

Artículo original de investigación

Películas biodegradables a partir de residuos de cítricos: propuesta de empaques activos

Katiushka Arévalo Niño^{*}, María Elizabeth Alemán Huerta, Ma. Guadalupe Rojas Verde,
Lorenzo A. Morales Rodríguez.

Instituto de Biotecnología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León.
Av. Manuel L. Barragán y Av. Pedro de Alba s/n Cd. Universitaria, C.P. 66450
San Nicolás de los Garza, N.L. México.

^{*}Autor de correspondencia: katiushka.arevalonn@uanl.edu.mx

Resumen

Actualmente, los empaques representan una de las áreas de aplicación de los polímeros sintéticos, de mayor consumo. Como parte de las nuevas tecnologías en el desarrollo de procesos sustentables, debido a la acumulación de desechos sólidos han surgido los polímeros biodegradables, los cuales tienen propiedades funcionales comparables con los plásticos sintéticos. La adición de compuestos agroindustriales con alto contenido de lignina y celulosa, en una matriz polimérica, constituye una de las innovaciones en el área de polímeros; además, el aprovechamiento de este tipo de residuos representa una opción para su adecuado manejo. Las películas basadas en polisacáridos, proteínas y/o compuestos lipídicos, han sido consideradas para la protección de diversos productos alimenticios, a través del control de la transferencia de gases y en la mejora de revestimientos naturales aplicados en frutas y hortalizas. El incremento en la demanda de materiales de empaque biodegradables, incluye aquellos de tipo antimicrobianos, los cuales son definidos como aquellos empaques activos capaces de inhibir a microorganismos patógenos o causantes de deterioro que podrían contaminar a un alimento. Se elaboraron películas, mediante la técnica de casting o vaciado en placa, a base de residuos de la industria citrícola, pectina, alcohol polivinílico y benzoato de sodio para estudiar el efecto de éste, así como del grosor en las propiedades físico-mecánicas y de barrera de dichas películas. Los empaques presentaron valores de resistencia a la tensión que fluctuaron entre 5.81 y 11.29 MPa, afectándose significativamente con la adición del conservador, ya que dicha propiedad se incrementó con su concentración, en las películas elaboradas con cáscara de limón; el grosor presentó el mismo efecto que el conservador, es decir a mayor grosor, mayor resistencia a la tensión, para las películas elaboradas. La elongación fluctuó entre 3 y 5.9%, incrementándose los valores conforme el incremento del grosor. Los valores de permeabilidad al vapor de agua de las películas variaron de $1.61 \text{ E}^{-05} \text{ g/hmm}^2$ a $5.69 \text{ E}^{-05} \text{ g/hmm}^2$, encontrándose un efecto por el grosor. Fue posible la incorporación de residuos agroindustriales, como matriz polimérica, para la elaboración de empaques activos, los cuales mostraron propiedades físico mecánicas y de barrera, similares a las de otras películas biodegradables, lo que las hace potencialmente útiles para su aplicación en la industria del empaque de alimentos y particularmente como empaques activos.

Palabras clave: *Residuos sólidos, películas biodegradables, empaques activos, residuos agroindustriales, celulosa*

Abstract

The packing industry represents one of the most important areas of consumption and application of synthetic polymers, for the modern life. The biodegradable polymers have arisen as a part of the new clean technologies, to try of minimize the accumulation of solid wastes. The addition of agro-industrial byproducts with high content of lignin and cellulose, in a polymeric matrix, constitutes one of the innovations in the polymer development industry; in addition, the advantage of this type of agro-industrial byproducts represents an option for its suitable handling. The films based on polysaccharides, lipids and proteins have been used as food packaging, through control of the gas transfer and the improvement of natural coatings applied on fruits and vegetables. The increase in the demand of biodegradable materials for packing includes those of antimicrobial characteristics, which are defined as those active packings able to inhibit the pathogenic microorganisms or those provoking deterioration that could contaminate the food. Several cast films were prepared using pectin, lemon citrus peel and polyvinyl alcohol evaluating the thickness and texture in the mechanical and barrier properties. The effect of the addition of sodium benzoate was also evaluated. The packings exhibited a significantly increase of tensile strength values that ranged between 5.81 and 11.29 MPa due to the addition of the conservative and to the thickness of the films elaborated. The elongation and water vapor transmission rate were increased as the thickness of the films increased, ranged between 3 and 5.9%, and 1,61 E-05 g/hmm² to 6,13 E-05 g/hmm², respectively. The mechanical and barrier properties of films elaborated with agro-industry byproducts and sodium benzoate as antimicrobial agent were similar to others biopolymers films, this suggest the possible application into the food packing industry as active films.

Keywords: *Solid waste, biodegradable films, active packaging, agro-industrial byproducts, cellulose.*

1. Introducción

En México, en el año 2006, hubo una generación de 36,135 toneladas de residuos sólidos, de los cuales los plásticos representaron un 6% del total (INEGI, 2006).

Los plásticos son derivados del petróleo y dependen en su totalidad de este recurso fósil no renovable. Del total del petróleo extraído en el mundo, alrededor de un 5% se destina a la industria del plástico. Dicho mineral fósil experimenta en la actualidad un crecimiento continuo en su precio y las proyecciones afirman que se agotará en menos de 50 años si el ritmo de consumo sigue como el actual (Meneses y Corrales, 2007).

Los polímeros se han convertido en una parte integral de nuestras vidas y desempeñan un papel central en las principales economías del mundo moderno. Los polímeros sintéticos tales como: el polietileno, nylon y el poliuretano, tienen aplicaciones en transportes, edificios, equipos deportivos, médicos, así como en empaque en alimentos. Sin embargo, el uso extenso y globalizado está generando serios problemas de contaminación en los diferentes ecosistemas (González *et al.*, 2006).

Las funciones básicas de los empaques son protección, conservación, información y conveniencia. Un buen empaque no solamente debe preservar el alimento, sino la calidad del mismo (Han, 2005).

La innovación en los empaques alimenticios se ha ido incrementando conforme crece la demanda del consumidor por obtener mayor calidad y seguridad en los alimentos. Los avances tecnológicos en empaques activos se ha desarrollando exitosamente. Este nuevo concepto innovador consiste en conservar los alimentos, de tal forma que, el empaque, el producto, y el medio ambiente interactúan para mantener la calidad del producto así como para incrementar el tiempo de vida (Suppakul *et al.*, 2003).

Los materiales lignocelulósicos residuales representan una fuente importante de materiales poliméricos de interés industrial debido a su origen renovable y biodegradabilidad de sus derivados (Pacheco, 2002). La pectina, formada en su mayoría por varios residuos de ácido poligalacturónico interrumpido por enlaces cortos de ramnosa y altamente soluble en agua, se considera una importante materia prima, debido a que es un componente importante de las frutas y hortalizas y, por tanto, es abundante en los desechos agrícolas. La deformación amplia de la molécula y la presencia en la solución de agregación son propiedades similares a las que se encuentran en algunos polímeros sintéticos. Estas propiedades moleculares sugieren que películas elaboradas a base de pectina, tendrán buenas propiedades físicas y mecánicas (Coffin, *et al.*, 1993).

Estudios realizados en películas elaboradas a base de almidón, quitosan y residuos de la industria citrícola, han demostrado la alta capacidad de entrecruzamiento de la pectina con estos componentes y tienen propiedades de barrera favorables para conservación en alimentos (Arévalo, 1996; Alemán, 2006).

El objetivo del presente trabajo fue elaborar películas activas biodegradables a base de pectina, residuos cítricos (cáscara de limón) y alcohol polivinílico; así como evaluar el efecto de la concentración del conservador benzoato de sodio y el grosor en las propiedades físico mecánicas y de barrera de dichas películas.

2. Materiales y Métodos

2.1 Elaboración de las soluciones formadoras de películas

Se disolvieron en agua destilada a una temperatura de 23 °C y mediante agitación mecánica los polímeros, el conservador y el residuo agroindustrial (cáscara de limón), hasta obtener una solución homogénea. El residuo agroindustrial previamente fue molido en un molino de perlas de cerámica y tamizado en mallas 20, 30 y 120, de manera consecutiva. El benzoato de sodio utilizado fue de origen comercial, grado alimenticio así como la pectina. Se utilizó alcohol polivinílico (APV) marca Airvol 540 y glicerol marca Analítica, como plastificante (Tabla 1).

Tabla 1. Composición química de las películas elaboradas.

Composición química (%)

| Formulación | Tipo de película | Polímero aniónico | Componente agroindustrial | APV | Benzoato de sodio |
|-------------|------------------|-------------------|---------------------------|------|-------------------|
| 1 | Monocapa | 26.5 | 26.5 | 46.8 | 0 |
| 2 | Monocapa | 26.2 | 26.2 | 46.3 | 1.11 |
| 3 | Monocapa | 26 | 26 | 45.8 | 2.20 |
| 4 | Bicapa | 26.5 | 26.5 | 46.8 | 0 |
| 5 | Bicapa | 26.2 | 26.2 | 46.3 | 1.11 |
| 6 | Bicapa | 26 | 26 | 45.8 | 2.20 |

2.2 Elaboración de las películas

Se prepararon las películas mediante la técnica de vaciado (casting), para lo cual, una vez disueltos los componentes de las formulaciones, se vaciaron en placas de vidrio, previamente lavadas y desengrasadas y se dejaron a temperatura ambiente para su curado. Para la elaboración de las películas bicapa, se realizó el procedimiento antes descrito, añadiendo una segunda capa sobre la película monocapa después de su secado. Las películas fueron recuperadas manualmente y colocadas entre hojas de papel bond para su almacenamiento.

2.3 Acondicionamiento

Las películas fueron colocadas en una cabina de acrílico para su acondicionamiento, a una temperatura de 25 °C y una humedad relativa de 55 ±5%, hasta su posterior análisis.

2.4 Determinación de grosor

Para medir el grosor de las películas obtenidas se cortaron cuidadosamente, usando guantes de látex, círculos de 5cm de diámetro, para las pruebas de permeabilidad y tiras de 2 x 10 cm, para las pruebas físico mecánicas; se midió el espesor en 10 puntos diferentes con un micrómetro Mutitoyo Digital Modelo 293, para obtener el valor promedio del grosor.

2.5 Determinación de Rango de Transmisión al Vapor de Agua (RTVA)

La permeabilidad al vapor de agua se determinó utilizando un método estándar modificado del E 96-95 (ASTM 1995). Las muestras previamente cortadas en círculos, se colocaron en cápsulas de plástico conteniendo 2 g de cloruro de calcio. Se sellaron de manera hermética con las películas elaboradas y posteriormente pesadas (peso inicial); después fueron introducidas dentro de una cámara controlada con humedad interna del 100%. Transcurridas 7 horas, se sacaron las cápsulas de la cámara para su pesado (peso final). Se evaluaron ambos lados de las películas (liso y rugoso). El valor de la

permeabilidad al vapor de agua (RTVA) fue expresado en gramos de agua por unidad de tiempo por unidad de área [(g) / (h·mm²)], el cual se calculó según la ecuación: RTVA = (Peso final - Peso inicial) / (tiempo) (Área).

2.6 Evaluación de las Propiedades Físico Mecánicas.

La resistencia a la tensión y el porcentaje de elongación de las películas elaboradas fueron determinadas en un Tensómetro Electronic Tensile Tester® Mod. QC II-XS, con una mordaza de 20 mm de longitud, a una distancia entre las mordazas de 20 mm y una velocidad de 20 mm/min; en concordancia con la Norma ASTM D 882.

2.7 Análisis estadístico

Todas las pruebas se realizaron por triplicado y los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza ANOVA, mediante el uso del Programa estadístico SPSS v. 11.0.

3. Resultados

Se obtuvieron Películas Activas Biodegradables (PAB), de apariencia homogénea, ligeramente opacas, flexibles y con dos texturas diferentes en cada lado de ellas, lisa y rugosa.

3.1 Pruebas fisicomecánicas.

Las PAB, presentaron valores de Resistencia a la Tensión que fluctuaron entre 5.81 (±0.438) y 11.29 (±0.941) MPa, correspondiendo a las formulaciones 1 y 4, respectivamente. El análisis estadístico demostró 4 grupos de homogeneidad distintos, observando un incremento significativo por la concentración del benzoato de sodio en la película monocapa con mayor concentración. Las películas bicapa presentaron valores más altos de tensión, mostrando diferencia significativa, por disminución de este parámetro, entre el control sin benzoato y la película con la menor concentración, pero no con la de mayor concentración del antimicrobiano (Fig. 1)

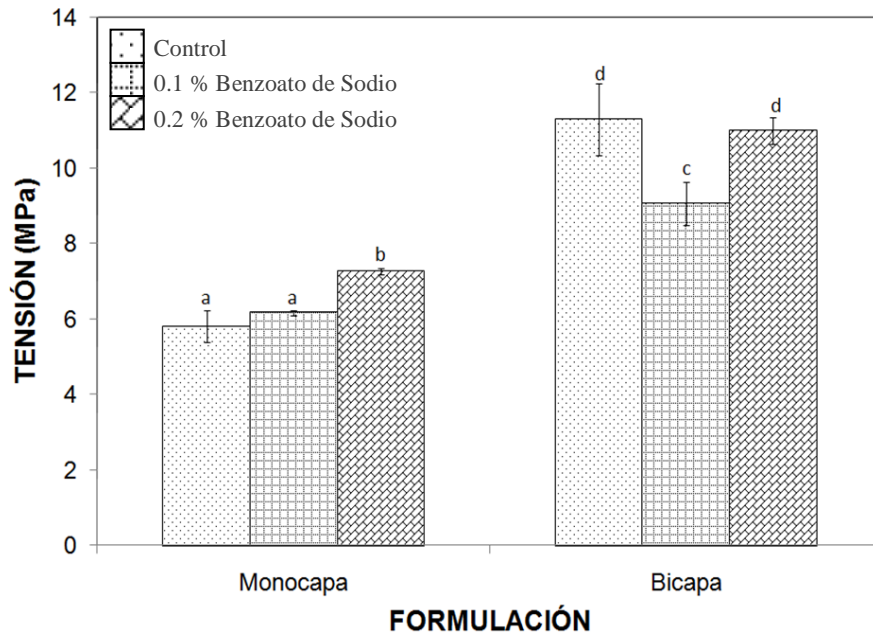


Figura 1. Resistencia a la Tensión de las Películas Activas Biodegradables (PAB), adicionadas de Benzoato de Sodio. Los puntos representan el promedio de tres determinaciones \pm la desviación estándar. Letras diferentes representan diferencias significativas.

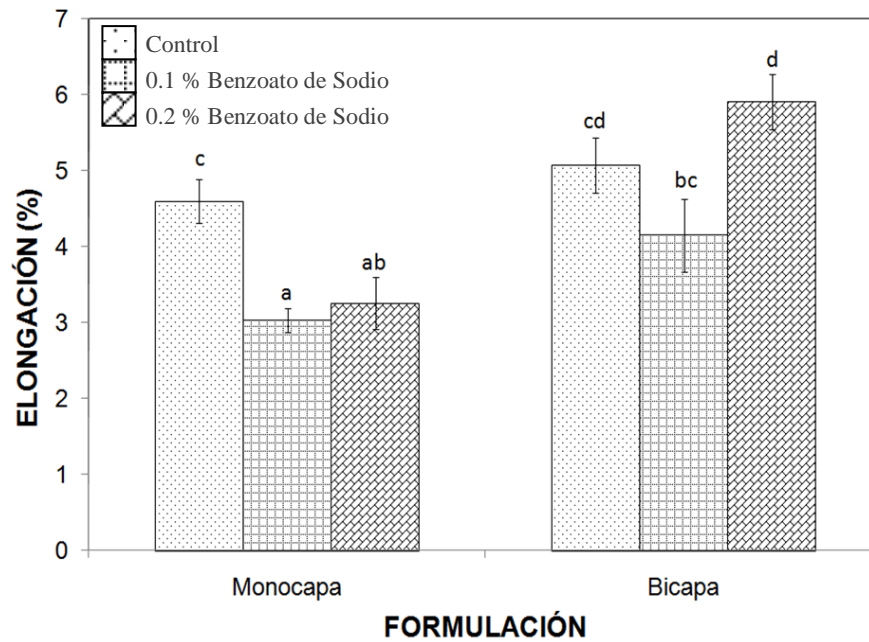


Figura 2. Elongación de las Películas Activas Biodegradables (PAB), adicionadas de benzoato de sodio. Los puntos representan el promedio de tres determinaciones \pm la desviación estándar. Letras diferentes representan diferencias significativas.

3.2 Elongación

La elongación, presentada por las PAB, fue del rango del 3.02 (± 0.16) y 5.9 (± 0.36) %, correspondiendo el valor menor a la formulación 2 y el valor mayor a la formulación 6. Se observó una alta diferencia significativa entre las películas monocapa y bicapa ($p \leq 0.01$), observándose

3.3 Espesor

El espesor de las películas utilizadas en pruebas fisicomecánicas fluctuó entre 0.09 y 0.16 mm, presentado por las formulaciones 2 y 6, respectivamente. La diferencia en este parámetro para las diferentes formulaciones fue altamente significativa ($p \leq 0.01$) siendo mayor en las películas tipo bicapa (Fig. 3).

3.4 Propiedades de Barrera (RTVA)

Los valores de permeabilidad al vapor de agua, correspondientes a 7 h de prueba, fluctuaron entre $1.61 \text{ E}10^{-5}$ ($\pm 9.75 \text{ E}^{-07}$) y $5.69 \text{ E}10^{-5}$ ($\pm 2.13 \text{ E}^{-6}$) ($\text{g}/(\text{h}\cdot\text{mm}^2)$), presentados por las formulaciones 1 (rugosa) y 4 (lisa), respectivamente. Nuevamente se observó en este parámetro que las películas bicapa presentaron valores más altos y sin diferencia significativa, que las monocapa. La presencia de benzoato de sodio tuvo un efecto evidente solamente en las películas monocapa tanto lisas como rugosas, con la concentración más baja (Fig. 4).

El espesor de las formulaciones utilizadas en la prueba de permeabilidad, fluctuó entre 0.044 (± 0.001) y 0.167 (± 0.003) mm, presentado por las PAB 1 (lisa) y 5 (lisa), respectivamente. Se observó una alta diferencia significativa ($p \leq 0.01$) entre las películas elaboradas monocapa y las bicapa; aunque en ambos tipos de formulaciones se observó diferencia con respecto al control correspondiente.

4. Discusión

Los parámetros que se encuentran principalmente involucrados en la eficiencia

mayor elongación en las bicapa. En general, las formulaciones con menor valor de elongación, correspondieron a aquellas a las que se les adicionó el conservador, excepto en la 6, es decir la presencia de benzoato de sodio tuvo un efecto positivo en la elongación sólo para la película bicapa con mayor contenido de este compuesto (Fig. 2). de las PAB, son principalmente las propiedades fisicomecánicas, de barrera a los gases y al vapor de agua, los fenómenos de migración de humedad, oxígeno, grasas y aceite, así como el transporte de solutos. Por otro lado, los principales factores que influyen en las propiedades de barrera de los envases para alimentos, son la naturaleza del polímero y del gas, la temperatura, así como el espesor (Riedel, 1999; Famá et al., 2003; Sanjurjo, et al., 2005; Pinotii, et al., 2005; Velázquez et al., 2005). El esfuerzo a la elongación y la tensión a la fractura de las películas, son pruebas físicas que dependen de varios factores como el peso molecular de los componentes de la película, la estructura molecular, la temperatura, el tipo de solventes, el espesor y la formulación o componentes de la película (Rhaman, 1999; Arias et al., 2007; Alyanak, 2004).

Los valores de resistencia a la tensión, presentados por los empaques en estudio, son similares a los reportados por diversos autores, quienes elaboraron películas biodegradables con materiales de similar naturaleza (Romero et al., 2004; Fishman et al., 2006; Meneses et al., 2007); así mismo los valores obtenidos fueron superiores a los reportados para algunas formulaciones de lignina-almidón por Cherian y Srikumar (2005), y de gluten de trigo-glicerol por Tanada y Grosso (2003); sin embargo, fueron inferiores a los reportados por Sirikhajornnam y Danwanichakul (2006), para películas de almidón de maíz-almidón de tapioca.

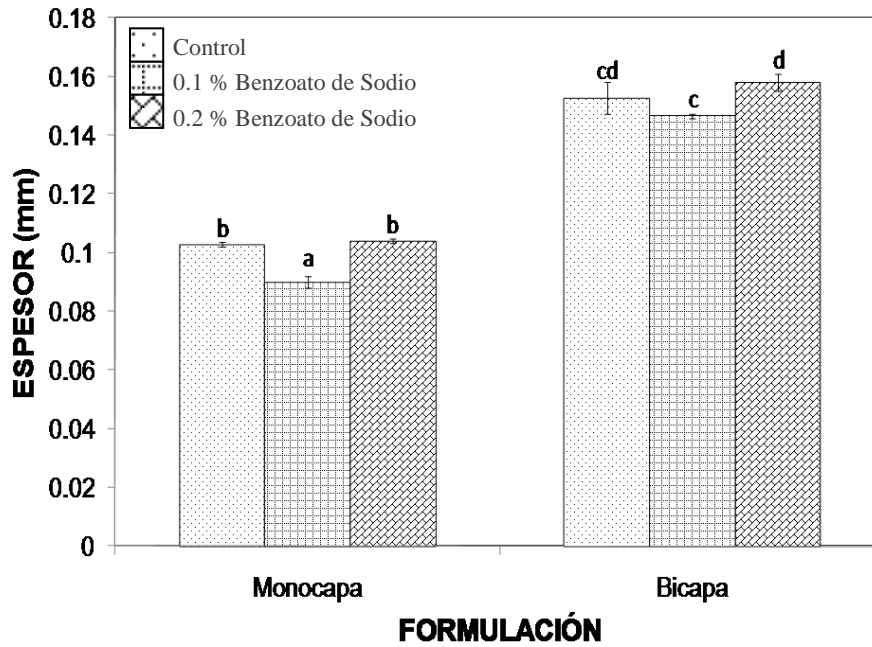


Figura 3. Espesor de las Películas Activas Biodegradables (PAB), en pruebas físico-mecánicas. Los puntos representan el promedio de tres determinaciones \pm la desviación estándar. Letras diferentes representan diferencias significativas.

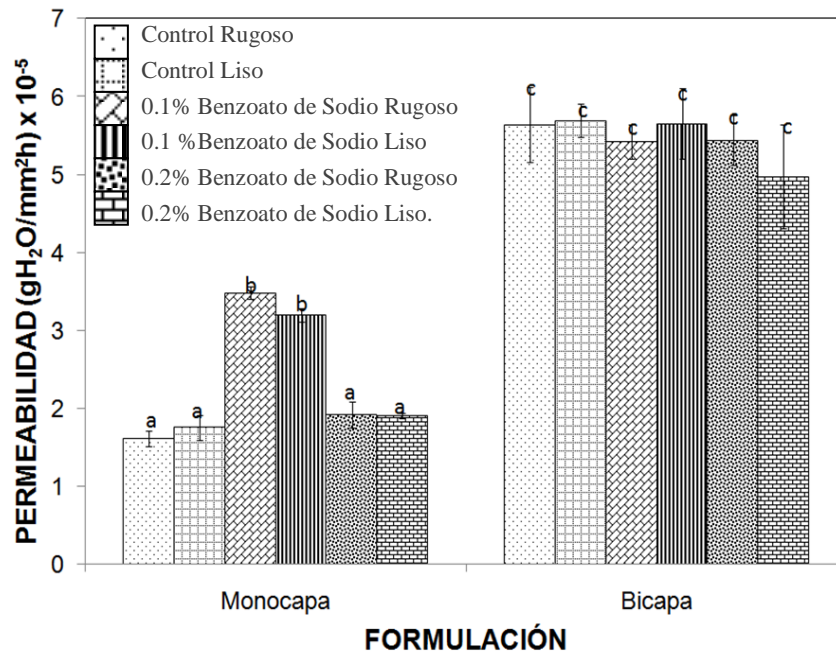


Figura 4. Permeabilidad al vapor de agua de las Películas Activas Biodegradables (PAB) adicionadas de benzoato de sodio. Los puntos representan el promedio de tres determinaciones \pm la desviación estándar. Letras diferentes representan diferencias significativas.

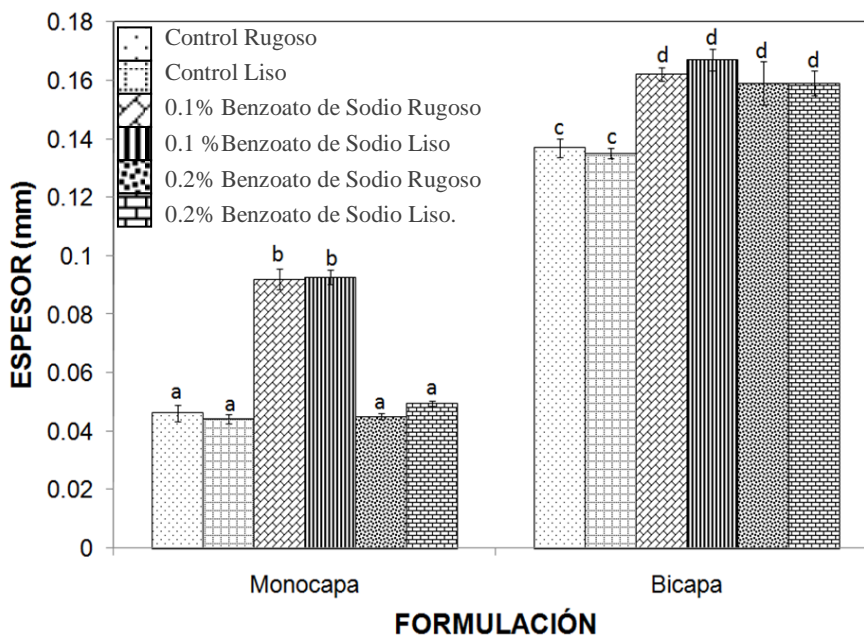


Figura 5. Espesor de las Películas Activas Biodegradables (PAB) adicionadas de benzoato de sodio. Los puntos representan el promedio de tres determinaciones \pm la desviación estándar. Letras diferentes representan diferencias significativas.

Las películas tipo monocapa elaboradas con residuos agroindustriales presentaron un incremento en los valores de resistencia a la tensión, conforme la adición de benzoato, dicho efecto coincide con el observado en películas a base de alginatos, con la adición de aceite de orégano, reportado por Arias y colaboradores (2005).

Diversos factores están involucrados en el incremento o decremento de la tensión, entre ellos está lo reportado por Fishman (1998), donde hace referencia a la influencia de la adición de alcohol polivinílico (APV).

El incremento en los niveles de tensión, se debe a la interacción química entre los componentes del residuo agroindustrial, la celulosa principalmente, al igual que la hemicelulosa y lignina, con el benzoato de sodio, provocándose una mayor fuerza de unión entre éstos, con uniones hidrofílicas, lo cual repercute directamente en la propiedad de resistencia a la tensión

(Ververis *et al.*, 2006). De igual manera la geometría, la distribución en los grupos laterales en los polímeros y el peso molecular, son factores, que también son importantes para la estructura y la capacidad de unión entre los polímeros que componen una película (Alyanak, 2004; Cisint *et al.*, 2007; Rincon *et al.*, 2005).

Los valores de elongación presentados por las películas en estudio, son similares a los reportados para películas elaboradas a base de almidón (Napierala y Stangierski, 2007), celulosa (Gemili, 2007) y glucomanano (Mikkonen *et al.*, 2008).

En las películas en estudio, se pudo apreciar un efecto significativo del benzoato de sodio en la elongación, específicamente en la película bicapa con mayor concentración del antimicrobiano, lo cual coincide con lo reportado por Famá y colaboradores (2003), donde al conservador sorbato de potasio, se le atribuye un efecto plastificante, al

incrementar los valores de elongación en películas elaboradas con almidón de mandioca-glicerol.

En relación al grosor presentado por las películas, este siempre fue mayor en las bicapa que en las monocapa, lo cual coincide con lo esperado, pero no como un efecto directo por la adición del conservador, esto al compararse con los controles. Dicho parámetro, como lo reporta Miranda y colaboradores. (2003), depende directamente de la composición química y concentración de los materiales; atribuyéndole la disminución del espesor al tipo y cantidad de aditivos, así como a la interacción de grupos orgánicos activos capaces de generar interacciones atómicas en la macromolécula cuando los componentes son mezclados en solución y de esto depende su comportamiento estructural superficial.

Los valores de permeabilidad obtenidos, fueron similares a los reportados por Miranda y colaboradores (2001), en películas elaboradas a base de quitosano; y menores a los valores reportados para algunas formulaciones basadas en quitosano y ácido cítrico (Nadarajah, 2005). No se encontró un efecto significativo en este parámetro por la presencia del benzoato de sodio, excepto por una de las formulaciones monocapa. Sin embargo, el grosor sí afectó significativamente esta propiedad, observándose valores menores de permeabilidad al vapor de agua en las películas monocapa comparado con las bicapa. Lo anterior coincide con lo reportado por Alyanak y colaboradores. (2004), quienes reportan que los valores de permeabilidad aumentan conforme aumenta el grosor, debido a la hidofilicidad de las películas comestibles, basadas en polisacáridos.

Las propiedades de permeabilidad varían en películas biodegradables, dependiendo del carácter hidrofílico e hidrofóbico de los componentes que la integran, así como de

otros parámetros tales como la temperatura y humedad relativa del medio ambiente (Rhaman 1999; Napierala y Nowatorska, 2007). Finalmente, se observó que la textura no mostró un efecto significativo en la permeabilidad de las películas.

5. Conclusiones

Fue posible la obtención de películas activas biodegradables en formulaciones monocapa y bicapa, elaboradas a base cáscara de limón como un residuo agroindustrial no reportado en la elaboración de este tipo de películas, a el cual no se le realizó ningún tratamiento excepto la molienda y el tamizado, así como la adición del benzoato de sodio como agente antimicrobiano. Las películas presentaron características físico-mecánicas y de barrera aceptables para ser consideradas como potencialmente útiles en la fabricación de empaques activos, además de mostrar estabilidad en la propiedad de permeabilidad con la adición del conservador, así como al evaluar la textura.

6. Reconocimientos

Agradecimiento a la empresa PLEMSA, S.A. de C.V., por su apoyo en la realización de las pruebas mecánicas.

7. Bibliografía

- Alemán, H.M.E. 2006. Estudio de las propiedades y biodegradabilidad de plásticos (cast-films) elaborados a partir de cáscara de naranja, pectina y PVOH. Tesis de Doctorado (Biotecnología). Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. N.L. 120 p.
- Alyanak D., 2004. Water vapor permeable edible membranes. Thesis submitted to the Graduate School of Engineering and Sciences of Izmir Institute of Technology.

- Master of Science in Biotechnology and Bioengineering Program. Turkey.
- Arevalo, N.K. 1996. Elaboración de plásticos biodegradables a partir de polisacáridos y su estudio de biodegradabilidad a nivel laboratorio y campo. Tesis de Doctorado (Biotecnología). Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Arias, C.E.Y., Torres B.A.E. y Pérez P.C. 2007. Caracterización de las propiedades mecánicas y de barrera al vapor de agua en empaques comestibles a base de alginato de sodio y aceite esencial de orégano. IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Celaya, Guanajuato, Mex.
- Cherian, V.J. and Srikumar M., 2005. Processing and Study of Novel Ligning-Starch and Ligning-Gelatin Biodegradable Polymeric Films. *Trends Biomater Artif Organs* 18(2):237-241.
- Cisint, J.C., Martin, G.O. y Toll, V.J.R. 2007. Valor nutricional de subproductos de la industria citrícola de Tucumán y su posible utilización en alimentación animal. *Rev Arg Prod Animal* 27 (1): 105-106.
- Coffin, R.D. and Fishamn, M.L., 1993. Viscoelastic properties of pectin-starch blends. *J Agr Food Chem* 41:1192-1197.
- Famá, L., Rojas, A.M., Goyanes, S. y Gershenson, L. 2003. Películas comestibles de aplicaciones industriales. Jornadas SAM-CONAMET-Simposio-Materia. Argentina. 84pp.
- Fishman, M.L. and Coffin, D.R. 1998. Mechanical, microestructural and solubility properties of pectin-poly(vinyl alcohol) blends. *J Carbohydr Polym* 35:195-203.
- Fishman, M.L., Coffin, D.R., Onwulata, C.I. and Willet J.L. 2006. Two stages extrusion of plasticized pectin-poly(vinyl alcohol) blends. *Carbohydr Polym* 65:421-429.
- Gemili, S. 2007. Preparation and characterization of antimicrobial polymeric films for food packaging applications. Thesis submitted to the graduated School of Engineering and Science of Izmir Institute of Technology. Master of Science in Chemical Engineering, Turkey.
- González, C.J.U., Cruz, L.M. Concepción, Paz, L.N.D. 2006. Utilización de almidón de frijol pelón (*Vigna unguiculata*) y fibra de caña de azúcar (*Saccharum L. officinarum*) para la elaboración de materiales biodegradables. Universidad Autónoma de Tabasco. Memorias de la Semana de Divulgación y Video Científico. Tabasco, México. 308-312.
- Han, H. 2005. Innovations in food packaging. Ed. Elsevier Academic Press. Holland. Pp 3-10.
- INEGI., Generación de residuos sólidos urbanos por tipo de basura. 1996-2000.
- Meneses, J., Corrales, M.C. y Valencia M. 2007. Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca. Revista EIA.8. Escuela de Ingeniería de Antioquía. Medellín, Colombia. 57-67.
- Miranda, S.P., Cárdenas, G., López, D. y Lara, S.A.V. 2003. Comportamiento de películas de quitosano compuesto en un modelo de almacenamiento de aguacate. *Rev Soc Quím Méx* 47(4):331-336.
- Miranda, S.P., Garnica, O., Lara S.A.V. and Cardenas G. Water vapor permeability and mecánica properties of chitosan composite films. *J Chilean Chem Soc* 49(2):173-178.
- Mikkonen, K.S., Yadav, M.P., Cooke, P., Willfor, S., Hicks, B.K. and Tenkanen M. 2008. Films from spruce galactoglucomannan blended with poly(vinyl alcohol), corn arabinoxylan and konjac glucomannan. *BioResources* 3(1): 178-190.
- Nadarajah, K. 2005. Development and characterization of antimicrobial edible films from crawfish chitosan. Thesis

Doctor of Philosophy in the Department of Food Science. 49-105.

- Napierala, D.M. and Stangierski. 2007. Tensile properties of wheat-starch-sorbitol film. *Acta Agrophysica*. 9 (1):123-133.
- Pacheco, B.C. 2002. Síntesis de carboximetil celulosa (CMC) a partir de pastas de plantas anuales. Tesis de Doctor en Ingeniería Química. Terragona, Esp. 1-18.
- Pinotti, A.N., García, M.A. y Zaritzky, N.E. 2005. Caracterización de películas biodegradables compuestas de hidrocoloides. V Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. Libro de Artículos Extenso. Tomo II. Tecnologías Convencionales y Emergentes Aplicadas a la Ingeniería de Alimentos. Guadalajara, México.
- Rhaman, M.S. 1999. Handbook of Food Preservation. 2nd ed.478-497.
- Riedel, U. 1999. Natural fibre reinforced biopolymers as construction materials-new discoveries. 2nd International Wood and Natural fiber composites Symposium, Kassel, Germany. Pp (13):1-9.
- Rincón, A.M., Vásquez, A.M. y Padilla, F.C. 2005. Composición bioquímica y compuestos bioactivos de las harinas de cáscara de naranja, mandarina y toronja cultivadas en Venezuela. *Publicación Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición*. 55(3): 1-11.
- Romero, B.C.A., Martín, P.M.O., Velázquez, G. y Torres, J.A. 2004. Efecto de plastificante, pH e hidratación sobre las propiedades mecánicas y de barrera de películas de zeína y etilcelulosa. *Revista de la Asociación de Licenciados en Ciencia y Tecnología de Alimentos de Galicia* 4(4):251-256.
- Sanjurjo, K., Flores, S.K., Jagus, R. y Gershenson, L.N. 2005. Propiedades fisicomecánicas de películas comestibles conteniendo nisina. V Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. Libro de Artículos en Extenso. Tomo II. Tecnologías Convencionales y Emergentes Aplicadas a Ingeniería de Alimentos. Guadalajara, Mex.
- Sirikhajornam, P. and Danwanichakul, P. 2006. A preliminary study of preparing biodegradable film from starch. Proceedings in the 32nd Congress on Science and Technology of Thailand Bangkok, Thailand.
- Suppakul, P., Miltz, J., Sonneveld, K. and Bigger, S.W. 2003. Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications. *Concise Reviews and Hypotheses in Food Science*. 68(2):408-418.
- Tanada, P.P.S. and Grosó, C.R.F. 2003. Development and characterization of edible films based on gluten from semi-hard and soft brazilian wheat flours (development of films based on gluten from wheat flours). *Cien Tecnol Aliment* 23(2):264-269.
- Velázquez, H.Y., Sosa, M.M.E. y Argáiz, J.A. 2005. Aplicación de películas de quitosano durante el almacenamiento de tartaleta de manzana precocida refrigerada. V Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. Libro de Artículos en Extenso. Tomo II. Tecnologías Convencionales y Emergentes Aplicadas a la Ingeniería de Alimentos. Guadalajara, México.
- Ververis, C., Georghiou, K., Danielidis, D. Hatzinikolaou, D.G., Santas, P., Santas, R. and Corleti V. 2006. Cellulose, hemicellulose, lignin and ash content of some organic materials and their suitability for use as paper pulp supplements. *Bioresource Technol* 98(2):296-301.