al juntar los anillos por los enlaces 1-6. Es biodegradable, resistente a los aceites y grasas, tiene una excelente permeabilidad al oxígeno y no es tóxico (Lazaridou *et al.*, 2003).

ESTRATEGIAS FUTURAS

Los polímeros sintéticos están siendo gradualmente reemplazados por materiales biodegradables específicamente de fuentes

naturales en algunas aplicaciones a nivel agrícola e industrial. Más que el origen, la estructura química de los biopolímeros es la que determina la biodegradabilidad. El uso de tales biopolímeros abre un gran potencial económico y benéfico en el área de los empaques, dada la similitud de los materiales naturales con los sintéticos por sus excelentes propiedades mecánicas, de barrera y transmisión de luz. La innovación en técnicas de conservación e integridad estructural de los alimentos, así como la completa biodegradación debe ser adaptado a los constituyentes de los bio-empaques. El desarrollo de materiales biodegradables pertenece a nichos de mercado bien definidos, pero se pueden ampliar a otros en el futuro, en la medida en que la investigación entre en contacto con otras fuentes o interrogantes planteados para la obtención, elaboración y fabricación de materiales biopoliméricos para bioempaques (Hanna, 2004).

CONCLUSIÓN

Los empaques biodegradables se obtienen de recursos naturales renovables. Pueden ser mezclados con plastificantes para mejorar las propiedades mecánicas, de barrera y transmisión de luz. Además, son amigables al medio ambiente, ventaja comparativa con respecto a los polímeros sintéticos usados en el empaque de alimentos dada su biodegradabilidad. Por estas razones la producción, el beneficio, la transformación y mercadeo agroindustrial de los biopolímeros autónomos latinoamericanos pueden utilizarse en el desarrollo de bioempaques.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, H.; Villada, H. y Ramírez, J. 2006. Envejecimiento de almidones termoplásticos agrios de yuca y nativos de papa por Microscopía de Fuerza Atómica. *Información Tecnológica* 17(3):71-78
- Acosta, H.; Villada, H.; Torres, S y Ramírez, J. 2006. Morfología Superficial de Almidones Termoplásticos Agrio de Yuca y Nativo de Papa por Microscopía Óptica y Microscopía de Fuerza Atómica. *Información Tecnológica* 17(3):63-70
- Avérous, L. y Boquillon, N. 2004. Biocomposites based on plasticized starch: thermal and mechanical behaviours. *Carbohydrate Polymer* 56:111-112
- Bastioli, C. 2001. Global status of the production of biobased packaging materials. *Starch/Stärke*. 53:351-355
- Benavides, C. 2002. Quitina-Quitosana: Los polímeros del futuro. SENA-CDT - Regional Valle, Cali, p6-61
- Blacido, D.; Sobral, P. y F.C. 2005. Menegalli, Development and characterization of biofilms based on Amaranth flour (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Food Engineering* 67:215-223
- Cho, S. y Rhee, C. 2002. Sorption Characteristics of Soy Protein Films and their Relation to Mechanical Properties. *Food Science and Technology* 35:151-157
- Dole, P.; Joly, C.; Espuche, E.; Alric, I. y Gontard, N. 2004. Gas transport properties of starch based films. *Carbohydrate Polymer* 58:335-343
- Fernández, D.; Rodríguez, E.; Bassas, M.; Viñas, M.; Solanas, A; Llorens, J.; Marqués, A. y Manresa, A. 2005. Agro-industrial oily wastes as substrates for PHA production by the new strain (*Pseudomonas aeruginos*) NCIB 40045: Effect of culture conditions. *Biochemical Engineering* 26(2-3):159-167
- Finkenstadt, V y Willett, J. 2004. A direct-current resistance technique for determining moisture content in native starches and starch-based plasticized materials. *Carbohydrate Polymer* 55:149-154
- Fishman, M.; Coffin, D.; Onwulata, C. y Konstance, R. 2004. Extrusion of pectin and glycerol with various combinations of orange albedo and starch. *Carbohydrate Polymer* 57:401-413
- Forsell, P.; Lahtinen, R.; Laheline, M. y Myllärinen, P. 2002. Oxygen permeability of amylose and amylopectin film. *Carbohydrate Polymer* 47:125-129
- Gamagae, S.; Sivakumar, D. y Wijesundera, R. 2004. Evaluation of post-harvest application of sodium bicarbonate-incorporated wax formulation and *Candida oleophila* for the control of anthracnose of papaya. *Crop Protection* 23(7):575-579
- García, M.; Pinotti, A.; Martino, M. y Zaritzky, N. 2004. Characterization of composite hydrocolloid films. *Carbohydrate Polymer* 56:339-345
- Gulewicz, K.; Tykarska, T.; Wysocki, W.; Augustynowicz, J.; Urowska, K. y

- Kura, M. 2004. Developmental and ultrastructural effect of *Uncaria tomentosa* (Willd) DC extract on the paprika *Capsicum annuum* L. *Industrial Crops and Products* 19(1):59-67
- Hagenmaier, R. 2005. A comparison of ethane, ethylene and CO₂ peel permeance for fruit with different coatings. *Postharvest Biology and Technology* 37(1):56-64.
- Hanna, J. 2004. Functional properties of extruded foam composites of starch acetate and corn cob fiber. *Industrial Crops and Products* 19:255-269.
- Jansson, A. y Thuvander, F. 2004. Influence of thickness on the mechanical properties for starch films. *Carbohydrate Polymer* 56:499-503
- Johnson, N.; Normand, V.; Clark, A. y Amici, E. 2001. Interpenetrating network formation in agarose-sodium gellan gel composites. *Carbohydrate Polymer* 46:383-39
- Krochta, J.; Baldwin, E y Nisperos-Carriedo, M. 1994. Edible coatings and films to improve food quality. Technomic Publishing Company, New York, p1344
- Kulinski, Z. y Piorkowska, E. 2005. Crystallization, structure and properties of plasticized poly (L-lactide). *Polymer* 46(23):10290-10300
- Kumar, R.; Choudhary, V.; Mishra, S.; Varma, I. y Mattiason, B. 2002. Adhesives and plastics based on soy protein products. *Industrial Crops and Products* 16:155-172
- Lazaridou, C.; Biliaderis, G. y Kontogiorgos, V. 2003. Molecular weight effects on solution rheology of pullulan and mechanical properties of its films. *Carbohydrate Polymer* 52(2):151-166
- Lee, K.; Shim, J. y Lee, H. 2004. Mechanical properties of gellan and gelatin composite films. *Carbohydrate Polymer* 56:251-254
- Marshall L. y Coffin D. 1998. Mechanical, microstructural and solubility properties of pectin/poly (vinyl-alcohol) blends. *Carbohydrate Polymer* 35:195-203
- Matsui, K.; Larotonda, F.; Paes, S.; Luiz, D.; Pires, A. y Laurindo, J. 2004. Cassava bagasse-Kraft paper composites: analysis of influence of impregnation with starch acetate on tensile strength and water absorption properties. *Carbohydrate Polymer* 55: 237-243
- Muratore, G.; Del Nobile, M.; Buonocore, G; Lanza, C. y Asmundo, C. 2005. The influence of using biodegradable packaging films on the quality decay kinetic of plum tomato (*Pomodoro Datterino*). *Journal of Food Engineering* 67(4):393-399
- Parra, D.; Tadini, C.; Ponce, P. y Lugao, A. 2004. Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films. *Carbohydrate Polymer* 58:475-481
- Pedroso, A. y Rosa, D. 2005. Mechanical, thermal and morphological characterization of recycled LDPE/ corn starch blends. *Carbohydrate Polymer* 59:1-9

- Peesan, M.; Supaphol, P. y Rujiravanit, R. 2005. Preparation and characterization of hexanoyl chitosan/poly lactide blend films. *Carbohydrate Polymer* 63(1): 1-8
- Pesis, E. 2005. The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration: Review. *Postharvest Biogy and Technology* 37(1):1-19
- 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
- Ryu, S.; Rhim, J.; Roh, H. y Kim, S. 2002. Preparation and physical properties of zein-coated high-amylose corn starch film. *Food Science and Technology* 35:680-686
- Shamekin, S.; Myllärihen, P.; Poutanen, K. y Forssell, P. 2002. Film formation properties of potato starch hydrolysates. *Starch/Stärke* 54:20-24
- Smits, A.; Kruiskamp, P.; Van Soes, J. y Vliegthart, J. 2003. The influence of various small plasticisers and malto-oligosaccharides on the retrogradation of (partly) gelatinised starch. *Carbohydrate Polymer* 51:417-424
- Srinivasa, P.; Ramesh, M.; Kumar, K. y Tharanathan, R. 2004. Properties of chitosan films prepared under different drying conditions. *Journal of Food Engineering* 63:79-85
- Tangpasuthadol, V.; Pongchaisirikul, N. y Hoven, V. 2003. Surface modification of chitosan films. Effects of hydrophobicity on protein. *Carbohydrate Research* 338:937-942
- Tharanathan, R. 2002. Food derived carbohydrates-structural complexity and functional diversity. *Critical Review Biotechnology* 22:65-84
- Tharanathan, R. 2003. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Critical Review in Food Science and Technology* 14:71-78
- Villada, H. 2005. Influencia de mezclas de almidón agrio, perfil de temperatura y velocidad de tornillo de un extrusor sencillo en la producción de almidón termoplástico, su caracterización físico-química, mecánica, microestructural y comportamiento durante el almacenamiento. Tesis Ph. D., Universidad del Valle, Cali
- Wang, Y.; Rakotonirainy, M. y Papua, W. 2003. Thermal behavior of Zeína-base biodegradable films. *Starch/Stärke* 55:25-29
- Wittmaack, K.; Wehnes, H.; Heinzmann, U. y Agerer, R. 2005. An overview on bioaerosols by scanning electron microscopy. *Science of the Total Environment* 346:244-255
- Xu, Y.; Kim, K.; Hanna, M. y Nag, D. 2005. Chitosan-starch composite film: preparation and characterization. *Industrial Crops and Products* 21(2):185-192
- Yu, X. 2004. The plasticizers containing amide groups for thermoplastic starch. *Carbohydrate Polymer* 57:197-203