



ANTIMICROBIANOS EN PELÍCULAS DE ALMIDÓN OXIDADO DE PLÁTANO: EFECTO SOBRE LA ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA, MICROESTRUCTURA, PROPIEDADES MECÁNICAS Y DE BARRERA

ANTIMICROBIALS IN OXIDIZED BANANA STARCH FILMS: EFFECT ON ANTIBACTERIAL ACTIVITY, MICROSTRUCTURE, MECHANICAL AND BARRIER PROPERTIES

C.A. Romero-Bastida^{1*}, P.B. Zamudio-Flores² y L.A. Bello-Pérez¹

¹Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del IPN, Km 8.5 carr. Yautepec-Jojutla, colonia San Isidro, apartado postal 24 C.P. 62731, Yautepec, Morelos, México.

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Cuauhtémoc, Fisiología y Tecnología de alimentos de la Zona Templada. Avenida Río Conchos s/n, Parque Industrial, Apartado postal 781, C.P. 31570, Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

Recibido 2 de Junio 2011; Aceptado 26 de Septiembre 2011

Resumen

Se evaluó la actividad antimicrobiana de las películas con dos cepas de bacterias (*Listeria innocua* y *Staphylococcus aureus*). Se determinaron también la solubilidad y las propiedades mecánicas y de barrera al vapor de agua para observar la funcionalidad de la película. El aceite esencial de canela presentó una mayor actividad antimicrobiana en comparación con el sorbato de potasio en las dos cepas estudiadas. La incorporación del aceite de canela disminuyó la permeabilidad al vapor de agua de 18.34×10^{-10} a $5.07 \times 10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ no modificó el porcentaje de elongación. Por otro lado, el sorbato de potasio aumentó la solubilidad (de 35.2 % a 68.8 %) y la permeabilidad al vapor de agua (de 18.34×10^{-10} a $22.52 \times 10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$). El almidón oxidado de plátano con aceite esencial de canela puede ser una alternativa para elaborar películas con potencial como material de empaque.

Palabras clave: almidón de plátano, películas biodegradables, propiedades mecánicas, permeabilidad al vapor de agua, antimicrobianos.

Abstract

Antimicrobial activity of films was evaluated with two bacterial strains (*Listeria innocua* and *Staphylococcus aureus*). Solubility, mechanical and water vapor barrier properties were also determinate to observe film functionality. Cinnamon essential oil had higher antimicrobial activity compared with potassium sorbate in the two studied strains. Incorporation of cinnamon essential oil decrease water vapor permeability from 18.34×10^{-10} to $5.07 \times 10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ but percentage of elongation was not modified. On the other hand, potassium sorbate increase solubility (from 35.2% to 68.8%) and water vapor permeability (from 18.34×10^{-10} to $22.52 \times 10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$). Oxidized banana starch with cinnamon essential oil could be an alternative to elaborate films with potential as packaging material.

Keywords: banana starch, biodegradable films, mechanical properties, water vapor permeability, antimicrobials.

*Autora para la correspondencia. E-mail: cbastida@ipn.mx
Tel. +52 735 3942020, Fax: +52 735 3941896

1 Introducción

Debido a problemas ecológicos generados por el uso y la disposición final de los materiales de empaque comunes que proceden del petróleo, actualmente se investiga en la elaboración de películas a partir de polisacáridos o proteínas las cuales presentan propiedades mecánicas y de barrera a los gases adecuados, pero muestran bajas propiedades de barrera al vapor de agua. En contraste, las películas elaboradas a partir de lípidos tienen una baja permeabilidad a la humedad, pero sus propiedades mecánicas son limitadas. Si estos ingredientes son combinados, pueden interactuar física o químicamente para producir películas ó cubiertas compuestas con mejores propiedades (Diab y col., 2001).

Algunos investigadores han evaluado diferentes condiciones para modificar el almidón (Sánchez-Rivera, 2008; Guerra-Della Valle, 2008; Rivas-González y col., 2009) y utilizarlo como una excelente materia prima para la elaboración de materiales de empaque biodegradables, debido a que es una fuente botánica renovable, económica y altamente disponible (Lourdin y col., 1995). La funcionalidad del almidón se debe en gran parte a sus dos componentes de alto peso molecular: la amilosa y la amilopectina (French, 1984). La amilosa es la responsable de la capacidad de formación de películas. El contenido de amilosa en el almidón de plátano es de 35 % (Bello-Pérez y col., 1999) y ha sido utilizado para elaborar películas con el almidón nativo de plátano (Romero-Bastida y col., 2005) y oxidado (Zamudio-Flores y col., 2007).

Romero-Bastida y col. (2005) obtuvieron películas con almidón de plátano, mango y okenia y caracterizaron sus propiedades mecánicas, fisicoquímicas y micro estructurales. En este estudio se observó que el almidón de plátano presentó mayor contenido de amilosa y en consecuencia, las películas con este tipo de almidón mostraron la mayor tensión a la fractura.

Zamudio-Flores y col. (2007) reportaron que la modificación química del almidón de plátano con hipoclorito de sodio aumentó las propiedades mecánicas de las películas. Sin embargo, al ser incluido un sustituyente hidrofílico, la permeabilidad al vapor de agua se incrementó aunque esta característica se controló por la adición de aceite de girasol. Este tipo de almidón se describió como adecuado para elaborar películas con matrices homogéneas, con estructuras estables a condiciones ambientales (25 °C, 57 % HR), las cuales pueden ser prometedoras en la conservación postcosecha de frutas

y vegetales.

Lo anterior se debe a que estos alimentos siguen respirando aún después de cosechados, por lo que es necesario que tengan un intercambio gaseoso entre el producto y el empaque. Los plásticos convencionales tienen una permeabilidad al vapor de agua y a los gases muy baja, por lo que no permiten respirar al fruto o vegetal, y pueden causar que éstos se descompongan. En cambio, la transferencia al vapor de agua y gases en el empaque biodegradable es mayor, lo cual permite al fruto respirar de forma tal que se disminuye su velocidad de respiración para que se prolongue su vida de anaquel y en consecuencia se mantenga la calidad.

Las propiedades funcionales, sensoriales y mecánicas de una película comestible también pueden modificarse por la adición de varias sustancias en pequeñas cantidades, a los cuales se les denomina aditivos (plastificantes, antimicrobianos, colorantes). Los plastificantes (glicerol, sorbitol, propilenglicol) disminuyen las atracciones intermoleculares entre las cadenas poliméricas adyacentes aumentando la flexibilidad de la película (Donhowe y Fennema, 1993). La incorporación de estos aditivos también modifica las propiedades de barrera de estas películas (García y col., 2000). La adición de una sustancia hidrofóbica (aceites, ceras) como aditivo, ayuda a aumentar la resistencia al vapor de agua de las películas.

Los antimicrobianos como el ácido sórbico y su sal de potasio (sorbato) han sido considerados como aditivos GRAS (“generally recognized as safe”, generalmente reconocido como seguro) y son activos contra levaduras, hongos y bacterias. La adición de sorbato a películas comestibles ha sido propuesta como una manera de minimizar la contaminación microbiana de la superficie de los alimentos (Cagri y col., 2001). La interacción entre el almidón y los antimicrobianos depende del tipo de almidón así como la concentración y características físicas del conservador (Mansur y Guth, 1968). Flores y col. (2006a) evaluaron la actividad del sorbato de potasio en películas de almidón de tapioca con diferentes métodos de elaboración determinando la efectividad contra *Z. bailli*.

Desde 1990 se ha experimentado con aceites esenciales como agentes antimicrobianos en los alimentos (Burt, 2004; Raybaudi-Massilia y col., 2006). Sin embargo, son escasas las investigaciones sobre el uso de estas sustancias como agentes antimicrobianos activos en los materiales de empaque y sus efectos en las propiedades de la película como son las propiedades mecánicas y de barrera. Es

importante tener una buena incorporación para que la sustancia se disperse de manera homogénea en toda la superficie de la película (Zivanovic y col., 2005; Rojas-Graü y col., 2006; López y col., 2007). Diversos estudios han determinado que los aceites procedentes de clavo, canela, mostaza, orégano, romero y tomillo son los que poseen actividad antimicrobiana más acentuada (Deans, 1987). Los aceites esenciales contienen un alto porcentaje de compuestos fenólicos como el carvacol (componente mayoritario del orégano), el timol (procedente del tomillo), o el eugenol (componente mayoritario del clavo).

El aceite esencial de canela contiene una alta concentración de trans-cinamaldehído, que es el componente en mayor proporción. También presenta linalool, eugenol y otros compuestos fenólicos (Shan y col., 2007). Otros estudios han identificado al trans-cinamaldehído como el mayor componente antibacterial del aceite esencial de canela (Ouattara y col., 1997; Shan y col., 2007). El cinamaldehído actúa inhibiendo la producción de enzimas intracelulares, tales como amilasas y proteasas, lo que provoca el deterioro de la pared y un alto grado de lisis celular (Huerta, 2007).

Burt (2004) ha encontrado que las condiciones físicas que mejoran la acción de los aceites esenciales son el pH, temperatura y niveles de oxígeno bajos. Por lo anterior, el utilizar este tipo de materiales de empaque para conservar frutos, puede ser viable ya que éstas tienen pH ácidos y se almacenan en lugares refrigerados. Los materiales de empaque con antimicrobianos atraen la atención de la industria de los alimentos y la del empaque, debido en parte al aumento en la demanda del consumidor por productos libres de conservadores en frutas, vegetales y otros alimentos.

El objetivo de este estudio fue elaborar películas de almidón de plátano oxidado adicionadas con aceite esencial de canela o sorbato de potasio y evaluar su actividad antibacteriana y funcional.

2 Materiales y métodos

2.1 Materia prima

El almidón de plátano se aisló a partir de plátanos machos (*Musa paradisiaca* L) en estado fisiológico inmaduro, los cuales se adquirieron en el mercado local de Cuautla, Morelos, México. El glicerol y el sorbato de potasio (J. T. Baker, Estado de México)

utilizados, fueron grado analítico. El aceite esencial de canela fue grado alimenticio, suministrado por Aceites Esenciales, S.A. de C.V. Distrito Federal, México.

2.2 Aislamiento del almidón

El almidón se aisló utilizando la metodología propuesta por Flores-Gorosquera y col. (2004). Para garantizar la calidad del almidón obtenido se determinó la cantidad de almidón total en cada lote.

2.3 Preparación del almidón modificado

La modificación química del almidón se llevó a cabo con hipoclorito de sodio a una concentración de 1% p/p según lo reportado por Zamudio-Flores y col., (2006).

2.4 Elaboración de las películas

Las películas se elaboraron mezclando una concentración de almidón de plátano oxidado de 4 % p/p en base seca y glicerol de 2 % p/p, siguiendo la metodología propuesta por Zamudio-Flores y col. (2007). Para algunas películas se adicionó una concentración variable de antimicrobiano a evaluar: para el sorbato de potasio se utilizó 0.4 % y 0.6 % p/v y para el aceite esencial de canela 1 % y 1.5 % p/v, estas concentraciones se emplearon después de realizar estudios preliminares. Cuando se empleó este último, se utilizó un emulsificante (Tween 20) para mejorar la compatibilidad con el almidón. La solución formadora de película se agitó a 2000 rpm por 1 min y luego se vació en placas de poliestireno (20 × 20 cm), para posteriormente secarse en una estufa a 65 °C. Las películas obtenidas al menos en triplicado se almacenaron a 57 % HR y 25 °C hasta su posterior evaluación.

2.5 Evaluación de las propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de las películas se evaluaron usando un analizador de textura TA.TX2i (Stable Micro Systems, Co., Surrey, Inglaterra) de acuerdo con la norma D882-97 (ASTM, 1996). Cinco tiras de muestra (10 cm x 1 cm) de cada formulación se cortaron y se colocaron en las pinzas del texturómetro. La fuerza máxima a la tensión (MPa) y la deformación (%) se registraron durante la extensión a una velocidad de 50 mm min⁻¹ y una distancia inicial entre las pinzas

de 8 cm. Se determinaron las variables de tensión a la fractura y porcentaje de elongación.

2.6 Permeabilidad al vapor de agua

Se utilizó el método E96-80 (ASTM, 1996) con algunas modificaciones. Cada muestra de película se colocó en una celda de prueba con un área circular abierta de 0.00264 m² la cual contenía cloruro de calcio anhidro (≈ 0 % HR). Estas celdas se colocaron en desecadores con una solución saturada de cloruro de sodio (75 % HR) y una temperatura de 25 °C. El transporte al vapor de agua se determinó por una ganancia en el peso de la celda de permeación. Después de alcanzar el estado estacionario, se pesaron las muestras cada hora por 8 h. El cambio de peso en las celdas se registró hasta 0.0001 g y se graficó en función del tiempo. Se calculó la pendiente de cada línea por regresión lineal ($R^2 = 0.99$), el coeficiente de transmisión de vapor de agua (CTVA) se calculó de la pendiente (g s^{-1}) dividido por el área de la celda (m²). Se midió el espesor y con esta determinación se calculó la permeabilidad (PVA) ($\text{g m}^{-1} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$). Las muestras se analizaron al menos por triplicado.

2.7 Solubilidad en agua

Se cortaron piezas (2 x 3 cm) de cada película y se almacenaron en un desecador (≈ 0 % HR) por 7 d. Las muestras se pesaron hasta 0.0001 g y se colocaron en vasos de precipitado con 80 mL de agua desionizada. Las muestras se mantuvieron en agitación constante por 1 h a temperatura ambiente (25 ± 2 °C). Las piezas remanentes se sacaron y se secaron en una estufa a 60 °C hasta peso constante.

El porcentaje de solubilidad se calculó mediante la fórmula:

$$\% \text{ Solubilidad} = \left[\frac{(\text{Peso seco inicial} - \text{peso seco final})}{\text{Peso seco inicial}} \right] \times 100$$

Las muestras se analizaron por triplicado.

2.8 Apariencia física de la película

La homogeneidad y apariencia de las películas se examinó mediante un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-5800LV (JEOL Ltd., Tokio, Japón). Las películas se sujetaron en soportes de bronce utilizando una cinta con doble pegamento y se recubrieron con una capa de oro (40-50 nm). Las imágenes se capturaron a una magnificación de 100X lo cual permitió la observación de la superficie de las películas.

2.9 Análisis microbiológicos

Los cultivos bacterianos de *Listeria innocua* y *Staphylococcus aureus* se obtuvieron de la colección de cultivos del Departamento de Microbiología de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-IPN. Las bacterias crecieron en caldo soya tripticasa enriquecida con 0.6 % (p/v) de extracto de levadura y se mantuvieron en agitación continua durante toda la noche. Se inocularon 3 mL de este caldo en 150 mL de caldo fresco y se mantuvo en agitación por 1 h. Se usó la prueba de difusión en agar para determinar el efecto antimicrobiano de las películas en las bacterias. Se emplearon 25 mL del agar soya tripticasa, el cual se vertió en cajas Petri. Se transfirió una alícuota del cultivo (0.2 mL) al agar una vez que éste solidificó. Las películas se cortaron en círculos (3 mm diámetro) y se colocaron en el agar. Las cajas se mantuvieron a 7 °C por 48 h y después se incubaron a 37 °C por 48 h. El primer lapso de tiempo se utilizó para permitir que el antimicrobiano difundiera al medio de cultivo. El efecto antimicrobiano de la película se determinó observando la formación de halos de inhibición en el área de contacto así como alrededor de la película.

2.10 Análisis estadístico

Los experimentos se realizaron utilizando un diseño completamente aleatorizado. Se realizó un análisis de varianza (ANDeVA, $p \leq 0.05$) utilizando el programa estadístico Sigma-Plot, versión 2.03 (Fox y col., 1995). Para ver diferencias entre las medias de los tratamientos, se llevó a cabo la prueba de Tukey (Walpole y col., 1999).

3 Resultados y discusión

3.1 Propiedades mecánicas

La incorporación de los agentes antibacterianos provocó una reducción en el esfuerzo de tensión de las películas (Cuadro 1). Este efecto fue más pronunciado en las películas con sorbato de potasio, debido a que los valores de tensión a la fractura fueron de 0.22 y 0.31 MPa, para las concentraciones de 0.4 % y 0.6 %, en comparación con la película control, la cual mostró un valor de 3.61 MPa. Estos resultados son menores que los reportados por Flores y col. (2006b) en películas elaboradas de almidón de tapioca con 0.3 % de sorbato de potasio, los cuales presentaron un valor de 1.0 MPa. Cagri y col. (2001) trabajaron con películas de suero de leche adicionadas con sorbato

de potasio y reportaron que cuando este aditivo se incluyó en la formulación de la película el esfuerzo de tensión a la fractura disminuyó, como lo encontrado en este trabajo. La razón para este comportamiento se debe a que las cadenas lineales del ácido sórbico o sus sales pueden fácilmente penetrar dentro de la película y tienen más movilidad entre las cadenas, por lo tanto aumentan la flexibilidad. Pranoto y col. (2005) trabajaron con películas de quitosán a las cuales les incluyeron aceite de ajo o bien sorbato de potasio y encontraron que el incluir cualquiera de los dos antimicrobianos con diferentes concentraciones disminuía la tensión a la fractura y que este efecto era mayor con el sorbato de potasio.

Las películas elaboradas con aceite esencial de canela, presentaron un valor mayor a las elaboradas con sorbato de potasio. Estos resultados son similares a los encontrados por Rojas-Graü y col. (2007) quienes reportaron valores de de 2.90 MPa para la película control (puré de manzana con alginato) y 2.84 MPa para la película con 0.5 % de aceite de canela. El porcentaje de elongación no se modificó significativamente cuando se agregó 1.5 % del aceite de esencial de canela.

3.2 Permeabilidad al vapor de agua

Al aumentar la cantidad de aceite esencial de canela en las películas, se redujo la permeabilidad al vapor de agua (PVA) (Cuadro 1). La mayor disminución se observó con 1.5 % del aceite esencial. Otros investigadores han trabajado con aceite esencial de canela pero con diferente matriz estructural y mencionan que la incorporación de aceites esenciales puede afectar la propiedad hidrofílica/hidrofóbica de la película debido a la naturaleza hidrofóbica de los mismos (Ojagh y col., 2010).

Los valores encontrados en este estudio con aceite esencial de canela son más bajos que los encontrados por Rojas-Graü y col. (2006) para la película control ($19.55 \times 10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$) y para la película con aceite esencial ($18.9 \times 10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$). Pranoto y col. (2005) y Mazura y col. (2007) trabajaron con películas de alginato y aceites esenciales de limón y ajo, respectivamente, obteniendo resultados similares (4.0×10^{-10} y $3.58 \times 10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$) a los de este estudio para la película con 1.5 % de aceite esencial de canela.

Por otra parte, la permeabilidad de películas con sorbato de potasio aumentó con respecto al control de 18.34×10^{-10} a $22.5 \times 10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$. Un comportamiento similar fue reportado con películas

de diferentes fuentes: con almidón de tapioca con 0.3 % de sorbato de potasio (Flores y col. 2006b), con aislados de proteína de suero con ácido sórbico a 0.5 y 1% (Cagri y col., 2001), con quitosano con aceite de ajo o sorbato de potasio (Pranoto y col., 2005). Los aditivos como el ácido sórbico o el sorbato de potasio, actúan como un plastificante, debilitando el empaquetamiento de las cadenas del almidón en la película para producir una estructura menos ordenada, lo cual aumenta la movilidad de las moléculas de agua y por lo tanto, la permeabilidad.

3.3 Solubilidad de la película en agua

La solubilidad de la película es un factor importante que determina su biodegradabilidad cuando se utiliza como un medio para proteger los alimentos (Gnanasambadam y col., 1997). Aunque se requiere una baja solubilidad de las películas durante el almacenamiento, una alta solubilidad podría ser ventajosa durante la cocción de productos envueltos en películas (Laohakunjit y Noomhorm, 2004). Por eso es necesario conocer las características de las películas para poder posteriormente encontrarles una aplicación.

Las películas elaboradas con aceite esencial de canela tuvieron una solubilidad menor al aumentar la concentración. Este resultado concuerda con un estudio realizado con películas de quitosano y aceite esencial de canela (Ojagh y col. 2010). Estos investigadores indican que no solo el carácter hidrofílico del aceite pudo haber influido sino también entre los componentes del aceite y la matriz que forma la película.

Como se puede observar en el Cuadro 1, la película elaborada con almidón de plátano con 1.5 % de aceite esencial de canela mostró el valor más bajo de porcentaje de solubilidad, mientras que el valor más alto lo presentaron las películas con sorbato de potasio. Esta característica del sorbato podría ser útil si se quisiera empacar un producto que va a cocinarse antes de ser consumido, sin necesidad de retirar el empaque antes de introducirlo al agua. Los resultados encontrados en este estudio, están de acuerdo con lo reportado por Flores y col. (2006b) quienes observaron que la adición de este antimicrobiano incrementó significativamente la solubilidad en películas a base de almidón de tapioca. Esto se debió a que la presencia de sorbato produjo una estructura menos organizada que resultó en mayores valores de solubilidad.

Cuadro 1. Propiedades mecánicas, de barrera y físicas de películas de almidón de plátano[†]

Película	Tensión a la fractura (MPa)	Elongación (%)	Permeabilidad al vapor de agua ($\times 10^{-10}$ g m ⁻¹ s ⁻¹ Pa ⁻¹)	Solubilidad (%)
Película de almidón de plátano (PAP)	3.61 \pm 1.31 ^a	16.88 \pm 1.93 ^a	18.34 \pm 0.60 ^a	35.17 \pm 0.80 ^a
PAP + aceite de canela al 1 %	0.79 \pm 0.07 ^b	12.94 \pm 0.99 ^b	13.58 \pm 0.40 ^b	32.46 \pm 0.21 ^b
PAP + aceite de canela al 1.5 %	1.03 \pm 0.04 ^c	15.19 \pm 0.49 ^a	5.07 \pm 0.20 ^c	26.55 \pm 0.43 ^c
PAP + sorbato de potasio al 0.4 %	0.22 \pm 0.07 ^d	6.36 \pm 1.20 ^c	22.06 \pm 0.90 ^d	62.10 \pm 0.35 ^d
PAP + sorbato de potasio al 0.6 %	0.31 \pm 0.04 ^d	8.50 \pm 1.72 ^c	22.52 \pm 0.80 ^d	68.84 \pm 0.19 ^e

[†]Media aritmética de cinco repeticiones \pm error estándar.

Medias aritméticas una columna con diferente letra son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

3.4 Apariencia física de la película

En la Fig. 1 se muestra una foto de microscopía electrónica de barrido (MEB) en la que se observa la microestructura de las películas. La película control no presentó micro fracturas o grietas en la superficie aunque no se veía lisa. En cambio, cuando se incorpora el aceite esencial de canela con el emulsificante, la superficie de la película se ve más uniforme y suave con gotas de aceite dispersas. Sin embargo, se observaron microfracturas en la superficie de las películas con sorbato de potasio, lo cual probablemente contribuyó al incremento en la PVA de estas películas.

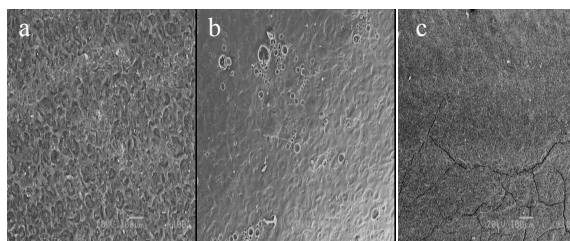


Fig. 1. Fotos de microscopía electrónica de barrido de las películas de almidón de plátano oxidado: a) control; b) con aceite de canela al 1.5 %; c) con sorbato de potasio al 0.6 % con un aumento de 100x.

Cuadro 2. Actividad antibacteriana de películas de almidón de plátano con aceite de canela y sorbato de potasio probadas con dos bacterias diferentes.

Película	Zona de inhibición (mm) [†]	
	<i>L. innocua</i>	<i>S. aureus</i>
Película de almidón de plátano (PAP)	NP	NP
PAP + aceite de canela al 1 %	9.8 \pm 0.35 ^a	11.0 \pm 0.14 ^a
PAP + aceite de canela al 1.5 %	4.9 \pm 0.04 ^b	7.6 \pm 0.05 ^b
PAP + sorbato de potasio al 0.4 %	3.4 \pm 0.01 ^c	2.3 \pm 0.03 ^c
PAP + sorbato de potasio al 0.6 %	4.1 \pm 0.07 ^c	3.1 \pm 0.07 ^c

[†] Media aritmética de tres repeticiones \pm error estándar.

Medias aritméticas en una columna con diferente letra son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

NP = No presentó actividad antibacteriana.

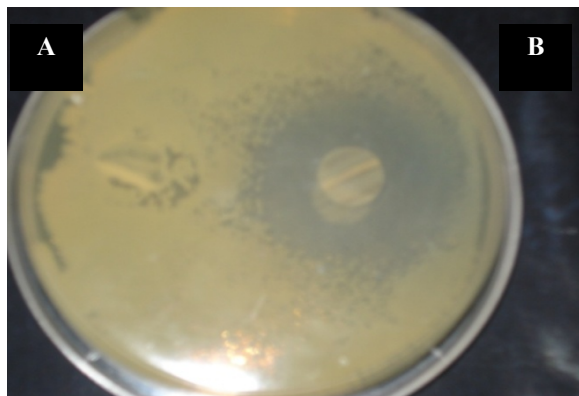


Fig. 2. Zona de inhibición de las películas de almidón de plátano oxidado, control (A) y con 1.5 % de aceite esencial de canela (B) utilizando *Staphylococcus aureus*.

3.5 Propiedades antimicrobianas

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de la actividad inhibitoria de las películas comestibles con antibacterianos. Los resultados de esta investigación revelaron que la película control (elaborada únicamente con almidón de plátano), no pudo inhibir el crecimiento bacteriano. Sin embargo, las películas que contenían antibacterianos sí mostraron un efecto inhibitorio, el cual fue más notorio en las películas con el aceite esencial de canela (Fig. 2).

En el caso de las bacterias Gram negativas sensibles, así como de las Gram positivas, los aceites esenciales se introducen a través de los lípidos de la membrana celular y mitocondrial, alterando su estructura y haciéndolas más permeables. Como consecuencia tiene lugar una fuga de iones y de otros contenidos celulares, de forma más o menos intensa, que puede llevar a la muerte celular (Huerta, 2007).

Rojas-Graü y col. (2006) trabajaron con películas de puré de manzana con aceite de canela y probaron la actividad antimicrobiana contra *E. coli* y encontraron que la zona de inhibición de cualquiera de las concentraciones utilizadas fue baja (1.1 mm). Esto se debió a que esta bacteria es Gram negativa y existen diferencias en la estructura de la pared celular y de la composición de la membrana de las bacterias, además de una interacción con los aceites esenciales de naturaleza lipofílica (Lambert y col. 2001).

Estos resultados coinciden con los reportados por Seydim y Sarikus (2006) en películas de proteínas de suero incorporadas con aceite de ajo al 3 %, quienes determinaron una zona de 11.36 mm y 9.89 mm para

S. aureus y *L. innocua*, respectivamente. Las películas que contenían sorbato de potasio en su formulación, mostraron una menor actividad antimicrobiana que las películas con el aceite esencial y al aumentar la concentración, no mejoró significativamente esta actividad. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Pranoto y col. (2005) quienes evaluaron la actividad antimicrobiana de películas de quitosano con sorbato de potasio.

Conclusiones

Para que un material sea considerado como adecuado para usarse en la conservación de alimentos, debe tener ciertas características como son adecuadas propiedades mecánicas y de barrera para que puedan soportar el manejo del producto hasta el consumidor. Aunado a eso si es biodegradable, se disminuirían los problemas de contaminación ambiental de los plásticos sintéticos. El utilizar almidón oxidado de plátano como una fuente no convencional para elaborar películas para conservar alimentos podría ser una alternativa de uso debido a que la incorporación de 1.5 % de aceite esencial de canela causó un efecto antibacteriano y disminuyó la permeabilidad al vapor de agua y la solubilidad sin que se afectaran las propiedades mecánicas.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo económico de la SIP-IPN, COFAA-IPN y EDI-IPN.

Referencias

- ASTM (American Society for Testing and Materials). (1996). Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting D882-97. En: *Annual book of ASTM*. Philadelphia, PA. pp. 162-170.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). (1996). Standard test methods for water vapor transmission of materials E96-80. En: *Annual book of ASTM*. Philadelphia, PA. pp: 771-778.
- Bello-Pérez, L.A., Agama-Acevedo, E., Sánchez-Hernández, L. y Paredes-López, O. (1999). Isolation and partial characterization of banana starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47, 854-857.

- Burt, S.A. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods: a review. *International Journal of Food Microbiology* 94, 223-253.
- Cagri, S.Z., Ustunol, Z y Ryser, E.T. (2001). Antimicrobial, mechanical and moisture barrier properties of low pH whey protein-based edible films containing p-aminobenzoic or sorbic acids. *Journal of Food Science* 66(6), 865-870.
- Deans, S.G., Ritchie, G., (1987). Antibacterial properties of plant essential oils. *International Journal of Food Microbiology* 5, 165- 180.
- Guerra-Della Valle, D., Bello-Pérez, L.A., González-Soto, R.A., Solorza-Feria, J. y Arámbula-Villa, G. (2008). Effect of reaction time on the acetylation of plantain starch. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 7(3), 283-291.
- Diab, T., Biliaderis, C.G. y Stakiotakis, E. (2001). Physicochemical properties and application of pullulan edible films and coatings in fruit preservation. *Journal of Science Food and Agriculture* 81, 998-100.
- Donhowe, I.G., y Fennema, O.R. (1993). The effects of plasticizers on crystallinity, permeability and mechanical properties of methylcellulose films. *Journal of Food Process and Preservation* 17, 247-257.
- Flores, S., Haedo, A. S., Campos, C. y Gershenson, L. (2006a) Antimicrobial performance of potassium sorbate supported in tapioca starch edible films. *European Food Research Technology* 22, (3-4), 375-384.
- Flores, S., Famá, L., Rojas, A.M., Goyanes, S. y Gershenson, L. (2006b). Physical properties of tapioca-starch edible films: influence of film making and potassium sorbate. *Food Research International* 40, 257-265.
- Flores-Gorosquera, E., García-Suárez, F.J., Flores-Huicochea, E., Nuñez-Santiago, M.C., González-Soto, R.A. y Bello-Pérez, L.A. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana* 55, 86-90.
- Fox, E., Shotton, K y Ulrich, C. (1995). *Sigma-Stat User Manual*. San Rafael, CA., USA, Jandel Scientific Co. (cd).
- French, D. (1984). Organization of starch granules. En: *Starch: Chemistry and Technology*. Whistler, R., J. N. BeMiller, and E. F. Paschall (eds). Pp. 183-256. Academic Press, Orlando, FL.
- García, M.A., Martino, M.N. y Zarizky, N.E. (2000). Microstructural characterization of plasticized starch-based films. *Starch/Stärke* 52, 118-124.
- Gnanasambadam, R. Hettiarachchy, N.S. Coleman, M. (1997). Mechanical and barrier properties of rice bran films. *Journal of Food Science* 62 (2), 395-398.
- Lambert, R.J.W., Skandamis, P.N., Coote, P. y Nychas, G.J.E. (2001). A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacol. *Journal of Applied Microbiology* 91, 453-462.
- Laohakunjit, N. y Noomhorn, A. (2004). Effect of plasticizer on mechanical and barrier properties of rice starch films. *Starch/Stärke* 56, 348-356.
- López, P., Sánchez, C., Batlle, R. y Nerín, C. (2007). Vapor-phase activities of cinnamon, thyme and oregano essential oils and key constituents against foodborne microorganisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55, 4348-4358.
- Lourdin, D., Della Valle, G. y Colonna, P. (1995). Influence of amylase content on starch films and foams. *Carbohydrate Polymer* 27, 261-270.
- Mansour, Z., y Guth, E. (1968). Complexing behaviour of starches with certain pharmaceuticals. *Journal of Pharmaceutical Science* 57, 404-411.
- Mazura, M., Mazilah, A., Norziah, M.N. y Karim, A.A. (2007). Antibacterial activity and mechanical properties of partially hydrolyzed sago starch-alginate edible film containing lemongrass oil. *Journal of Food Science* 72(6), 324-330.
- Ojagh, S.M., Rezaei, M., Razavi, S.H. y Hosseini, S.M.H. (2010). Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water. *Food Chemistry*, in press.

- Ouattara, B., Simard, R.E., Holley, R.A., Piette, G.J.P. y Beign, A. (1997). Antibacterial activity of selected fatty acids and essential oils against six meat spoilage organisms. *International Journal of Food Microbiology* 37, 155-162.
- Pranoto, Y., Salokhe, V.M. y Rakshit, S.K. (2005). Physical and antibacterial properties of alginate-based edible film incorporated with garlic oil. *Food Research International* 38, 267-272.
- Raybaudi-Massilia, R.M. Mosqueda-Melgar, J. Martin-Belloso, O. (2006). Antibacterial activity of essential oils on *Salmonella enteritis*, *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in fruit juices. *Journal of Food Protection* 69, 1579-1586.
- Rivas-González, M., Zamudio-Flores, P.B. y Bello-Pérez, L.A. (2009). Efecto del grado de acetilación en las características morfológicas y fisicoquímicas del almidón de plátano. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 8, (3), 291-298.
- Rojas-Graü, M.A., Avena-Bustillos, R.J. Friedman, M., Henika, P.R., Martin-Belloso, O. y McHugh, T.H. (2006). Mechanical, barrier and antimicrobial properties of apple puree edible films containing plant essentials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 9262-9267.
- Rojas-Graü, M.A., Avena-Bustillos, R.J., Olsen, C., Friedman, M., Henika, P.R., Martin-Belloso, Pan, Z. y McHugh, T.H. (2007). Effects of plant essential oils and oil compounds on mechanical, barrier and antimicrobial properties of alginate-apple puree edible films. *Journal of Food Engineering* 81, 634-641.
- Romero-Bastida, C.A., Bello-Pérez, L.A., García, M.A., Martino, M.N. y Zarizky, N.E. (2005). Physicochemical and microstructural characterization of films prepared by thermal and cold gelatinization from non-conventional sources of starches. *Carbohydrate Polymer* 60, 235-244.
- Sánchez-Rivera, M.M. y Bello-Pérez, L.A. (2008). Efecto de la temperatura en la reacción de oxidación en almidón de plátano (*Musa paradisiaca L.*) estimación de la energía de activación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 7, (3), 275-282.
- Seydim, A.C. y Sarikus, G. (2006). Antibacterial activity of whey protein based edible films incorporated with oregano, rosemary and garlic essential oils. *Food Research International* 39, 639-644.
- Shan, B., Cali, Y., Brooks, J.D. y Corke, H. (2007). Antibacterial properties and major bioactive components of cinnamon stick: activity against foodborne pathogenic bacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55, (14), 5484-5490.
- Walpole, R.E., Myers, R.H. y Myers, S.L. (1999). *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*. 6a ed. Prentice-Hall Hispanoamericana. México.
- Zamudio-Flores, P.B., Bello-Pérez, L.A., Vargas-Torres, A., Hernández-Urbe, J.P. y Romero-Bastida, C.A. (2007). Caracterización parcial de películas preparadas con almidón oxidado de plátano. *Agrociencia* 41, 837-844.
- Zamudio-Flores, P.B., Vargas-Torres, A., Pérez-González, A., Bozquez-Molina, J. y Bello-Pérez, L.A. (2006). Films prepared with oxidized banana starch: mechanical and barrier properties. *Starch/Starke* 58, 274-282.
- Zivanovic, S., Shuang, Ch. y Draughon, A. (2005). Antimicrobial activity of chitosan films enriched with essential oils. *Journal of Food Science* 70(1), M45-M51.