



## Efecto del aceite esencial de *Cymbopogon citratus* sobre propiedades fisicoquímicas en películas de quitosano

Effect of essential oil of *Cymbopogon citratus* in the physicochemical properties of chitosan films

María del Carmen Vázquez-Briones; José Ángel Guerrero-Beltrán\*

Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla. Ex Hacienda Sta. Catarina Mártir, San Andrés, Cholula, Puebla. C.P. 72810. Mexico.

Received November 30, 2016. Accepted October 16, 2017.

### Resumen

Se investigó el efecto de la incorporación de aceite esencial de zacate limón (*Cymbopogon citratus*), en concentraciones de 0, 200 y 400 ppm, en las propiedades fisicoquímicas (espesor, humedad, solubilidad, permeabilidad al vapor de agua, color, transparencia) y mecánicas (resistencia a la tensión y elongación) de películas de quitosano a dos concentraciones (1 y 3%). Los resultados mostraron un efecto significativo ( $p \leq 0,05$ ) en los valores del espesor de las películas a las dos concentraciones de quitosano. Se observó un efecto significativo ( $p \leq 0,05$ ) en los valores de humedad a concentraciones de 0, 200 y 400 ppm de aceite esencial. La adición de aceite esencial en películas de quitosano mostró un efecto significativo ( $p \leq 0,05$ ) en los valores de permeabilidad al vapor de agua. La concentración de quitosano mostró un efecto significativo ( $p \leq 0,05$ ) en transparencia y en los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ . Al variar la concentración de quitosano se observó un incremento significativo ( $p \leq 0,05$ ) en los valores de resistencia a la tensión de las películas de quitosano.

**Palabras clave:** películas comestibles; quitosano; *Cymbopogon citratus*; propiedades mecánicas; color.

### Abstract

The effect of the incorporation of lemon grass (*Cymbopogon citratus*) essential oil at concentrations of 0, 200 and 400 ppm in the physicochemical (thickness, moisture, solubility, water vapor permeability, color, transparency) and mechanical properties (tensile strength and elongation) of chitosan films at concentrations of 1 and 3% was assessed. Results showed a significant effect ( $p \leq 0.05$ ) on the thickness values of films at concentrations of 1 and 3% of chitosan. A significant effect ( $p \leq 0.05$ ) was observed in the moisture content at concentrations of 0, 200 and 400 ppm of essential oil. The addition of essential oil to chitosan films showed a significant change ( $p \leq 0.05$ ) in the water vapor permeability values. The chitosan concentration showed a significant effect ( $p \leq 0.05$ ) on transparency and the  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$  color parameters. By varying the chitosan concentration, a significant increase ( $p \leq 0.05$ ) in the tensile strength values of the chitosan films was observed.

**Keywords:** edible films; chitosan; *Cymbopogon citratus*; mechanical properties; color.

### 1. Introducción

El *Cymbopogon citratus*, conocido comúnmente como zacate limón o té limón en México, es una planta que pertenece a la familia de las gramíneas y se cultiva en casi todos los países tropicales y subtropicales. Se usa para la elaboración de bebida aromática y se emplea en la medicina tradicional en diversas partes del mundo (Schaneberg y Khan, 2002). Wannissorn *et*

*al.* (1996) reportaron que el citral es el principal componente activo del aceite esencial de *C. citratus*, otorgándole un olor característico a limón (Parikh y Desai, 2011). Diversos estudios han demostrado que algunos componentes del aceite de *C. citratus* presentan efectos antimicrobianos (Bassolé *et al.*, 2011) y antifúngicos (Wannissorn *et al.*, 1996; Sánchez-García *et al.*, 2007; Nguefack *et al.*, 2009).

\* Corresponding author  
E-mail: [angel.guerrero@udlap.mx](mailto:angel.guerrero@udlap.mx) (J. Guerrero-Beltrán).

Los aceites esenciales (AE) son líquidos oleosos volátiles obtenidos de diferentes partes de plantas. Investigaciones previas han evidenciado propiedades antibacterianas, antifúngicas, antivirales, insecticidas y antioxidantes de los aceites esenciales (Goñi *et al.*, 2009; Tofiño-Rivera *et al.*, 2016). Debido a esas propiedades, los aceites esenciales de alguna plantas han sido incorporados en películas comestibles (Pelissari *et al.*, 2011). Por otro lado, se ha demostrado que algunos AE proporcionan un efecto positivo en las propiedades mecánicas y permeabilidad al vapor de agua en películas comestibles (Souza *et al.*, 2011; Abdollahi *et al.*, 2012); sin embargo, aún existe poca información (Peng *et al.*, 2013) al ser adicionados a películas de quitosano.

Las películas y recubrimientos de quitosano han mostrado ser eficaces en la conservación de alimentos y se consideran sistemas prometedores para ser utilizados como portadores de aceites esenciales (Yuan *et al.*, 2017). El quitosano es una forma N-acetilada de la quitina (Duan *et al.*, 2011; Kundu *et al.*, 2013). Es el segundo polímero natural más abundante en el mundo (Shahidi *et al.*, 1999), se obtiene de los caparazones de algunos crustáceos (cangrejos, camarones, insectos) y algunos hongos (Deng *et al.*, 2009). Se compone principalmente de un polímero de unidades  $\beta$ -(1-4)-2-amino-2-desoxi-D-glucosa (Cissé *et al.*, 2012; Da Silva *et al.*, 2012). Actualmente, el quitosano es un polímero que juega un papel importante en la economía mundial ya que es biodegradable (Elgadir *et al.*, 2015) comestible y antimicrobiano (Martelli *et al.*, 2013). Por otro lado, se puede usar para formar películas que actúan como barrera contra la humedad (Leceta *et al.*, 2014) y utilizarse como recubrimiento de frutas y hortalizas (Jiang *et al.*, 2011) para la elaboración de productos listos para comer (Jirukkakul, 2013). El principal inconveniente de las películas de quitosano es su alta permeabilidad al vapor de agua; sin embargo, esto podría reducirse mediante la adición de componentes tales como los AE (Cháfer *et*

*al.*, 2012). Sin embargo, la adición de AE a películas podría ser limitado debido a su volatilidad y también podría inducir efectos beneficiosos o perjudiciales en las características fisicoquímicas de la película (López-Mata *et al.*, 2015).

El propósito del presente trabajo fue evaluar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de películas de quitosano adicionando aceite esencial de *Cymbopogon citratus*.

## 2. Materiales y métodos

### Materiales

Quitosano (quitina deacetilada, poli(D-glucosamina) de bajo peso molecular, glicerol y ácido acético fueron adquiridos de Sigma-Aldrich (St. Louis, Missouri, EE.UU.). El *C. citratus* fresco fue adquirido de la central de abasto de la Ciudad de Puebla, Puebla, México.

### Extracción del aceite esencial

Las plantas de *C. citratus* se secaron a temperatura ambiente durante una semana, extendiéndolas en charolas, volteándolas tres veces al día para airear, acelerar el secado y evitar el crecimiento de microorganismos. El aceite esencial de *C. citratus* (50 g) fue obtenido por el método de arrastre de vapor asistida con microondas. Se utilizó una potencia de 50%, 200 mL de agua destilada y un tiempo de 30 minutos. Se utilizó un equipo de destilación simple adaptado a un horno de microondas convencional marca Daewoo DC, modelo KOR 6LYB, con una potencia de 600 W (Vázquez-Briones *et al.*, 2015).

### Solución formadora de películas

En la Tabla 1 se muestran las formulaciones para la elaboración de películas de quitosano. Agua destilada y ácido acético se mezclaron y se calentaron a 70 °C. La mezcla se retiró de la parrilla de calentamiento y se adicionó el quitosano (1 y 3%) lentamente agitando constantemente. Una vez disperso el quitosano se filtró (con gasas) y se adicionó el glicerol. El aceite esencial de *C. citratus* se dispersó al 0,1% en una solución de tween 20 (v/v) y se adicionó a la solución para alcanzar concen-

traciones de 200 y 400 ppm. Se homogenizó a 10000 RPM durante 10 min con un homogeneizador ULTRA TURRAX® IKA® T18 (IKA Works Inc., Wilmington, NC, EE.UU.). Las películas fueron formadas mediante la técnica de colado utilizada por Eum *et al.* (2009). En cajas de Petri de 100 x 15 mm se vaciaron 20 mL de la solución de quitosano. Las películas se obtuvieron colocando las cajas de Petri en una estufa Blue M (Electric Company, Blue Island, Illinois, EE.UU.) a una temperatura a 30°C durante 48 h. Una vez obtenidas las películas, se despegaron de la caja de Petri y se colocaron en un desecador para mantenerlas a una humedad relativa de 50 ± 5% (en una solución sobresaturada de NaBr) durante 48 horas para ser analizadas posteriormente.

**Tabla 1**

Solución de recubrimiento

Concen- tración	Gli- cerol (g)	Ácido acético (mL)	H <sub>2</sub> O destilada (mL)	Quito- sano (g)
1%	2	4	390	4
3%	2	4	382	12

### Espesor de las películas

El espesor fue medido con un micrómetro (Mitutoyo No. 7300, Illinois, EE.UU.). Se midieron 8 puntos de la misma película y se calculó el valor promedio.

### Humedad

El contenido de humedad en las películas se determinó utilizando un horno marca Cole-Palmer (Chicago, Illinois, EE.UU.). Se utilizaron trozos de películas de 2 cm<sup>2</sup> (sobre charolas puestas a peso contante) y se secaron a vacío (18 pulgadas de Hg) a 70 °C durante 24 h. Se registró el peso húmedo ( $m_1$ ) y seco ( $m_2$ ) de las películas (Mayachiew y Devahasti, 2008). Se calculó el porcentaje de humedad aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

### Solubilidad

Se utilizó el método de Andreuccetti *et al.* (2011) modificado. Se cortaron trozos de

película (2 cm<sup>2</sup>), se secaron a 70 °C a vacío (18 pulgadas de Hg) durante 24 h para obtener la masa seca inicial. Las películas se colocaron en vasos de precipitados de 50 mL que contenían 30 mL agua destilada. Los vasos de precipitados se cubrieron con plástico y se almacenaron a temperatura ambiente durante 24 h. Posteriormente, el agua de los vasos de precipitados se desechó y la película residual se enjuago con agua destilada. Las piezas de películas residuales se secaron a 70 °C a vacío (18 pulgadas de Hg) para determinar la masa seca. La solubilidad fue calculada usando la siguiente ecuación:

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

donde  $M_i$  y  $M_f$  son la masa (g) inicial y final de la muestra.

### Permeabilidad al vapor de agua

La permeabilidad al vapor de agua (PVA) se determinó usando el método E96–80 (ASTM-1996). Se cortaron cuadrados de películas de 2 cm<sup>2</sup> y se fijaron en la boca de pesasustancias (PS) que contenían 2 g de cloruro de calcio anhidro. La película se unió a la boca del PS con papel “parafilm” para evitar fugas. Los PS se colocaron dentro de un desecador que contenía solución saturada de NaCl (75% de humedad relativa) a 25 °C. Se determinó la transmisión de vapor de agua a través de la película por ganancia de peso. Los pesos de los PS se registraron cada 2 horas durante diez horas. El cambio en peso de los PS se graficó en función del tiempo, se calculó la pendiente de cada línea por regresión lineal. La PVA fue calculada utilizando la siguiente ecuación:

$$PVA = \frac{\Delta W \times E}{A \times \Delta P}$$

donde  $\Delta W$  es la pendiente de la recta de cambios de peso del pesasustancias (g/h),  $E$  es el espesor de la película (m),  $A$  el área expuesta de la película (m<sup>2</sup>) y  $\Delta P$  que es la diferencia de presión de vapor de agua a través de la película (Pa). La presión de vapor de agua a 20 °C a una actividad de agua de 0,75 (NaCl) es 2337,81 Pa, por lo tanto  $\Delta P = 2337,81$  Pa.

### Color

El color fue medido usando un colorímetro Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta Sensing Inc., Japón). Las lecturas fueron hechas en el modo de reflectancia. Se midieron los parámetros de color  $L^*$  (luminosidad: 0 = negro, 100 = blanco),  $a^*$  ( $-a$  = verde,  $+a$  = rojo) y  $b^*$  ( $-b$  = azul,  $+b$  = amarillo) en la escala CIELab. El colorímetro se calibró utilizando una placa blanca estándar ( $L^* = 94,43$ ,  $a^* = -1,03$  y  $b^* = +0,80$ ). Las mediciones de color se realizaron mediante la colocación de las muestras de películas sobre la placa blanca.

### Transparencia

Rectángulos de películas de 1x4 cm fueron colocados directamente en las celdas de un espectrofotómetro UV-Visible 2800 H UNICO (Bellport, New York., EE.UU.). Se utilizó una celda vacía como referencia. Posteriormente, se midieron los valores de absorbancia a 600 nm. El valor de transparencia fue calculado utilizando la siguiente ecuación (Ramos *et al.*, 2012).

$$\text{Transparencia} = \frac{A_{600}}{\delta}$$

donde  $A_{600}$  es la absorbancia a 600 nm y  $\delta$  es el espesor de la película (mm).

### Propiedades mecánicas

Las propiedades de tensión se determinaron utilizando un texturómetro modelo EZ-SX (Shimadzu Corporation, Kioto, Japón), de acuerdo al método de Leerahawong *et al.* (2011) con algunas modificaciones. *Resistencia a la tensión*: las películas fueron colocadas en un portamuestras con orificio de 4 cm, manteniéndolas fijas y extendidas. Se utilizó una sonda cilíndrica de 3 mm de diámetro. *Elongación*: se utilizaron tiras de 6x1 cm para determinar el porcentaje de resistencia a la rotura. Para la medición de los parámetros antes descritos se utilizó una velocidad de 1 mm/s y una distancia recorrida de 20 mm. La resistencia a la tensión ( $RT$ ) y la *elongación* (%) fueron calculadas usando las siguientes ecuaciones:

$$RT \text{ (MPa)} = \frac{f}{A}$$

donde  $f$  es la fuerza de ruptura (N) y  $A$  es el área transversal de la película en  $\text{mm}^2$ .

$$\text{Elongación (\%)} = \frac{\Delta L}{L} \times 100$$

donde  $\Delta L$  es el incremento en la longitud en el punto de ruptura (mm) y  $L$  es la longitud inicial 33 mm.

### Análisis estadístico

El diseño experimental fue un diseño factorial  $2^3$ , los tratamientos fueron dos concentraciones de quitosano (1 y 3%), tres concentraciones de aceite esencial (0, 200 y 400 ppm). Con tres repeticiones de cada tratamiento ( $n = 3$ ). Se realizaron análisis de varianza y pruebas de Tukey para determinar diferencia entre las medias de los tratamientos utilizando el software Minitab 17 (LEAD Technologies Inc., NJ). Una  $p \leq 0,05$  fue considerada como estadísticamente significativa.

## 3. Resultados y discusión

### Espesor

El espesor de las películas se incrementó ( $p \leq 0,05$ ) al incrementarse la concentración de quitosano (Tabla 2). Los valores de espesor se encontraron en el rango 0,03 a 0,1 mm, valores que son similares a los reportados por Zhong y Xia (2008); ellos reportaron valores promedios de espesor de  $0,100 \pm 0,017$  mm en películas compuestas de quitosano, almidón de yuca y gelatina, utilizando glicerol como plastificante. Por otra parte, Ramos *et al.* (2012) reportaron valores de espesor en películas, formuladas a base de aislado de proteína de suero de leche, de  $0,13 \pm 0,01$  a  $0,19 \pm 0,04$  mm. Es de esperarse que los espesores de películas aumenten al aumentar la concentración de soluto, si el área de formación es contante; característica que dependerá también del soluto para formar la película y de los ingredientes adicionados para crear algún cambio, ya sea fisicoquímico o con alguna intención para la mejora del alimento que será recubierto con la película.

**Tabla 2**

Espesor, humedad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua en películas de quitosano con aceite esencial de *C. citratus*

Tratamiento	Espesor (mm)	Humedad (%)	Solubilidad (%)	PVA x 10 <sup>-8</sup> (g/h m Pa)
Q 1%	0,03 ± 0,0aA	21,37 ± 0,1aA	41,38 ± 1,6aA	1,60 ± 0,0aA
Q 1%, AE 200 ppm	0,04 ± 0,0aA	20,26 ± 1,5aB	42,76 ± 0,0aA	1,09 ± 0,0aB
Q 1%, AE 400 ppm	0,05 ± 0,0aA	15,18 ± 0,5aC	37,69 ± 0,9aB	0,80 ± 0,0aC
Q 3%	0,07 ± 0,0bA	23,31 ± 1,0aA	44,70 ± 0,0aA	1,53 ± 0,0aA
Q 3%, AE 200 ppm	0,09 ± 0,0bA	20,01 ± 1,0aB	37,10 ± 0,8aA	1,09 ± 0,0aB
Q 3%, AE 400 ppm	0,10 ± 0,0bA	16,10 ± 0,7aC	34,11 ± 0,4aB	0,91 ± 0,0aC

Letras minúsculas en la misma columna indican diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre tratamientos. Letras mayúsculas en la misma columna indican diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre concentraciones de aceite esencial en las películas.

### Humedad

El contenido de humedad en las películas disminuyó significativamente ( $p \leq 0,05$ ) al incrementar la concentración de aceite esencial de *C. citratus*. Las películas formuladas a base de quitosano al 1% presentaron porcentajes de humedad entre  $21,37 \pm 0,1$  y  $15,18 \pm 0,5\%$  y las películas formuladas a una concentración de 3% de quitosano presentaron porcentajes de humedad entre  $23,31 \pm 1,0$  a  $16,10 \pm 0,7\%$ . Wang *et al.* (2010) reportaron valores de humedad mayores del 30% en películas a base de proteína de leche. Muy probablemente, la interacción entre AE, ácido y quitosano generan una red que hace que las moléculas de agua no queden atrapadas (Peng *et al.*, 2013) en ella. Así mismo, el AE podría hacer que las moléculas de agua sean repelidas y por lo tanto liberadas de la película al formarse ésta.

### Solubilidad

La solubilidad de las películas comestibles es una característica importante ya que ésta puede ser afectada en ambientes húmedos; al ser usadas como recubrimientos, éstas podrían disolverse rápidamente y generar un sistema no apto para alimentos listos para comer. Se observa que, para ambas concentraciones de quitosano, al incrementar la concentración de AE, la solubilidad de las películas disminuye. La solubilidad de las películas formuladas con 400 ppm de aceite esencial de *C. citratus* presentó una disminución significativa ( $p \leq 0,05$ ); este comportamiento podría atribuirse a los efectos de entrecruzamiento

entre el quitosano y el AE (Peng *et al.*, 2013). Se obtuvieron porcentajes de solubilidad de  $37,69 \pm 0,9$  en películas a base de quitosano al 1% y porcentajes de solubilidad de  $34,11 \pm 0,4$  en películas formuladas con 3% de quitosano. De Moura *et al.* (2011) reportaron valores de solubilidad en un intervalo de  $92,3 \pm 1,3$  a  $97,3 \pm 1,5\%$  para películas a base de celulosa adicionadas con nanopartículas de quitosano. Por otro lado, Rawdkuen *et al.* (2012) reportaron valores de solubilidad entre  $43,96 \pm 2,57$  a  $57,51 \pm 2,04\%$  de películas a base de gelatina. Así, puede decirse que las películas de quitosano, con y sin AE, tienen una solubilidad menor en comparación con, al menos, las películas antes mencionadas. La solubilidad es importante, como ya se mencionó al principio, por el efecto que estas podrían tener al usarse como recubrimientos en alimentos listos para comer.

### Permeabilidad al vapor de agua

Una de las principales funciones de las películas comestibles es minimizar la transferencia de humedad entre el alimento y el ambiente que lo rodea. Por lo tanto, la permeabilidad al vapor de agua debe ser lo más baja con la finalidad de aumentar la vida útil del alimento (Hosseini *et al.*, 2013). Se observaron valores de permeabilidad más bajos en películas con mayor concentración de AE (400 ppm). La adición de AE mejoró las propiedades de barrera al vapor de agua en las películas de quitosano. Así, puede decirse que al incrementar la concentración de AE, menor será la TVA.



Krkic *et al.* (2012b) reportaron valores de permeabilidad al vapor de agua en películas de quitosano de  $5,12 \pm 0,14$  g/m h Pa, valores ligeramente mayores a los de este estudio. Los valores indican una baja PVA. Se observa también una diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre los tratamientos y las concentraciones del AE usado: a mayor concentración de AE, menos es la PVA. López-Mata *et al.* (2015) reportaron una disminución significativa ( $p \leq 0,05$ ) en los valores de permeabilidad al vapor de agua en películas formuladas a base de quitosano y aceite esencial de canela a una concentración de 0,25% comparado con el control; al adicionar una mayor concentración de AE de canela (0,5 y 1%) los valores no mostraron diferencia significativa ( $p \geq 0,05$ ) con respecto al control.

### Color y transparencia

En la Tabla 3 se muestra el efecto de la concentración de quitosano y aceite esencial en los parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) y transparencia de las películas. Las películas de quitosano presentaron valores altos de luminosidad ( $88,70 \pm 0,36$  a  $90,79 \pm 1,01$ ) indicando una alta claridad ( $L = 100 =$  blanco puro). No se observó un efecto significativo ( $p > 0,05$ ) en los valores de  $L^*$  al incrementar la concentración de AE o con respecto a los diferentes tratamientos. Krkic *et al.* (2012a) reportan una disminución de  $88,85 \pm 1,11$  a  $64,05 \pm 1,29$  en los valores de  $L^*$  en películas de quitosano adicionadas con aceite esencial de orégano. Con respecto a los valores de  $a^*$  (verde a rojo) se observaron valores mayores (tonos verdes por ser negativos), no significativos ( $p >$

0,05) entre ellos, en las películas hechas con 3% de quitosano. La concentración de quitosano no presentó un efecto significativo ( $p \leq 0,05$ ) en los valores de  $a^*$ . Los valores de  $b^*$  (azul a amarillo) indicaron una tendencia al color amarillo, valores positivos; sin embargo, se observaron valores mayores significativos ( $p \leq 0,05$ ) al incrementar la concentración de quitosano. Al incrementar la concentración de AE en las películas de quitosano, para una misma concentración, se observó un ligero incremento no significativo ( $p \leq 0,05$ ) en los valores de  $b^*$ . En películas de quitosano al 1% se obtuvieron valores de  $b^*$  entre  $2,46 \pm 0,04$  y  $2,66 \pm 0,1$  y en películas de quitosano al 3% se observaron valores de  $b^*$  entre  $3,71 \pm 0,06$  y  $7,60 \pm 0,5$ . La disminución en los valores de  $a^*$  y el incremento en los valores de  $b^*$  se debe muy probablemente al incremento de la concentración de quitosano y de AE. Este mismo efecto fue reportado por Krkic *et al.* (2012a) en películas a base de quitosano y aceite esencial de orégano. Los cambios de color en las películas no fueron observados a simple vista.

La transparencia es una propiedad fundamental para las películas comestibles porque afecta la apariencia del alimento. Sin embargo, al usarse como recubrimiento de alimentos, esta propiedad puede ser de menor importancia, la importancia sería la brillantez de la mezcla para recubrir. Se observaron valores significativamente mayores ( $p \leq 0,05$ ) al incrementar la concentración de quitosano (de  $0,38 \pm 0,01$  a  $0,47 \pm 0,00$ ).

**Tabla 3**

Parámetros de color y transparencia de películas de quitosano con aceite esencial de *C. citratus*

Tratamiento	$L^*$	$a^*$	$b^*$	Transparencia
Q 1%	$89,65 \pm 0,9aA$	$-1,24 \pm 0,3aA$	$2,46 \pm 0,04aA$	$0,38 \pm 0,01aA$
Q 1%, AE 200 ppm	$90,79 \pm 1,01aA$	$-1,15 \pm 0,03aA$	$2,64 \pm 0,1aA$	$0,41 \pm 0,0aA$
Q 1%, AE 400 ppm	$90,74 \pm 0,35aA$	$-1,16 \pm 0,01aA$	$2,66 \pm 0,1aA$	$0,35 \pm 0,02aA$
Q 3%	$89,23 \pm 0,17bA$	$-1,29 \pm 0,03bA$	$3,71 \pm 0,06bA$	$0,47 \pm 0,0bA$
Q 3%, AE 200 ppm	$88,70 \pm 0,36bA$	$-1,91 \pm 0,04bA$	$5,84 \pm 0,14bA$	$0,46 \pm 0,01bA$
Q 3%, AE 400 ppm	$89,63 \pm 0,26bA$	$-2,15 \pm 0,01bA$	$7,60 \pm 0,5bA$	$0,42 \pm 0,02bA$

Letras minúsculas diferentes dentro de una misma columna indican diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre tratamientos. Letras mayúsculas en una misma columna indican diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre concentraciones de aceite esencial en películas de quitosano.

Wang *et al.* (2010) reportó valores de transparencia de 0,4 para películas formuladas a base de aislado de proteína de suero de leche; sin embargo, la transparencia dependerá en gran medida de la concentración y del tipo de hidrocoloide usado para la formación de las películas.

### Propiedades mecánicas

La resistencia a la tensión y elongación son medidas que indican la flexibilidad de las películas comestibles (Kurt y Kahyaoglu, 2014). La RT es una característica de las películas que indicará el uso relacionando con el trabajo pesado, mientras que la elongación indicará la tenacidad. Un gran alargamiento indicará la capacidad de una película para absorber una gran cantidad de energía antes de romperse (Aydı *et al.*, 1991). En la Figura 1 se muestra la resistencia a la tensión de las películas de quitosano con aceite esencial de *C. citratus*. Se observa que al incrementar la concentración de quitosano hay un aumento significativo ( $p \leq 0,05$ ) en los valores de RT. Se observa también que las películas formuladas a base de quitosano al 1% son más frágiles que las películas formuladas con 3% de quitosano; sin embargo, el aceite esencial no presentó un efecto significativo en los valores de RT para una misma concentración de quitosano. Fernández-Pan *et al.* (2010) reportaron valores mayores de RT ( $64,4 \pm 4,3$  a  $86,0 \pm 3,2$  MPa) en películas de quitosano; la diferencia entre los valores obtenidos en este estudio y los reportados por estos autores podría deberse al peso molecular del quitosano, condiciones de secado de las películas, la concentración del quitosano o concentración del plastificante (Kerch y Korkhov, 2011). Por otro lado, Aydı *et al.* (1991) reportaron valores de RT en películas de proteína de trigo de 1,8 MPa y 0,4 MPa de películas a base de proteína de maíz. Es claro que la RT depende de factores tales como el hidrocoloide usado y su concentración, el plastificante y otros ingredientes que se deseen incluir en las películas para generar algún beneficio a esta.

Los valores de elongación de películas formuladas con 3% de quitosano se muestran en la Figura 2. El porcentaje de elongación para todas las películas se encuentra entre 29 y 63%. La elongación de las películas de quitosano al 1% se incrementó al incrementar la cantidad de AE y al incrementar la concentración de quitosano. Sin embargo, en las películas de quitosano al 3% la elongación disminuyó al incrementar la cantidad de AE. Valores similares de porcentaje de elongación fueron reportados por Fernández-Pan *et al.* (2010) en películas a base de quitosano. Jirukkakul (2013) reportó valores más bajos de porcentaje de elongación al adicionar aceite de ajo en películas de quitosano ( $1,39 \pm 0,29\%$ ) comparado con películas de quitosano sin aceite. Así, las películas de quitosano con aceite esencial de *C. citratus* pueden variar en elongación dependiendo de la concentración de aceite y del mismo quitosano.

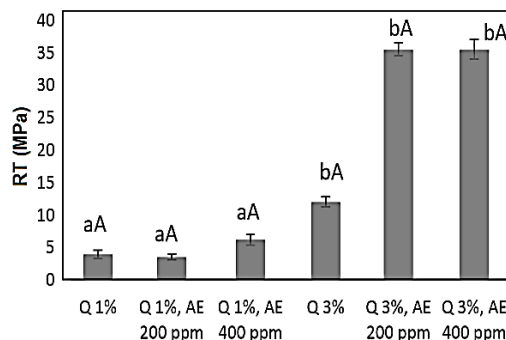


Figura 1. Resistencia a la tensión de películas de quitosano con aceite esencial de *C. citratus*.

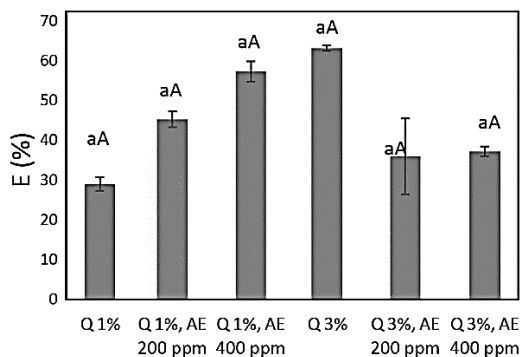


Figura 2. Elongación de películas de quitosano con aceite esencial de *C. citratus*.

#### 4. Conclusiones

El incremento en la concentración de quitosano en películas presentó un incremento en los valores de espesor. La adición de aceite esencial de *C. citratus* mostró una disminución en los valores de humedad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua. Los valores de los parámetros de color  $L^*$  (88,70 a 90,79) y  $a^*$  (-1,15 a -2,15) permanecieron prácticamente constantes sin importar la cantidad de quitosano o de AE adicionado; sin embargo, los valores de  $b^*$  (tono amarillo) se incrementaron al incrementar la cantidad de quitosano y de AE. Las concentraciones utilizadas de aceite esencial mostraron presentaron efectos diferentes en las propiedades de resistencia a la tensión y porcentaje de elongación, sobre todo a la *RT*. Es importante mencionar que una menor solubilidad al agua de las películas sería una mejor opción para considerarla para un recubrimiento de frutas u hortalizas listas para comer, en este caso, usando 400 ppm de AE. Sin embargo, también deberá considerarse la actividad de agua del alimento para evitar corrupción microbiana (alta actividad de agua) o resequeidad (baja actividad de agua).

#### Agradecimientos

María del Carmen Vázquez-Briones agradece a PRODEP (Programa para el Desarrollo Docente) por la beca otorgada para cursar los estudios de Doctorado.

#### Referencias bibliográficas

- Abdollahi, M.; Rezaei, M.; Farzi, G. 2012. Improvement of active chitosan film properties with rosemary essential oil for food packaging. *International Journal of Food Science and Technology* 47: 847–853.
- Andreuccetti, C.; Carvalho, R.; Galicia, G.T.; Martínez, B.F.; Grosso, C.R.F. 2011. Effect of surfactants on the functional properties of gelatin-based edible films. *Journal of Food Engineering* 103: 129–136.
- 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.
- Aydt, T.P.; Weller, C.; Testing, R.F. 1991. Mechanical and barrier properties of edible corn and wheat protein films. *American Society of Agricultural Engineers* 34: 207–211.
- Bassolé, I.H.N.; Lamien-Meda, A.; Bayala, B.; Obame, L.C.; Iboudo, A.J.; Franz, C.; Dicko, M.H. 2011. Chemical composition and antimicrobial activity of *Cymbopogon citratus* and *Cymbopogon giganteus* essential oils alone and in combination. *Phytomedicine* 18: 1070–1074.
- Cháfer, M.; Sánchez-González, L.; González-Martínez, Ch.; Chiralt, A. 2012. Fungal decay and shelf life of oranges coated with chitosan and bergamot, thyme, and tea tree essential oils. *Journal of Food Science* 77: E182–E18.
- Cissé, M.; Montet, D.; Loiseau, G.; Ducamp-Collin, M.N. 2012. Influence of the concentrations of chitosan and glycerol on edible film properties showed by response surface methodology. *Journal of Polymers and the Environment* 20: 830–837.
- Da Silva, M.A.; Bierhalz, A.C.K.; Kieckbusch, T.G. 2012. Modelling natamycin release from alginate/chitosan active films. *International Journal of Food Science and Technology* 47: 740–746.
- Deng, Y.; Zhu, L.W.; Luo, W.; Xiao, C.L.; Song, X.Y.; Chen, J.S. 2009. Changes in physical properties of chitosan films at subzero temperatures. *Italian Journal of Food Science* 21: 487–498.
- Duan, J.; Jiang, Y.; Zhao, Y. 2011. Chitosan-whey protein isolate composite films for encapsulation and stabilization of fish oil containing ultra pure omega-3 fatty acids. *Journal of Food Science* 76: C133–C141.
- Elgadir, M.A.; Uddin, M.S.; Ferdosh, S.; Adam, A.; Chowdhury, A.J.K.; Sarker, M.Z.I. 2015. Impact of Chitosan composites and chitosan nanoparticle composites on various drug delivery systems: A review. *Journal of Food and Drug Analysis* 23: 619–629.
- Eum, H.; Hwang, D.; Linke, M.; Lee, S.; Zude, M. 2009. Influence of edible coating on quality of plum (*Prunus salicina* Lindl. cv. 'Sapphire'). *European Food Research Technology* 229: 427–434.
- Fernández-Pan, I.; Ziani, K.; Pedroza-Islas, R.; Maté, J.I. 2010. Effect of Drying conditions on the mechanical and barrier properties of films based on chitosan. *Drying Technology* 28: 1350–1358.
- Goñi, P.; López, P.; Sánchez, C.; Gómez-Lus, R.; Becerril, R.; Nerín, C. 2009. Antimicrobial activity in the vapour phase of a combination of cinnamon and clove essential oils. *Food Chemistry* 116: 982–989.
- Hosseini, S.F.; Rezaei, M.; Zandi, M.; Ghavi, F.F. 2013. Preparation and functional properties of fish gelatin-chitosan blend edible films. *Food Chemistry* 136: 1490–1495.
- Jiang, Z.; Neetoo, H.; Chen, H. 2011. Control of *Listeria monocytogenes* on cold-smoked salmon using chitosan-based antimicrobial coatings and films. *Journal of Food Science* 76: M22–M26.
- Jirukkakul, N.A. 2013. A study of Mu Yor sausage wraps using chitosan films incorporating garlic oil, lemon grass oil and galangal oil. *International Food Research Journal* 20: 1199–1204.
- Kerch, G.; Korkhov, V. 2011. Effect of storage time and temperature on structure, mechanical and barrier properties of chitosan-based films. *European Food Research and Technology* 232: 17–22.
- Krkic, N.; Lazic, V.; Savatic, S.; Sojic, B.; Petrovic, L.; Suput, D. 2012a. Properties of chitosan-lamiated collagen film. *Food Technology and Biotechnology* 50: 483–489.
- Krkic, N.; Lazic, V.; Petrovic, L.; Gvozdenovic, J.; Pejic, D. 2012b. Application of chitosan coating with oregano essential oil on dry fermented sausage. *Journal of Food and Nutrition Research* 51: 60–68.
- Kundu, P.P.; Jindal, S.K.; Goswami, M. 2013. Characterization and in vitro and in vivo evaluation of cross-linked chitosan films as implant for controlled release of citalopram. *Bulletin of Materials Science* 36: 175–182.



- Kurt, A.; Kahyaoglu, T. 2014. Characterization of a new biodegradable edible film made from salep glucomannan. *Carbohydrate Polymers* 104: 50–58.
- Leceta, I.; Arana, P.; Guerrero, P.; Cabak. 2014. Structure-moisture sorption relation in chitosan thin films. *Materials Letters* 129: 125-127.
- Leerahawong, A.; Tanaka, M.; Okazaki, E.; Osako, K. 2011. Effects of plasticizer type and concentration on the physicochemical properties of edible film from squid *Todarodes pacificus* mantle muscle. *Fisheries Science* 77(6): 1061-1068.
- López-Mata, M.A.; Ruiz-Cruz, S.; Silva-Beltrán, N.P.; Ornelas-Paz, J.J.; Ocaño-Higuera, V.M.; Rodríguez-Félix, F.; Cira-Chávez, L.A.; Toro-Sánchez, C.L.; Shirai, K. 2015. Physicochemical and Antioxidant Properties of Chitosan Films Incorporated with Cinnamon Oil. *International Journal of Polymer Science* 2015: 1-8.
- Martelli, R.M.; Barros, T.T.; De Moura, R.M.; Maltoso, L.H.; Assis, O.B. 2013. Effect of chitosan nanoparticles and pectin content on mechanical properties and water vapor permeability of banana puree films. *Journal of Food Science* 78: N98–N103.
- Mayachiew, P.; Devahasti, S. 2008. Comparative evaluation of physical properties of edible chitosan films prepared by different drying method. *Drying Technology* 26: 176–185.
- De Moura, R.M.; Lorevice, V.M.; Mattoso, H.C.L.; Zucolotto, V. 2011. Highly stable, edible cellulose films incorporating chitosan nanoparticles. *Journal of Food Science* 76: N25-N29.
- Nguefack, J.; Dongmo, J.B.L.; Dakole, C.D.; Leth, V.; Vismar, H.F.; Torp, J.; Nkengfack, A.E. 2009. Food preservative potential of essential oils and fractions from *Cymbopogon citratus*, *Ocimum gratissimum* and *Thymus vulgaris* against mycotoxigenic fungi. *International Journal of Food Microbiology* 131: 151–156.
- Parikh, J.K.; Desai, M.A. 2011. Hydrodistillation of essential oil from *Cymbopogon flexuosus*. *International Journal of Food Engineering* 7: 1–8.
- Pelissari, F.M.; Yamashita, F.; Grossmann, M.V.E. 2011. Extrusion parameters related to starch/chitosan active films properties. *International Journal of Food Science and Technology* 46: 702–710.
- Peng, Y.; Yin, L.; Li, Y. 2013. Combined effects of lemon essential oil and surfactants on physical and structural properties of chitosan films. *International Journal of Food Science and Technology* 48: 44–50.
- Ramos, L. O.; Silva, I.S.; Soares, C.J.; Fernandes, C.J.; Poças, M.F.; Pintado, E.M.; Malcata, F.X. 2012. Features and performance of edible films, obtained from whey protein isolate formulated with antimicrobial compounds. *Food Research International* 45: 351-361.
- Rawdkuen, S.; Suthiluk, P.; Kamhangwong, K.; Benjakul, S. 2012. Mechanical, physico-chemical, and antimicrobial properties of gelatin-based film incorporated with catechin-lysozyme. *Chemistry Central Journal* 6: 2-10.
- Sánchez-García, C.; Cruz-Martín, M.; Alvarado-Capó, Y.; Pérez, M.; Medinilla, M. 2007. Evaluación del efecto del aceite esencial de *Cymbopogon nardus* para el control de microorganismos contaminantes del cultivo in vitro de plantas. *Biociencia Vegetal* 7: 187–190.
- Schaneberg, B.T.; Khan, I.A. 2002. Comparison of extraction methods for marker compounds in the essential oil of lemon grass by GC. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 1345-1349.
- Shahidi, F.; Arachchi, J.K.V.; Jeon, Y. 1999. Food applications of chitin and chitosans. *Trends in Food Science & Technology* 10: 37-51.
- Souza, V.C.; Monte, M.L.; Pinto, L.A.A. Pinto A. 2011. Preparation of biopolymer film from chitosan modified with lipid fraction. *International Journal of Food Science and Technology* 46: 1856–1862.
- Tofiño-Rivera, A.; Ortega-Cuadros, M.; Galvis-Pareja, D.E.; Jiménez-Rios, H.; Merinie, L.J.; Martínez-Pabón, M.C. 2016. Effect of *Lippia alba* and *Cymbopogon citratus* essential oils on biofilms of *Streptococcus mutans* and cytotoxicity in CHO cells. *Journal of Ethnopharmacology* 194: 749–754.
- Vázquez-Briones, M.C.; Hernández, R.L.; Guerrero-Beltrán, J.A. 2015. Physicochemical and antioxidant properties of *Cymbopogon citratus* essential oil. *Journal of Food Research* 4: 36-45.
- Wang, J.; Shang, J.; Ren, F.; Leng, X. 2010. Studio of the physical properties of whey protein: sericin protein-blended edible films. *European Food Research and Technology* 231: 109-116.
- Wannissorn, B.; Jarikasem, S.; Soontorntanasart, T. 1996. Antifungal activity of lemon grass oil and lemon grass oil cream. *Phytotherapy Research* 10: 551-554.
- Yuan, G.; Chen, X.; Li, D. 2017. Chitosan films and coatings containing essential oils: The antioxidant and antimicrobial activity, and application in food systems. *Food Research International* 89: 117-128.
- Zhong, Q.P.; Xia, W.S. 2008. Physicochemical properties of edible and preservative films from chitosan/cassava starch/gelatin blend plasticized with glycerol. *Food Technology and Biotechnology* 46: 262-269.