



EFFECTO DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES DE QUITOSANO EN LA REDUCCIÓN MICROBIANA Y CONSERVACIÓN DE LA CALIDAD DE FRESAS

EFFECT OF CHITOSAN EDIBLE COATINGS IN THE MICROBIAL REDUCTION AND CONSERVATION OF THE QUALITY OF STRAWBERRIES

Marco A. López-Mata¹, Saul Ruiz-Cruz^{1*}, Clarissa Navarro-Preciado¹, José de Jesús Ornelas-Paz², María I. Estrada-Alvarado¹, Laura E. Gassos-Ortega¹, Joaquín Rodrigo-García³.

¹Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias, Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de Febrero 818 Sur, CP 85000, Cd. Obregón, Sonora, México.

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Av. Ríos Conchos S/N, Parque Industrial Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

³Departamento de Ciencias Básicas, Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Anillo envolvente PRONAF y Estocolmo s/n, 3231, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

RESUMEN

Se evaluó el efecto de recubrimientos comestibles (RC) de quitosano (Q) (1 y 2 %) con o sin la adición de aceite esencial de canela (AC) (0,03, 0,07 y 0,1 %) sobre los cambios en aceptabilidad, fenoles totales, capacidad antioxidante y población microbiana en fresas. Fresas sin recubrimiento se utilizaron como control. Frutos tratados fueron almacenados por 15 días a 5°C y se evaluaron cambios en la calidad a intervalos de 3 días. Fresas tratadas y control no mostraron diferencias en el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante. Todos los tratamientos redujeron significativamente la población microbiana con respecto al control. RC con Q 2 % + AC 0,1 % redujo en mayor magnitud el crecimiento microbiano (2 Log ufc/g) sin afectar la calidad después de 14 días a 5°C, seguido del RC de Q 1 % + AC 0,1 % con 1,5 Log ufc/g de reducción y vida de anaquel de 15 días. El control presentó 8 días de vida de anaquel; todos los recubrimientos presentaron la mayor aceptabilidad en comparación con el control. Estos resultados indican que los RC de quitosano con aceite de canela pueden prolongar la vida de anaquel de fresas por 15 días a 5°C.

Palabras clave: fenoles totales, capacidad antioxidante, cubiertas comestibles

ABSTRACT

The effect of chitosan edible coating EC (1 and 2%) with or without cinnamon essential oil (CEO) (0.03, 0.07 and 0.1 %) on general acceptability, total phenolic, antioxidant capacity and microbiology change (mesophilic aerobic and molds-yeast) on strawberries was evaluated. Strawberries without coating were used as control samples. Treated fruits were stored for up to 15 days at 5°C and changes in quality were evaluated on three days intervals. Strawberries treated with the EC and control fruits did not present differences regarding total phenolic and antioxidant capacity evaluated. All treatment reduced significantly the microbial growth with respect to control. The EC with Q 2 % + AC 0.1 % reduced in higher extends the microbial growth (2 Log cfu/g) and maintained overall quality of strawberries by 14 days at 5°C, followed by EC Q 1 % + AC 0.1 % with 1.5 Log cfu/g reduction and 15 days of shelf-life. The control had a shelf-life of 8 days; all coatings showed the higher general acceptability compared to control. From the results, it was concluded that the use of chitosan EC leads to increased strawberry shelf-life.

Key words: total phenolic, antioxidant capacity, edible coating

*Autor para correspondencia: Saul Ruiz Cruz
Correo electrónico: sruiz@itson.edu.mx

Recibido: 17 de enero de 2012
Aceptado: 1 de marzo de 2012

INTRODUCCIÓN

La fresa (*Fragaria vesca*) es una de las frutas de color rojo con mayor aceptación mundial y una fuente rica en vitamina C, minerales, flavonoides y carotenoides. Estudios recientes han evidenciado que el consumo de frutos de color rojo reducen el riesgo a padecer enfermedades degenerativas (Restrepo *et al.*, 2010). Aunque es un fruto muy apreciado tiene la desventaja de ser muy perecedero, debido a su elevada respiración y la carencia de barrera exterior que limita la retención de agua (Min *et al.*, 2005). Otras características que limitan la conservación de la fresa es su poca resistencia a los daños mecánicos y al ataque microbiológico (Fraire-Cordero *et al.*, 2003).

La rápida perecebilidad de la fresa hace necesario el desarrollo de nuevas tecnologías para reducir el deterioro microbiológico y la pérdida de atributos de la calidad. Esto ha estimulado la búsqueda de nuevos sistemas naturales de conservación, basados en recubrimientos comestibles (RC) (González-Aguilar *et al.*, 2009). Lípidos, resinas, polisacáridos y proteínas son los materiales comúnmente utilizados en la producción de dichos RC. Dependiendo de las características deseadas, los RC se pueden hacer usando un tipo de material o una mezcla de ellos, teniendo en cuenta sus ventajas y desventajas (Colla *et al.*, 2006). Entre los polisacáridos utilizados en la formulación de RC el quitosano (Q) es uno de los más utilizados, debido a sus características de maleabilidad, biocompatibilidad y a sus propiedades antimicrobianas (Raafat *et al.*, 2008). En la industria alimentaria se han utilizado los RC de quitosano como una barrera estructural semipermeable al CO₂, O₂ y agua, cuando se aplica a frutos de fresa (Hernández-Muñoz *et al.*, 2006, 2008). Sin embargo, su naturaleza hidrofílica, impide que funcione adecuadamente como una barrera contra la humedad. No obstante, la biocompatibilidad que tiene el quitosano con diversos compuestos, es utilizada para incorporar compuestos hidrofóbicos (Lin y Zhao, 2007). Asimismo, el almidón es un biopolímero natural utilizado para mantener la calidad y prolongar la

vida de anaquel de fresa y zanahoria mínimamente procesada (Durango *et al.*, 2005; Costa-García *et al.*, 2010). La papa se produce en toda la región centro y sur de Sonora y por lo tanto representa una importante fuente de almidón, además de ser abundante y barata podría proporcionar un valor agregado al producto.

Los aceites esenciales (AEs) como el de canela (AC) son sustancias hidrofóbicas que poseen propiedades antimicrobianas y antioxidantes, con un potencial alto como conservador natural en la industria alimentaria y son consideradas GRAS (Generalmente Reconocidas como Seguras) (Sacchetti *et al.*, 2005); por lo que, su uso cumple con las exigencias de seguridad que demandan los consumidores por el uso de productos naturales en los alimentos. La actividad antimicrobiana de AEs está asociada con los terpenoides y compuestos fenólicos de los aceites (Burt, 2004). La biocompatibilidad del quitosano con otros polímeros naturales como el almidón y el aceite de canela, podría ser explotada para mejorar las características de barrera, antioxidante y antimicrobiana al aplicarse en fresa, con la finalidad de preservar su calidad nutricional y microbiológica. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de RC a base de quitosano con incorporación de aceite de canela en la retención de la calidad y reducción de la población microbiana en fresas frescas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia Prima

Se utilizaron frutos de fresa, las cuales se obtuvieron de un mercado local (Cd. Obregón, Sonora, México). Los frutos fueron transportados al laboratorio de Inocuidad Alimentaria localizado en el Centro de Investigación e Innovación en Biotecnología Agropecuaria y Ambiental (CIIBAA) del ITSON. Para el estudio, se seleccionaron las fresas con un tamaño uniforme y madurez comercial, descartando visualmente los frutos con daños físicos.

Preparación de los Recubrimientos Comestibles (RC)

El quitosano utilizado para la prepara-

ción de los RC fue de mediano peso molecular (128 kDa), polidispersión de 4,12 y desacetilación aproximadamente del 66 %. Las soluciones de RC de quitosano (RCQ) se prepararon al 1 y 2 % (p/v) con ácido acético al 1 % (v/v), el cual se homogenizó por 30 min a 15,500 rpm en un Ultra-Turrax Ika T 18 basic (Alemania). Posteriormente, se adicionó glicerol (0,5 % v/v) y se homogenizó por 10 min. Una vez homogenizado se incorporó el almidón y el aceite de canela (Sigma-Aldrich). Se prepararon cinco tratamientos variando la concentración de quitosano (Q), almidón (A) y aceite de canela (AC): T1=Q 1 % + 0,1 % AC; T2=Q 1 % + 0,75 % A + 0,07 % AC; T3= Q 1 % + 0,4 % A + 0,03 % AC; T4= Q 2 % + 0,1 % AC; T5= sin RC (control).

Aplicación de los RC

Las fresas fueron inmersas (900 g por tratamiento) por 90 s en cada uno de los tratamientos, luego se aplicó un ligero flujo de aire caliente para eliminar el exceso del RC, se envasaron 100 g de fresas en charolas de plástico (9 charolas/tratamiento) y se almacenaron a 5°C por 15 días. Después de la aplicación de los tratamientos, se tomaron fresas para el análisis inicial y posteriormente a intervalos de tres días se seleccionó una charola por tratamiento y se evaluó la aceptabilidad general, cambios microbiológicos (mesófilos aerobios y hongos-levaduras), fenoles totales y capacidad antioxidante.

Aceptabilidad General

Se evaluó la aceptabilidad subjetivamente de acuerdo con la escala descrita por Mercado-Silva *et al.* (1998). En la evaluación participaron un grupo de 4 panelistas, a quienes previamente se les explicó la escala de aceptabilidad hedónica del 1-9; donde 9= Excelente (producto fresco), 7= defecto ligero (muy bueno), 5= mediana (límite de mercadeo, fin de la vida útil), 3= pobre (límite de consumo), 1= no consumible. Para lo anterior, las charolas con fresas fueron enseñadas a los panelistas, cada día de muestreo y cada uno dictaminó un valor dependiendo de su percepción del producto.

Evaluaciones Microbiológicas

Asépticamente se tomaron 10 g de muestra por triplicado y se homogenizó por 1 min en 90 mL de solución amortiguadora de fosfatos. El homogenizado fue diluido en forma seriada en la misma solución y posteriormente, se tomó 1 mL de la muestra de cada dilución y se inoculó por duplicado sobre los medios de cultivo (placas de agar). Para el recuento total de mesófilos aerobios se inoculó en placas con agar para cuenta estándar (Difco) y se incubaron por 24-36 h a 37°C (NOM-092-SSA1-1994). De la misma manera se inocularon placas con agar papa dextrosa (Difco) acidificado con ácido tartárico al 10 % (p/v), para hongos y levaduras, se incubaron por 3-5 días a 25°C (NOM-111-SSA1-1994). Los resultados se expresaron como Log ufc/g.

Fenoles Totales

La determinación de los compuestos fenólicos totales se efectuó por el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu modificado por Palomino *et al.* (2009). Para ello, se empleó 1 g de fresa, el cual fue homogenizado con 10 mL de metanol al 80 % (v/v) y bisulfito de sodio 0,5 % (p/v) por 30 s. Una vez homogeneizado, se sónico durante 5 min y se centrifugó a 17,000 g a 4°C por 10 min. Se tomó una alícuota de 0,1 mL del sobrenadante del extracto metanólico y se le adicionó 0,5 mL del reactivo Folin Ciocalteu, 1,5 mL de Na₂CO₃ al 20 % (p/v) y se ajustó a un volumen final de 10 mL con agua destilada y se dejó en reposo. Se tomó la lectura de la solución en reposo (2 mL) en un espectrofotómetro (Genesis 20 UV-vis, USA) a 570 nm. El blanco utilizado fue metanol al 80 % (p/v) con 0,5 % de bisulfito de sodio (p/v). Los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico/100 g peso fresco.

Capacidad Antioxidante

Del extracto metanólico (descrito previamente) se recolectaron 0,1 mL y se mezclaron en vortex (Genie-2, Scientific Industries, G560) con 3,9 mL de solución del radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH por sus siglas en inglés). La muestra fue incubada en oscuridad a temperatura ambiente

por 1 h y posteriormente, se midió la absorbancia a 515 nm (espectrofotómetro Genesis 20 UV-vis, USA). La actividad de captación del radical de la muestra fue expresado en porcentajes de inhibición del DPPH y fue calculado de acuerdo a la siguiente fórmula: $(PI) = [(Ab - Aa) / Ab] \cdot 100$. Donde Ab es el valor de absorbancia de la muestra blanco (DPPH en metanol al 80 %) y Aa la absorbancia de la muestra problema.

Análisis Estadístico

Se realizó un diseño en bloques completamente al azar, donde los bloques fueron los días de almacenamiento y los factores los tratamientos de RC. Todos los datos fueron reportados como la media \pm desviación estándar de al menos cuatro replicas. Para conocer la diferencia en la variación del efecto de los tratamientos se realizó un análisis de varianza. Los tratamientos que mostraron diferencias fueron sometidos a una comparación múltiple de medias por la prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$). Para lo anterior, se utilizó el paquete estadístico NCSS 2001.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aceptabilidad General

Se puede observar una disminución de la aceptabilidad después de los 5 días de almacenamiento de casi todos los tratamientos, excepto el T1 (Q 1 % + AC 0,1 %), el cual mostró una disminución hasta el día 12 y presentó el mayor valor de aceptabilidad al final del almacenamiento (7,6 en la escala), seguido de los tratamientos con Q 1 % + 0,75 % A + 0,07 % AC, Q 1 % + 0,4 % A + 0,03 % AC y Q 2 % + 0,1 % AC, los cuales presentaron una disminución paulatina a partir del día 5, hasta alcanzar valores al final del almacenamiento de 7, 6,3 y 6, respectivamente. Fresas control (sin recubrimiento), presentaron una disminución drástica del día 5 al día 8, alcanzando un valor de aceptabilidad por los panelistas de 5,5, así mismo, para el día 12 alcanzó un valor de 5 (límite de mercadeo) y permaneció constante hasta el final del almacenamiento (Figura 1). Estos resultados concuerdan con Hernández-Muñoz *et al.* (2006), quienes reportaron que la aplicación de RC de quitosano al 1,5 % + 1 % de gluconato de calcio mantuvieron la mayor aceptabili-

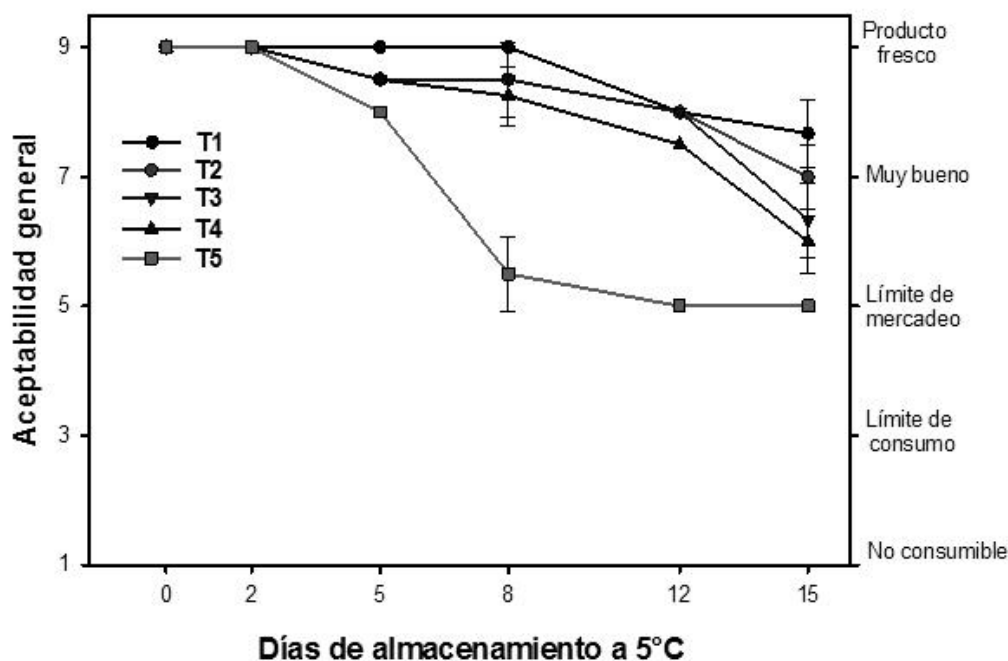


Figura 1. Efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles de quitosano en la aceptabilidad general de fresa, almacenada a 5°C durante 15 días.

Figure 1. Effect of the application of chitosan edible coating on generally acceptability of strawberry, stored at 5°C for up to 15 days.

dad de fresas con respecto al control (no tratado). Se ha reportado previamente que el periodo de vida poscosecha de fresa almacenada a 5°C es de 7-9 días, con un aumento de 2-4 días cuando se mantienen en atmósferas modificadas con 20 kPa de CO₂ (Pelayo *et al.*, 2003). En este estudio, la incorporación de AC al RC, logró prolongar la vida útil de la fresa hasta por 15 días (Q 1 % + 0,1 % AC). Algunos autores han evidenciado que la limitante como barrera de los recubrimientos de quitosano es su relativa permeabilidad al agua (Wiles *et al.*, 2000). La incorporación de AC al RC de quitosano pudo haber aumentado sus características hidrofóbicas, lo cual pudo haber provocado una reducción en la pérdida de agua, solutos e intercambio de gases, que probablemente retrasaron los desordenes fisiológicos normales de la fresa (Rojas-Grau *et al.*, 2007).

Evaluaciones Microbiológicas

En la figura 2 se presenta el efecto de los diferentes tratamientos en la reducción de mesófilos aerobios en fresa durante el almacenamiento a

5°C. La población inicial de mesófilos aerobios en fresas control (sin tratar) fue de 3,5 Log ufc/g. Se puede observar que todos los tratamientos presentaron una reducción significativa ($P \leq 0,05$) con respecto al control (entre 1 y 1,6 Log ufc/g), siendo los más efectivos los RC con Q 1 % + 0,1 % AC y Q 2 % + 0,1 % AC. Al final del almacenamiento, se observó un ligero crecimiento en la población de mesófilos aerobios en todos los tratamientos, siendo más pronunciado en el control alcanzando un valor de 3,4 Log ufc/g. Los tratamientos con Q 1 % + 0,1 % AC, Q 1 % + 0,75 % A + 0,07 % AC y Q 1 % + 0,4 % A + 0,03 % AC, durante los días de almacenamiento presentaron menor crecimiento de bacterias aeróbicas (entre el rango de 0,5 y 1 Log ufc/g), hasta alcanzar valores de 2,6-2,9 Log ufc/g. Sin embargo, el RC con Q 2 % + 0,1 % AC resultó ser el más efectivo debido a que no presentó ningún cambio en el desarrollo de mesófilos aerobios, siendo estadísticamente significativo con respecto al resto de los tratamientos, manteniendo una población de microorganismos en 1,9 Log ufc/g.

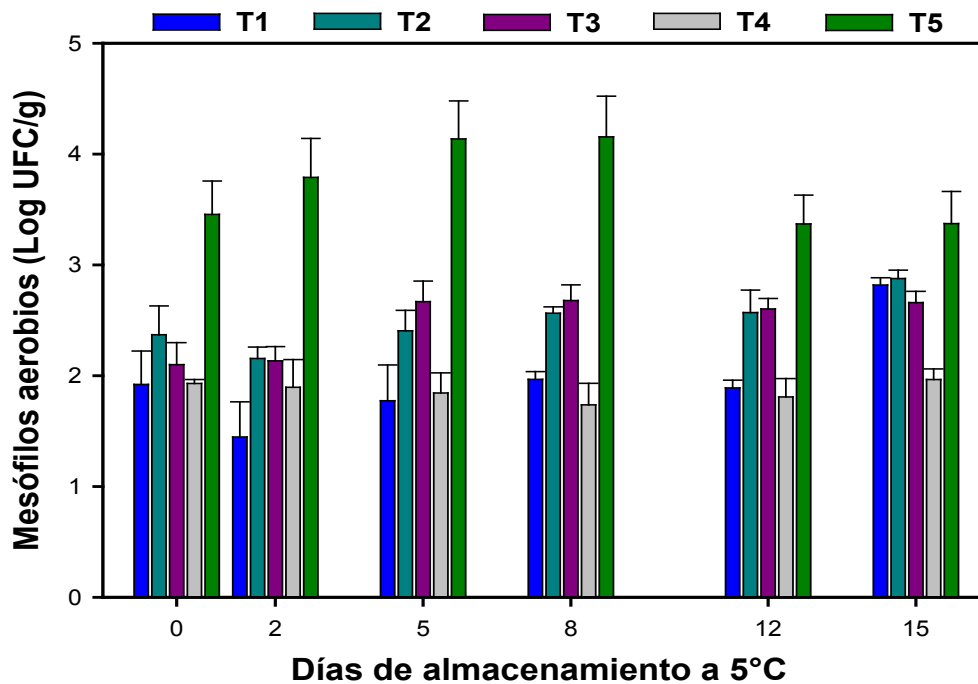


Figura 2. Recuento de mesófilos aerobios de fresa tratada con recubrimientos comestibles de quitosano y almacenada por 15 días a 5°C.

Figure 2. Mesophilic aerobic plate count of strawberry treated with chitosan edible coating and stored for 15 days at 5°C.

Shahidi *et al.* (1999) reportaron que una de las razones de las propiedades antimicrobianas del quitosano se debe a que éste posee cargas positivas en su grupo amino, las cuales, interactúan con las cargas negativas de las membranas celulares de los microorganismos. Asimismo, Helander *et al.* (2001) observaron con microscopía electrónica que el quitosano se une a la parte exterior de la membrana de los microorganismos, destruyendo su función de barrera. Recientemente, Ruiz-Cruz *et al.* (2010) reportaron que diferentes RC a base de quitosano y almidón redujeron el crecimiento de mesófilos (4 Log ufc/g) en melón fresco cortado. En la presente investigación el tratamiento de Q 2 %, + AC 0,1 % fue el más efectivo. González-Aguilar *et al.* (2005) reportaron que un recubrimiento de quitosano al 2 % redujo la población de mesófilos aerobios en 2 Log ufc/g en papaya fresca cortada, después de 14 días de almacenamiento a 5°C con respecto al control.

La incorporación del AC también pudo haber jugado un papel importante por su actividad antimicrobiana. Bosquez-Molina *et al.* (2009) reportaron que la hidrofobicidad de los aceites esenciales, les permite unirse con los lípidos contenidos en la membrana bacteriana, ocasionando con esto, trastornos en su estructura y permeabilidad, dando así lugar al escape de iones y otros componentes intracelulares. Además de la actividad independiente del aceite y el quitosano, la efectividad del T4 también se pudo deber a un efecto sinérgico de los componentes. De acuerdo con la NOM-093-SSA1-1994 los valores de mesófilos aerobios observados en este estudio se encuentran dentro de los límites máximos permitidos para ensaladas de frutas frescas (5,17 Log ufc/g), lo que podría ser más parecido a la fresa.

En la figura 3 se observa el efecto de los RC en la reducción del crecimiento de hongos-levaduras en fresa almacenada a 5°C. El conteo inicial

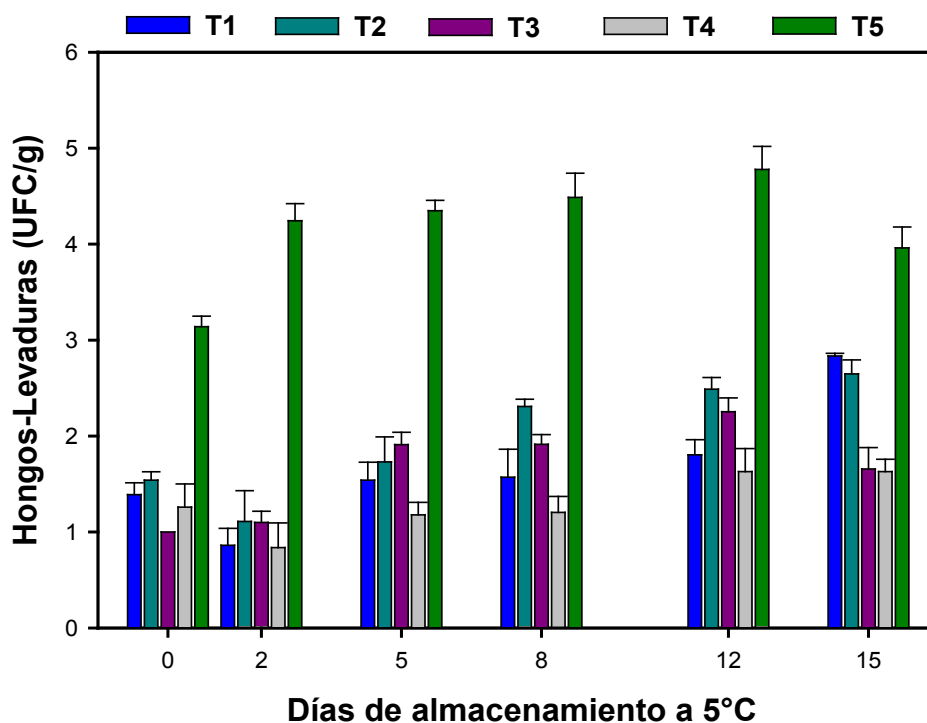


Figura 3. Recuento de hongos y levaduras de fresa tratada con recubrimientos comestibles de quitosano y almacenada por 15 días a 5°C.

Figure 3. Molds and yeast counts of strawberry treated with chitosan edible coating and stored for 15 days at 5°C.

fue de 3,19 Log ufc/g. Donde se puede observar que los tratamientos con los diferentes RC redujeron significativamente ($P \leq 0,05$) dicha población con respecto al control (entre 1,6 a 2,2 Log ufc/g). Se observó un incremento paulatino en todos los tratamientos durante el periodo de almacenamiento, pero a diferente magnitud, alcanzando la mayor población el control con 4 Log ufc/g. Fresas tratadas con Q 1 % + 0,1 % AC y Q 1 % + 0,75 % A + 0,07% AC incrementaron en 1,4 y 1 Log ufc/g la población de hongos-levaduras durante el periodo de almacenamiento, hasta alcanzar valores de 2,8 y 2,6 Log ufc/g, respectivamente. Los tratamientos más efectivos en reducir la población de hongos-levaduras fueron Q 1 % + 0,4 % A + 0,03 % AC y Q 2 % + 0,1 % AC, alcanzando una población final de 1,6 Log ufc/g ($P \leq 0,05$).

El-Ghaouth *et al.* (1992) observaron en fresas contaminadas con dos de sus principales patógenos (*Rhizopus stolonifer* y *Botrytis cinerea*) y posteriormente tratadas con cubiertas de quitosano al 1,5 %, reducía hasta el 60 % de su deterioro durante 14 días de almacenamiento. Previamente se ha reportado que el peso molecular también es una característica importante para su actividad antifúngica. González-Aguilar *et al.* (2009) evaluaron el efecto de RC de quitosano de bajo, mediano y alto peso molecular, aplicado a papaya fresca cortada. Dichos autores encontraron que el RC de quitosano de mediano peso molecular fue el más efectivo a una concentración de 2 %, siendo capaz de suprimir el desarrollo de hongos-levaduras hasta por 14 días de almacenamiento a 5°C, resultados similares a lo encontrado en este estudio. Otros autores han evaluado el efecto de RC de quitosano en uvas, cerezas y manzanas con resultados antifúngicos muy similares (Romanazzi *et al.*, 2002; Assis y Pessoa, 2004). Posiblemente la actividad antifúngica del quitosano se ha atribuido a la activación del mecanismo de defensa del fruto influenciados por la presencia de quitosano, mediante la activación de la enzima quitinasa y la síntesis de fitoalexinas y otros compuestos (Hernández-Lauzardo *et al.*, 2005). Otro mecanismo antifúngico que se

ha reportado, establece que el quitosano tiene la propiedad de penetrar en el núcleo de las células interfiriendo en el ARN y en la síntesis de proteínas (Dutta *et al.*, 2008).

Los RC que mostraron una mayor reducción en la población de hongos y levaduras fueron Q 1 % + 0,4 % A + 0,03 % AC y Q 2 % + 0,1 % AC. Estos nos indica que la adición de AC a estos tratamientos aplicados a fresa, potencializó la actividad antifúngica. Previamente se ha reportado que el principal componente de la canela es el cinamaldehído (3-fenil-2-propanal) que posee propiedades fungicidas y fungiestáticas contra diversos hongos (Wang *et al.*, 2005).

Fenoles Totales

Se puede observar que el contenido de fenoles al inicio del estudio, vario en cada uno de los tratamientos entre valores de 20–120 mg eq. de AG/100 g PF (Figura 4). Birt *et al.* (2001) han reportado que la concentración en polifenoles de cualquier alimento es muy variable, porque depende de muchos factores tales como la variedad o el grado de maduración de los vegetales. Durante el almacenamiento se observó un incremento en todos los tratamientos pero a diferente magnitud, hasta alcanzar valores de 140-170 mg eq de AG/100 g de PF después de 15 días de almacenamiento a 5°C. Estos resultados concuerdan con los reportados por Ghasemnezhad *et al.* (2010) al aplicar RC de quitosano en albaricoque, y Oms-Oliu *et al.* (2008a) en frutos cortados de melón, tratados con RC de alginato, gelano y pectina almacenados 15 días a 5°C. Los frutos control y los tratamientos con Q 1 % + A 0,4 % + AC 0,03 % y Q 2 % + AC 0,1 % presentaron los mayores valores al final del almacenamiento (160 mg eq de AG/100 g de PF). Esta acumulación de fenoles en fresas tratadas y no tratadas, pudo ser promovida por la actividad de la enzima fenilalanina amonioliasa (PAL) (Oms-Oliu *et al.*, 2008a), la cual pudo aumentar su actividad al estrés causado por dichos tratamientos al incrementar el proceso de deterioro, lo que podría haber causado la descomposición de la estructura

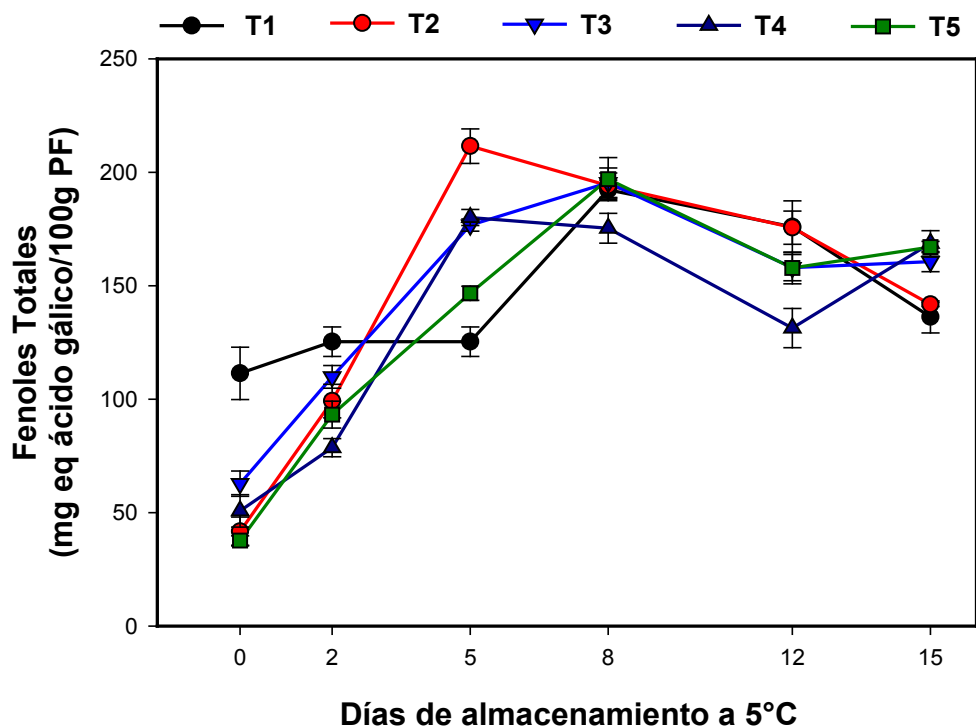


Figura 4. Contenido de fenoles totales en fresas tratadas con recubrimientos comestibles de quitosano y almacenadas 15 días a 5°C.

Figure 4. Content of total phenols in strawberry treated with chitosan edible coating and stored for 15 days at 5°C.

celular con el fin de la senescencia y el consecuente incremento en el contenido de fenoles (Macheix *et al.*, 1990). Pusch-mann *et al.* (2007) observaron un incremento en la actividad PAL durante el almacenamiento de zanahorias baby tratadas con RC de quitosano-almidón y no tratadas, lo que probablemente pudo ocurrir en dicho estudio. En cambio el menor valor de fenoles totales lo presentaron fresas tratadas con Q 1 % + AC 0,1 % (140 mg eq de AG/100 g de PF) y esto probablemente se deba a que fue el tratamiento que presentó menor deterioro (mayor aceptabilidad) y quizá esté relacionado al efecto del RC en disminuir la actividad de PAL y/o retrasar el proceso de deterioro y con ello disminuir la acumulación de dichos compuestos fenólicos debido a la disminución de los procesos metabólicos del producto que traen consigo la senescencia del mismo (Macheix *et al.*, 1990).

Capacidad Antioxidante

Los tratamientos lograron conservar y aumentar ligeramente la capacidad antioxidante de

las fresas tratadas y el control (Figura 5). Se puede observar también que el comportamiento en los cambios de concentración de fenoles totales y la capacidad antioxidante fue muy similar. Algunos autores han relacionado la acumulación de compuestos fenólicos con el incremento en la capacidad antioxidante en plantas y frutas (Shiow y Hsin-Shan, 2000; Reytez y Cisneros-Zevallos, 2003).

En general el porcentaje de inhibición del radical DPPH de las fresas tratadas y el control fueron entre 50 al 85 %. Esto nos indica que la fresa posee una capacidad antioxidante alta y que no está influenciada significativamente por la presencia de aceite canela ó el RC. En el presente estudio, la mayor capacidad antioxidante fue observada en los frutos control y fresas tratadas con RC de Q 1 % + AC 0,03 %, el cual también se relacionó con el mayor contenido de fenoles, lo que concuerda con lo reportado por Oms-Oliu (2008a) en frutos cortados de melón tratados con RC de alginato y pectina almacenados 15 días a 5°C. Estudios pre-

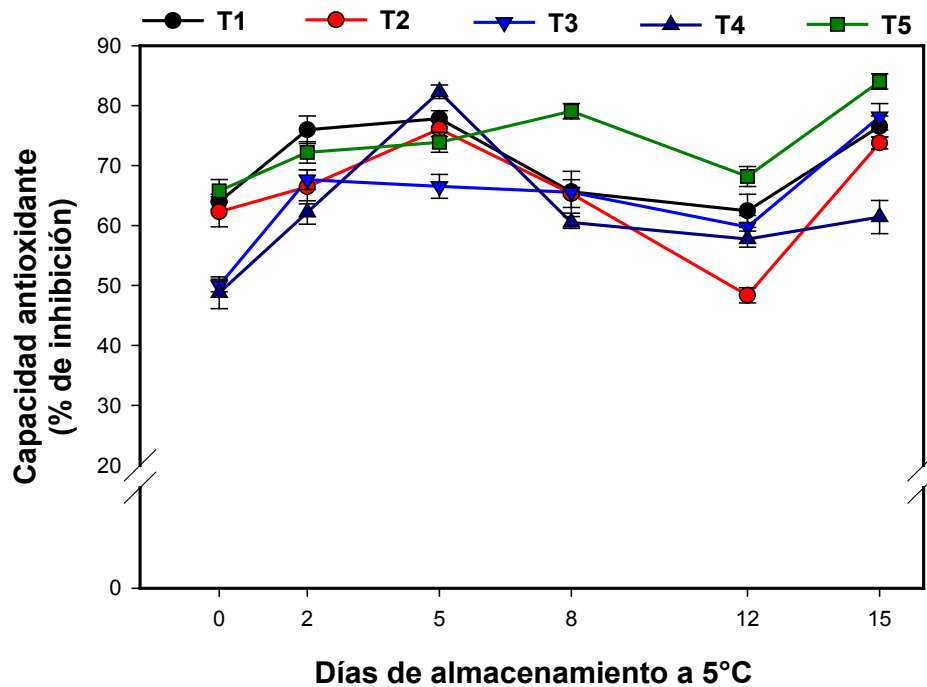


Figura 5. Capacidad antioxidante en fresas tratadas con recubrimientos comestibles de quitosano y almacenadas 15 días a 5°C.

Figure 5. Antioxidant capacity in strawberry treated with chitosan edible coating and stored for 15 days at 5°C.

vios en melón fresco cortado se reportó que los compuestos fenólicos mostraron la mayor capacidad antioxidante con respecto a la vitamina C (Oms-Oliu *et al.*, 2008b). Sin embargo, la capacidad antioxidante puede venir de diferentes compuestos fitoquímicos diferentes (Eberhardt *et al.*, 2000). Por ejemplo, Han *et al.* (2004) y Amal *et al.* (2010) reportaron una disminución en el contenido de vitamina C y un incremento en el contenido de antocianinas en fresas tratadas con RC de quitosano y proteínas de gluten de trigo con thymol, respectivamente; siendo los compuestos fenólicos los que proporcionan la mayor capacidad antioxidante. La capacidad antioxidante de un alimento depende de la naturaleza y concentración de la gran variedad de antioxidantes naturales presentes en él. Por este motivo, es difícil medir la actividad antioxidante total por componentes activos de manera individual. Actualmente se requiere de la evaluación de la capacidad antioxidante para determinar la eficiencia de los antioxidantes naturales, en relación a la protección de productos vegetales contra

el daño oxidativo y pérdida de su valor comercial y nutricional (Sánchez-Moreno, 2002).

CONCLUSIONES

Los RC de quitosano + almidón con aceite de canela aplicado a fresa fueron efectivos para prolongar la vida útil de fresas hasta por 15 días a 5°C, siendo el RC de Q 1 % + AC 0,1 % el más efectivo. Además, pudo mantener el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante, así como retrasar el desarrollo microbiano. Por lo que, el uso de RC con aceite de canela incorporada pueden ser una buena alternativa para preservar la calidad y prolongar la vida útil de la fresa.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a PROMEP por el apoyo financiero otorgado para la realización de este trabajo, especialmente al proyecto ITSON-PTC-056.

REFERENCIAS

- Amal, S.H., Atress, El-Mogy, M.M., Aboul-Anean, H.E. y Alsanious, B.W. 2010. Improving strawberry fruit storability by edible coating as a carrier of thymol or calcium chloride. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*. 2(3): 88-97.
- Assis, O. y Pessoa, J. 2004. Preparation of thin films of chitosan for use as edible coatings to inhibit fungal growth on sliced fruits. *Brazilian Journal of Food Technology*. 7: 17-22.
- Birt, D., Hendrich, S. y Wang, W. 2001. Dietary agents in cancer prevention. *Flavonoids and isoflavonoids. Pharmacology and Therapeutics*. 90: 157-177.
- Bosquez-Molina, E., Bautista-Baños, S. y Morales-López, J. 2009. Aceites esenciales: bioconservadores con alto potencial en la industria alimentaria. *Industria Alimentaria*. 31: 12-24.
- Burt, S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods-a review. *International Journal of Food Microbiology*. 94: 223-253.
- Costa Garcia, L., Mendes-Pereira, L., de Luca-Sarantópoulos, C.I.G. y Dupas-Hubinger, M. 2010. Selection of an edible starch coating for minimally processed strawberry. *Food Bioprocess Technology*. 3: 834-842.
- Dutta, P.K., Tripathi, S., Mehrotra, J. y Dutta, J. 2008. Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications. *Food Chemistry*. 114: 1173-1182.
- Eberhardt, M.V., Lee, C.Y. y Liu, R.H. 2000. Antioxidant activity of fresh apples. *Nature*. 405(6789): 903-904.
- El-Ghaouth, A.E., Arul, J., Grenier, J. y Asselin, A. 1992. Antifungal activity of chitosan on two postharvest pathogens of strawberry fruits. *Postharvest Pathology and Mycotoxins*. 82(4): 398-402.
- Fraire-Cordero, M., Yáñez, M., Nieto, D. y Vázquez, G. 2003. Hongos patógenos en fruto de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) en postcosecha. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 21(3): 285-291.
- Ghasemnezhad, M., Shiri, M.A. y Sanavi, M. 2010. Effect of chitosan coatings on some quality indices of apricot (*Prunus armeniaca* L.) during cold storage. *Caspian Journal of Environmental Science*. 8(1): 25-33.
- González-Aguilar, G.A., Valenzuela-Soto, E., Lizardi-Mendoza, J.L., Goycoolea, F., Martínez-Téllez, M., Villegas-Ochoa, M.A., Monroy-Gracia, I.N. y Ayala-Zavala, J.F. 2009. Effect of chitosan coating in preserving deterioration and preserving the quality of fresh-cut papaya 'Maradol'. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 89: 15-23.
- González-Aguilar, G.A., Monroy-García, I.N., Goycoolea-Valencia, F., Díaz-Cinco, M.E. y Ayala-Zavala, J.F. 2005. Cubiertas comestibles de quitosano. Una alternativa para prevenir el deterioro microbiano y conservar la calidad de papaya fresca cortada. *Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas*. 1: 121-133.
- Han, C., Zhao, Y., Leonard, S.W. y Traber, M.G. 2004. Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria x ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*). *Postharvest Biology and Technology*. 33: 67-78.
- Helander, I.M., Nurmiäho-Lassila, E.L., Ahvenainen, R., Rhoades, J. y Roller, S. 2001. Chitosan disrupts the barrier properties of the outer membrane of Gram-negative bacteria. *Journal of Food Microbiology*. 71: 235-244.
- Hernández-Lauzardo, A.A., Bautista-Baños, S., Velázquez del Valle, M.G., Rodríguez-Ambrís, S.L., Corona-Rangel, M.L., Solano-Navarro, A. y Bosquez-Molina, E. 2005. Potencial del quitosano en el control de las enfermedades postcosecha. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 23(2): 198-205.
- Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., Ocio, M. J. y Gavara, R. 2006. Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria x ananassa*). *Postharvest Biology and Technology*. 39(3): 247-253.
- Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., Del-Valle, V., Velez, D. y Gavara, R. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria x ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*. 110: 428-435.
- Lin, D. y Zhao, Y. 2007. Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruit and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 6: 60-75.
- Macheix, J.J., Fleuriet, A. y Billot, J. 1990. *Fruit phenolics*. Boca Ratón Florida: CRC Press, Inc. 378 pag.
- Mercado-Silva, E., Rubatzky, V., Heredia-Zepeda, A. y Catwell, M.I. 1998. Variation in chilling susceptibility of jicama roots. *Acta Horticulturae*. 467: 357-362.
- Min, Z., Giognian, X., Jian, P. y Vilas, M.S. 2005. Effect of single and combined atmosphere packages on preser-

- vation of strawberries. *International Journal of Food Engineering*. 1(4): 1-11.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-092-SSA1-1994), Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-111-SSA1-1994) Bienes y servicios. Métodos para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R. y Martín-Belloso, O. 2008a. Using polysaccharide-based edible coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melón LWT - *Food Science and Technology*. 41: 1862-1870.
- Oms-Oliu, G., Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R. y Martín-Belloso, O. 2008b. The role of peroxidase on the antioxidant potential of fresh-cut 'Piel de Sapo' melon packaged under different modified atmospheres. *Food Chemistry*. 106(3): 1085-1092.
- Palomino, L., García, C.M., Gil, J., Rojano, B. y Durango, D. 2009. Determinación del contenido de fenoles y evaluación de la actividad antioxidante de propóleos recolectados en el departamento de Antioquia (Colombia). *Journal of the Science and Food Agriculture*. 16(3): 388-395.
- Pelayo, C., Ebeler, S.E. y Kader, A.A. 2003. Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars kept at 5 °C in air or air + 20kPa CO₂. *Postharvest Biology and Technology*. 27: 171-183.
- Puschmann, R., Simoes, A., Moreira, S., Soares, N., Carnelossi, M. y Gil, M. 2007. Calidad y actividad de la fenilalanina amonioliasa (PAL) en minizanáhoría con recubrimiento comestible antimicrobiano. V. In Grupo de Postrecolección y Refrigeración. UPCT. (Ed.), Congreso iberoamericano de tecnología postcosecha y agroexportaciones (pp. 616-624). Cartagena: Grupo de Postrecolección y Refrigeración. UPCT Universidad Politécnica de Cartagena.
- Raafat, D., von Barga, K., Hass, A. y Hans-Georg, S. 2008. Insights into the mode of action of chitosan as an antibacterial compound. *Applied Environmental Microbiology*. 74(12): 3764-3773.
- Restrepo, A., Cortés, M. y Rojando, B. 2010. Potenciación de la capacidad antioxidante en fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) por incorporación de vitamina E utilizando la técnica de impregnación al vacío. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*. 17(2): 135-140.
- Reyes, L.F. y Cisneros-Zevallos, L. 2003. Wounding stress increases the phenolic content and antioxidant capacity of purple-flesh potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51: 5296-5300.
- Rojas Graü, M., Tapia, M. y Martín-Belloso, O. 2007. Empleo de recubrimientos comestibles en frutas frescas cortadas: Nuevo enfoque de conservación y desarrollo de productos. *Revista de Tecnología e Higiene de los Alimentos*. 382: 105-118.
- Romanazzi, G., Nigro, F., Ippolito, A., Di Venere, D. y Salerno, M. 2002. Effects of pre- and postharvest chitosan treatments to control storage grey mold of table grapes. *Journal of Food Science*. 67: 1862-1867.
- Ruiz-Cruz, S., Guevara-Gálvez, C.L., Estrada-Alvarado, I., Cira-Chavéz, L.A., Gassós-Ortega, L.E. y Llaneza-Samaniego, A.L. 2010. Aplicación de películas comestibles a base de quitosano y almidón para mantener la calidad sensorial y microbiológica de melón fresco cortado. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología Biomédica*. 1: 1-10.
- Sacchetti, G., Maietti, S., Muzzoli, M., Scaglianti, M., Manfredini, S., Radice, M. y Bruni, R. 2005. Comparative evaluation of 11 essential oils of different origin as functional antioxidants, antiradicals and antimicrobial in foods. *Food Chemistry*. 91: 621-632.
- Sánchez-Moreno, C. 2002. Review: Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. *Food Science and Technology International*. 8: 121-137.
- Shahidi, F., Arachchi, J. y Jeon, Y. 1999. Food application of chitin and chitosans. *Trends in Food Science and Technology*. 10(2): 37-51.
- Shiow, Y.W. y Hsin-Shan, L. 2000. Antioxidant activity in fruit and leaves of blackberry, raspberry and strawberry varies with cultivar and developmental stage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48(2): 140-146.
- Wang, S.Y., Chen, P.F. y Chang, S.T. 2005. Antifungal activities of essential oils and their constituents from indigenous cinnamon (*Cinnamomum osmophloeum*) leaves against wood decay fungi. *Bioresource Technology*. 96: 813-818.
- Wiles, J.L., Vergano, P.J., Barron, F.H., Bunn, J.M. y Testin, R.F. 2000. Water vapor transmission rates and sorption behavior of chitosan films. *Journal of Food Science*. 65: 1175-1179.