

# Propiedades fisicoquímicas y bioactivas de películas comestibles basadas en alginato y miel melipona

Physicochemical and bioactive properties of edible films based on alginate and melipona honey

Emir Hernández Gómez<sup>1</sup>, Tomás J. Madera-Santana<sup>2\*</sup> ✉, Patricia Quintana-Owen<sup>3</sup>, Elizabeth Ortiz Vázquez<sup>1</sup>, Jesús M. Ramón Sierra<sup>1</sup>, María de Lourdes Vargas y Vargas<sup>1\*</sup> ✉

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Mérida.

<sup>2</sup> Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Hermosillo, Sonora, 83304, México.

<sup>3</sup> Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida, 97310 Mérida, Yucatán, México.

## RESUMEN

Las películas comestibles (PCs) presentan una alternativa para incrementar la vida útil de frutas y hortalizas al servir como barrera para la transferencia de oxígeno y humedad; y al mismo tiempo, permitir la liberación de compuestos con actividad antioxidante y antimicrobiana hacia el alimento. En el presente estudio se formuló y caracterizó películas a base de alginato de sodio (A) a distintas concentraciones de miel de melipona (M). Las PCs se formularon con una concentración de 2 % de A y 6 concentraciones diferentes de M (0 hasta 1.6 % p/v) y se les evaluó las propiedades físicas, de barrera, mecánicas, ópticas, estructurales, morfológicas y bioactivas. En las propiedades físicas, las películas presentaron un incremento en el espesor y la densidad, y una disminución en el porcentaje de humedad al incrementar el contenido de miel. Las PCs mostraron un efecto plastificante observado en la mayor concentración de M reflejando un aumento de hasta 9 % en el porcentaje de elongación, una disminución en el esfuerzo a la tensión y módulo elástico de 18.36 MPa y 283.88 MPa, respectivamente. La formulación con 1.6 % de M mostró las propiedades fisicoquímicas adecuadas y propiedades plastificantes para ser usada como PCs.

**Palabras clave.** Alginato, miel, película comestible, innovación, agente plastificante.

## ABSTRACT

Edible films (EFs) present an alternative to increase the shelf life of fruits and vegetables by serving as a barrier for the transfer of oxygen and moisture; and at the same time, to allow the release of compounds with antioxidant and antimicrobial activity into the food. In the present study, films based on sodium alginate (A) were formulated and characterized at different concentrations of melipona honey (M). The EFs were formulated with a concentration of 2 % A and 6 different concentrations of M (from 0 to 1.6 % w/v) and their physical, barrier, mechanical, optical, structural, morphological, and bioactive properties were evaluated. The physical properties of the films showed an increase in thickness and density and a decrease in the percentage of moisture with increasing honey content. The EFs showed a plasticizing effect observed at the highest concentration of M, reflecting an increase of up

to 9 % in the percentage of elongation, a decrease in tensile strength, and elastic modulus of 18.36 MPa and 283.88 MPa, respectively. The formulation with 1.6 % M showed suitable physicochemical and plasticizing properties to be used as EFs.

**Keyword:** Alginate, honey, edible films, innovation, plasticizing agent.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la industria alimentaria ha sufrido cambios en términos de sostenibilidad y efectividad en el envasado de alimentos. Los envases plásticos en los alimentos son la principal causa de contaminación en el ambiente y representan el 50% de contaminación a nivel global (Ncube *et al.*, 2021). Una alternativa innovadora para hacer frente a este problema es el uso de envases y películas comestibles (PCs) biodegradables. Las PCs se basan de polímeros naturales renovables, los cuales proporcionan una capa protectora a los productos vegetales o cárnicos frescos, lo que aumenta la vida útil al retrasar el deterioro del producto; ya que actúan como barrera contra la humedad y el oxígeno. Además, representan una alternativa para sustituir a los envases plásticos; sin embargo, la efectividad de estas películas depende en gran parte de las propiedades mecánicas y de barrera que posean.

Los biopolímeros que se emplean en las PCs son polisacáridos, lípidos y proteínas; los cuales forman una matriz transparente, delgada y comestible (Salama y Aziz, 2020). Estos biopolímeros son solubilizados, vertidos en un recipiente y secados para formar una película delgada; la cual posteriormente, puede dar forma de bolsa para contener un alimento. Esta película evita la pérdida de peso de un vegetal durante el almacenamiento y además pueden contener compuestos activos (antimicrobianos y antioxidantes) para extender la conservación del alimento (Abdel y Salama, 2021a). Entre los polisacáridos, el alginato obtenido a partir de las algas pardas marinas, forman PCs y recubrimientos comestibles (RCs) fácilmente, debido a sus propiedades coloidales únicas, biodegradabilidad y bioadhesividad (Pereira *et al.*, 2011). Existen investigaciones de la aplicación del alginato en PCs y RCs de alimentos. Tapia *et al.* (2007) reportaron que películas de alginato poseen una mayor resistencia para disolverse en

\*Authors for correspondence: María de Lourdes Vargas y Vargas y Tomás J. Madera-Santana  
 e-mail: maderas@ciad.mx; maria.vy@tecnm.mx

Recibido: 26 de abril de 2023

Aceptado: 29 de noviembre de 2023

Publicado: 6 de diciembre, 2023

agua, por lo éstas tienen potencial de recubrir frutas recién cortadas con alta humedad. Las películas de alginato son insípidas, resistentes al aceite e inodoras (Theagarajan *et al.*, 2019); sin embargo, estas PCs carecen de propiedades mecánicas, de barrera, antioxidantes entre otras (Abdel *et al.*, 2018). Estas propiedades son necesarias para la proteger y conservar el alimento. No obstante, la adición de otros componentes permite mejorar sus propiedades al ser aplicados en alimentos. La incorporación de aceite esencial de ajo (*Allium sativum*) y sábila *Aloe vera* L. en películas de alginato de sodio mejoraron las propiedades térmicas y mecánicas, se redujo la permeabilidad al vapor de agua; al ser aplicado como recubrimiento en tomates se logró incrementar la vida útil (Abdel *et al.*, 2018).

Por otra parte, la miel de melipona proveniente de la península de Yucatán, México es producida por la abeja *Melipona beecheii*, y es preferida por la población a comparación de la miel de *Apis mellifera* (Castillo *et al.*, 2016). Esta miel cuenta con propiedades bioactivas, curativas, fisicoquímicas y antibacterianas; las cuales se deben a la composición típica de sus azúcares simples (glucosa y fructosa), aminoácidos, lípidos, proteínas y lactobacilos (Zarei *et al.*, 2019). En la literatura, no se halla reportado el uso de la miel melipona como agente plastificante en PCs basadas en alginato.

Por lo anterior, en este trabajo se han realizado distintas mezclas del alginato con un agente activo, como la miel, para producir PCs; contemplando que la miel de melipona pueda actuar como plastificante, agente antioxidante y antimicrobiano. El objetivo de este trabajo es desarrollar y caracterizar las propiedades fisicoquímicas y bioactivas de películas basadas en alginato y diferentes concentraciones miel melipona; las cuales, puedan emplearse eventualmente en la conservación de alimentos.

## MATERIALES Y METODOS

Se utilizó alginato de sodio (A) de medio peso molecular y aditivo grado alimenticio de la marca Deiman S.A. de C.V. (Ciudad de México) con alta tasa de solubilidad. La miel de melipona producida por la abeja *Melipona beecheii*, la cual fue colectada de un apiario rural en la población de Maní, Yucatán, México (20.3854441 14994154 N, - 89.39841 799586078 O) en el mes de marzo del 2021. Las formulaciones se elaboraron a partir de diferentes concentraciones de miel melipona (M) manteniendo constante la concentración de A, como se presentan en la Tabla 1. Las PCs se realizaron mediante la técnica de solución-vaciado en placa (casting). El A al 2 % p/v se solubilizó en agua destilada durante 4 h de agitación a 60 °C. Posteriormente, a la solución de A se adicionó la solución de M a las diferentes concentraciones, la mezcla se mantuvo en agitación durante 1 h a la misma temperatura. La solución filmogénica se vació en cajas Petri y se secaron a 60 °C durante 24 h en una estufa de convección marca Binder modelo ED115 (Tuttlingen, Alemania). Las películas formadas se retiraron de los moldes manualmente y se almacenaron en un desecador y a la obscuridad, esto es para evitar la ganancia o pérdida de humedad y que la luz natural afecte los compuestos activos presentes en la película.

**Tabla 1.** Formulaciones de las películas elaboradas.

**Table 1.** Formulations of the films prepared.

Código de película	A (% p/v)	M (% p/v)
A	2	0
AM.2	2	0.2
AM.4	2	0.4
AM.8	2	0.8
AM1.2	2	1.2
AM1.6	2	1.6

Alginato (A), miel melipona (M). Volumen de solución 100 mL.

## Caracterización de las películas

### Espesor y densidad aparente

El espesor de las películas se midió en seis puntos aleatorios, a temperatura ambiente con un micrómetro digital marca Mitutoyo modelo H2780 (Aurora, IL) con una precisión de  $\pm 0.001$  mm. Se reportó el valor promedio del espesor  $\pm$  la desviación estándar en mm. En una balanza analítica, se determinó el peso de cada película con medidas de aproximadamente  $4.0 \text{ cm}^2$  y se calculó el volumen para hallar la densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ).

### Humedad

El contenido de humedad de las películas fue determinado por gravimetría, se pesaron muestras cuadradas de  $4.0 \text{ cm}^2$  de las películas en una balanza analítica modelo Adventure, marca Ohaus Corp. (Parsippany, NJ). Posteriormente, éstas fueron colocadas en una estufa de convección a  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  por 24 h, para después ser enfriadas en un desecador y registrar su peso de nuevo. El porcentaje de humedad se calcula por diferencia de peso mediante la siguiente Ecuación 1.

$$\% \text{ humedad} = \frac{W_0 - W_f}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

Donde  $W_0$  es el peso inicial y  $W_f$  es el peso seco de las películas después del secado.

### Velocidad de transmisión de vapor de agua (VTVA)

Los ensayos de VTVA fueron realizados mediante el método ASTM E96/E96M, con modificaciones realizadas por Chan *et al.* (2021). Un recipiente conteniendo 30 mL de agua destilada, en cuya tapa se colocó la muestra de PC. El espacio de cabeza entre la muestra y el agua genera la humedad relativa (vapor de agua saturada), el recipiente cerrado se almacenó a  $27 \text{ }^\circ\text{C}$  en un desecador y se tomó el peso del recipiente cada 2 h hasta completar 12 h de registro. La VTVA se calculó de acuerdo con la siguiente Ecuación 2.

$$VTVA = \frac{b}{A} \quad (2)$$

Donde  $b$  es la pendiente de la recta ( $\text{g/h}$ ) del gráfico diferencia de peso vs tiempo y  $A$  es el área de transferencia de la película ( $\text{m}^2$ ).

## Propiedades ópticas

### Opacidad

Los valores de transmisión de luz de las películas se obtuvieron mediante los resultados de la medición de la transmitancia de las longitudes de onda seleccionadas entre 200 y 800 nm, empleando un espectrofotómetro UV-Vis modelo Cary 50 de la marca Varian, Inc. (Walnut Creek, CA). Las películas se recortaron en rectángulos de 40 x 10 mm y se colocaron en la celda del espectrofotómetro, utilizando la celda libre de cualquier sustancia como blanco de calibración. La opacidad se determinó por la medida de la absorbancia a 600 nm con espectrofotómetro UV-Vis y calculada por la Ecuación 3.

$$O = \frac{Abs_{600}}{\delta} \times 100 \quad (3)$$

Donde  $O$  es el % de opacidad,  $Abs_{600}$  es el valor de absorbancia a 600 nm,  $\delta$  es el espesor de la película (mm).

### Color

El color de los recubrimientos se determinó empleando un colorímetro X-rite, modelo SP62, marca X-Rite, Inc. (Grandville, MI), calibrado con un mosaico estándar ( $Y = 94.05333$ ,  $x = 1.1366667$ ,  $y = -4.36$ ) y una referencia del rango de opacidad (5.32 %). Evaluando las muestras experimentadas con los parámetros de color empleando la escala del CIE Lab, siendo éstos la luminosidad ( $L^*$ ), el valor de  $a^*$  (rojo-verde) y  $b^*$  (amarillo-azul); calculando la cromaticidad ( $C^*$ ) y el ángulo Hue ( $^\circ\text{Hue}$ ). Las mediciones se realizaron en 8 puntos de cada una de las muestras. La diferencia total de color ( $\Delta E$ ), se determinó tomando como referencia estándar la película control (solamente alginato, A). Los parámetros  $\Delta E$ ,  $^\circ\text{Hue}$  y  $C^*$  fueron calculados a partir de las Ecuaciones 4, 5 y 6:

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$\Delta E^* = [(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$^\circ\text{Hue} = \left[ \arctan \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \right] \quad (6)$$

Donde  $L^*$  es el valor de luminosidad,  $a^*$  valores rojo-verde,  $b^*$  valores amarillo-azul y  $L_0$ ,  $a_0$ ,  $b_0$  son valores de la película control.

### Propiedades mecánicas

La evaluación de las propiedades mecánicas se realizó de acuerdo al método ASTM D882. Las muestras fueron cortadas en rectángulos de 60 x 10 mm. Para las pruebas mecánicas a tensión se utilizó una máquina universal de pruebas mecánicas marca Instron modelo 4442 (Canton, MA). Se midió el espesor de la película empleando un micrómetro digital marca Mitutoyo modelo H2780 (Aurora, IL) con una precisión de  $\pm 0.001$  mm, en la parte central del rectángulo para calcular su área transversal. A los extremos, se le colocaron cinta adhesiva para evitar el desgarre la película entre mordazas. El ensayo a tensión se utilizó una celda de carga de

50 kg y la separación entre mordazas fue de 30 mm con una velocidad de estiramiento de 5 mm/min. La resistencia a la tensión, el porcentaje de elongación a la ruptura y el módulo de elasticidad se determinaron a partir de los datos de fuerza y desplazamiento registrados durante el ensayo de cada una las muestras. Se realizaron 5 mediciones por cada muestra. Los parámetros mecánicos registrados fueron la resistencia a la tensión (RT), porcentaje de elongación a la ruptura (% Er) y módulo de elasticidad (ME) se utilizaron las siguientes Ecuaciones 7, 8 y 9.

$$RT = \frac{F_{max}}{At} \quad (7)$$

$$\%Er = \frac{L_f - L_i}{L_i} \times 100 \quad (8)$$

$$ME = \frac{f}{At} \times \frac{1}{\epsilon} \quad (9)$$

Donde:  $F_{max}$  es la fuerza máxima a la ruptura (N),  $At$  es el área transversal de la muestra ( $\text{mm}^2$ ),  $L_f$  es la longitud final (mm),  $L_i$  es la longitud inicial (mm),  $f$  es la fuerza en (N) correspondiente al esfuerzo y  $\epsilon$  es la deformación correspondiente al esfuerzo.

### Análisis morfológico

La morfología de la superficie de los recubrimientos fue caracterizada usando un microscopio electrónico de barrido (SEM) modelo Phillips XL 30 ESEM (Hillsboro, OR). Previo al análisis, las películas se montaron en un porta muestras cilíndrico de 10 mm de diámetro con cinta adhesiva conductora de carbono de doble cara. Posteriormente, las muestras se recubrieron con una capa fina de Au-Pd usando un recubridor de plasma marca Quorum modelo QI5OR-(Sussex, UK) antes de su análisis. La morfología de la superficie se observó en muestras de 5 x 5 mm, la magnificación de 200x fue utilizada para observar la superficie de las PCs.

### Análisis estructural

Los espectros de infrarrojo de las PCs se obtuvieron de un espectrómetro de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) de la marca Thermo Scientific™ modelo Nicolet™ iS50™ utilizando la técnica ATR (Attenuated Total Reflection). Los espectros se registraron en el intervalo de 4000 a 600  $\text{cm}^{-1}$  a una resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$ , una velocidad de exploración de 0.675  $\text{cm}^{-1}/\text{s}$  y después de 100 barridos.

### Propiedades bioactivas

#### Contenido fenoles totales

Mediante la técnica de Folin-Ciocalteu se determinó el contenido de fenoles totales, propiedad basada en la reacción de los o-fenoles en presencia de agentes oxidantes (Cruzado *et al.*, 2013). Un g de cada recubrimiento se colocó en tubos de ensayo y se le añadieron 9 mL de agua destilada, después 2 h se le agregó nuevamente 4 mL de agua destilada. Posteriormente, las muestras se introdujeron en un sonicador modelo UP200st de la marca Hielscher USA, Inc. (Wanaque, NJ) a 31

°C durante 30 min. Las muestras se leyeron a una longitud de onda de 765 nm, para la obtención de los resultados se realizó una curva de calibración en un rango de concentración de 0 a 0.5 mg/mL, usando ácido gálico como estándar. El resultado es expresado como mg equivalentes de ácido gálico en 100 g de muestra (mg EAG/100 g de muestra).

### Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de las PCs formuladas se realizó mediante el método del ABTS (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolona)-6 sulfonato de amonio) descrito por Re *et al.* (1999). Los resultados se expresaron como % de inhibición de radicales libres mediante la Ecuación 10.

$$\% \text{ inhibición} = \frac{ABTS_0 - ABTS_f}{ABTS_0} \times 100 \quad (10)$$

Donde  $ABTS_0$  es la absorbancia a 734 nm y  $ABTS_f$  es la absorbancia a 734 nm después de 7 min.

### Análisis estadístico

Los resultados de los análisis físicos, mecánicos, ópticos, de barrera y bioactivas se realizaron por triplicado y se sometieron al análisis de varianza de una vía (ANOVA), mediante la comparación de medias por la prueba de Tukey-Kramer empleando un nivel de significancia ( $\alpha$ ) del 5 %. se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHIC Centurión (The Plains, VA). Los resultados se presentan como el valor promedio  $\pm$  la desviación estándar.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Espesor y densidad

El espesor es un parámetro para considerar ya que de éste dependerá que se forme adecuadamente la PC o el RC sobre el alimento. Los espesores de las películas formuladas presentaron diferencias significativas entre las concentraciones ( $p \leq 0.05$ ), el rango de espesor fue de 0.03 a 0.07 mm (Tabla 2). Las PCs que contienen miel presentaron un incremento en el espesor, siendo las formulaciones AM1.2 y AM1.6 las que obtuvieron un valor mayor de espesor. Esto se atribuye a la existencia de una relación entre el grosor y la cantidad

**Tabla 2.** Valores de espesor, densidad, contenido de humedad y opacidad de las PC formuladas\*.

**Table 2.** Thickness, density, moisture content, and opacity values of the formulated EFs\*.

Muestra	Espesor (mm)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Opacidad (mm <sup>-1</sup> )
A	0.03±0 <sup>a</sup>	0.14±0.03 <sup>a</sup>	40.98±7.85 <sup>a</sup>	1.53±0.03 <sup>a</sup>
AM.2	0.02±0 <sup>b</sup>	0.28±0.07 <sup>b</sup>	19.18±6.64 <sup>b</sup>	1.73±0.03 <sup>b</sup>
AM.4	0.03±0.01 <sup>ca</sup>	0.34±0.03 <sup>c</sup>	13.27±4.41 <sup>c</sup>	1.37±0.02 <sup>c</sup>
AM.8	0.04±0 <sup>d</sup>	0.31±0.08 <sup>d</sup>	13.56±3.03 <sup>cd</sup>	1.47±0.02 <sup>acd</sup>
AM1.2	0.07±0.02 <sup>e</sup>	0.21±0.09 <sup>e</sup>	13.07±2.01 <sup>cde</sup>	1.02±0 <sup>e</sup>
AM1.6	0.07±0 <sup>fe</sup>	0.29±0.06 <sup>f</sup>	14.58±2.27 <sup>df</sup>	1.11±0 <sup>ef</sup>

\* Valor promedio  $\pm$  desviación estándar. Literales diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

de solutos incorporados en la película. El espesor de una película es un factor importante en el intercambio de agua y gases con el ambiente, a mayor grosor menor será la tasa de difusión (García *et al.*, 2019). Chen *et al.* (2018) reportaron una relación directa entre espesor y sólidos en recubrimientos a base de quitosano-zeína producidos por plasma frío. Joshi *et al.* (2014) mencionan que la variación de espesores de las películas puede ser muy amplio, ya que depende tanto de las condiciones del procesamiento como de la composición.

En cuanto a la densidad de las PCs, los resultados presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), encontrándose la misma relación que en el espesor, siendo la PC de A la que presentó una menor densidad, a diferencia de las PCs de AM.4 y AM.8, las cuales presentaron valores de densidad mayores en función del contenido de sólidos presentes en la miel. Dhanapal *et al.* (2012) comentaron que, para asegurar la estabilidad de las películas, se requiere tener una apropiada densidad con el fin de que se mantenga la integridad estructural al recubrir el alimento.

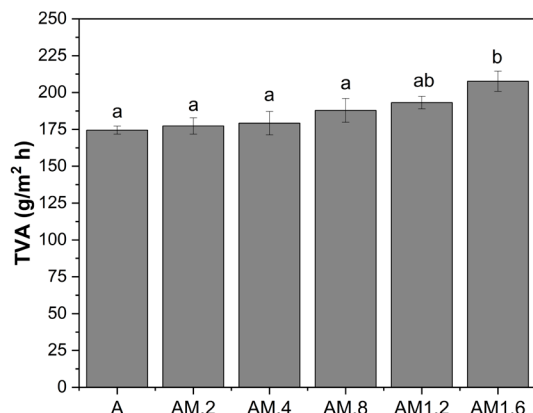
### Humedad

El contenido de humedad de las PCs disminuyó al añadirse la miel a la matriz de alginato, esto se refleja en las interacciones entre el alginato y la miel. La disminución del contenido de humedad de las PCs se debe a que la miel en el alginato promueve una disminución de la disponibilidad de grupos hidroxilo (-OH) y C-H, limitando las interacciones (alginato-agua) a través de enlaces de hidrógeno (Ore *et al.*, 2020). Rodríguez *et al.* (2014) reportaron este comportamiento en películas basadas de quitosano y alcohol polivinílico (PVA), indicaron la formación de enlaces de hidrógeno entre el plastificante y las moléculas de agua, las cuales disminuyen la capacidad de retener agua por la película.

### Tasa de transmisión al vapor de agua

La transmisión al vapor de agua (TVA) es de los parámetros de mayor importancia en la caracterización de las PCs, tiene como objetivo optimizar el ambiente de los productos alimenticios e incrementar la vida útil. En cuanto a la tasa de TVA de las películas formuladas, en la Figura 1 se observa que los valores significativamente mayores ( $p < 0.05$ ) corresponden a las formulaciones AM1.2 y AM1.6; mientras que las películas A y AM.2 presentaron los valores menores de TVA. Estos resultados presentan una relación directa con el espesor y el contenido de miel. Al incrementar el espesor de la PC, hay un aumento en la resistencia para la transferencia de masa de la presión parcial del vapor de agua de equilibrio en la superficie inferior de la PC; es decir aumenta la propiedad de barrera del vapor de agua de la película. Algunos autores han reportado un efecto contrario en el cambio del espesor y atribuyen que el incremento de la TVA se debe a los cambios en la estructura de la película debido al hinchamiento producido por el vapor de agua (Ramos *et al.*, 2018). Por otra parte, la miel es altamente hidrofílica y presenta determinada compatibilidad con el alginato, debido a que aumenta la capacidad de absorción de molécula polares como el agua,





**Figura 1.** Valores de TVA de los PCs a diferentes concentraciones de miel. Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa entre las formulaciones ( $p < 0.05$ ).

**Figure 1.** WVTR values of EFs at different honey concentrations. Different letters in each column indicate significant differences between formulations ( $p < 0.05$ ).

incrementando la permeabilidad al vapor de agua. Además, este componente actúa como plastificante, disminuye las fuerzas intermoleculares en las cadenas del alginato, dando una mayor movilidad y el espacio molecular entre las cadenas, aumentando su permeabilidad al agua.

### Opacidad

La opacidad es una propiedad de calidad de gran importancia, particularmente cuando se emplea una película o un recubrimiento sobre un alimento, debido a que éstas actúan como un catalizador para evitar la oxidación y degradación de sus diversos compuestos nutricionales. La adición de diferentes componentes en las PC o RC tienden a absorber luz ultravioleta y visible, y actúan como una barrera a estas zonas del espectro electromagnético (Solano *et al.*, 2018). La opacidad de las PCs analizadas presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) como se muestran en la Tabla 2; sin embargo, la película AM.2 mostró el mayor % de opacidad a comparación de las demás. Lo cual podría atribuirse a que presentó una mayor interacción con la región de UV-Vis de esta formulación en particular. Por otro lado, se observa que al incrementar el contenido de miel se observa una disminución en el valor de opacidad, esto podría indicar que la región de la absorbancia de 600 nm (color amarillo-naranja) no interacciona en las PCs con mayor contenido de miel (AM1.2 y AM1.6). Rojas & Tim (2016) mencionan que el aumento de la opacidad puede ser efecto de una biodegradación térmica, debido a la reducción del factor de luminosidad, lo cual indica que la muestra, al ser expuesta a una ligera degradación térmica reduce su luminosidad y aumenta su opacidad.

### Color

Uno de los parámetros importantes para determinar cambios en las PCs, es el color (Nouraddini *et al.*, 2018). En la escala

CIELab ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), parámetros cuantitativos del color de un material que visualmente no se puede diferenciar; es por ello, que es ampliamente utilizada para determinar el color de una película o material (Bodor *et al.*, 2021). El efecto de las distintas concentraciones de miel en las PCs se presenta en la Tabla 3. Mediante los parámetros de color, se determinó la diferencia de color ( $\Delta E$ ), el ángulo ( $^{\circ}$ Hue) y la cromaticidad ( $C^*$ ); las cuales presentaron variación en sus valores en función de las diferentes concentraciones de miel.

En la Tabla 3 se presentan los valores de  $L^*$  de las muestras. Se puede observar una tendencia a disminuir el valor de  $L^*$  al incrementar el contenido de miel en las PCs. Sin embargo, las películas AM.4 y AM.8 muestran lo contrario, aunque estos valores no presentan diferencia significativa con la película de A (control) ( $p > 0.05$ ). García *et al.* (2019) mencionan que los valores promedio de la luminosidad en distintas PCs presentan una tendencia similar al aumentar su grosor, disminuyendo su luminosidad.

En cuanto a la diferencia de color ( $\Delta E$ ) cuyos valores se muestran en la Tabla 3, la PC de A fue la que se empleó con los parámetros de color iniciales ( $L_0^*$ ,  $a_0^*$ ,  $b_0^*$ ). La PC que presentó la mayor diferencia de color fue la AM1.6 ( $p < 0.05$ ), debido a su mayor concentración de miel. En tanto la que presentó menor diferencia de color fue la AM.2 ( $p < 0.05$ ), indicando que el aumento de color va a estar influenciado directamente por el incremento en la concentración de miel en una matriz de alginato. Abdel y Salama (2021b) reportaron resultados similares utilizando alginato con la adición de sábila *Aloe vera* y aceite de ajo, obteniendo películas amarillentas y oscuras registrando un aumento de los valores del parámetro  $b^*$  y la disminución de  $L^*$ ; no obstante, la transparencia de la película no se vio afectada significativamente. Es importante señalar, de que el color que presentan las PCs influirá en la conservación de las características organolépticas visuales del producto y en la aceptación del consumidor.

El  $^{\circ}$ Hue representa el matiz o el grado de la tonalidad de un color, como se describen los colores (rojo-verde, azul-amarillo) en la esfera de color de CIELab (Fairchild, 2005). Los resultados del  $^{\circ}$ Hue de las PCs que se presentan en la Tabla 3, presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las formulaciones. La PC A presentó un mayor valor del  $^{\circ}$ Hue, en contraste, la PC con mayor concentración de miel (AM1.6)

**Tabla 3.** Propiedades ópticas de las PC formuladas\*.

**Table 3.** Optical properties of formulated EFs\*.

Muestra	$L^*$	$\Delta E^*$	$^{\circ}$ Hue	$C^*$
A	59.55 ± 3.93 <sup>a</sup>		-48.18 ± 4.77 <sup>a</sup>	4.54 ± 0.29 <sup>a</sup>
AM.2	55.49 ± 3.01 <sup>b</sup>	3.53 ± 0.82 <sup>a</sup>	-44.25 ± 3.25 <sup>b</sup>	5.04 ± 0.43 <sup>b</sup>
AM.4	59.67 ± 0.41 <sup>ca</sup>	4.56 ± 0.32 <sup>b</sup>	-51.3 ± 14.24 <sup>ac</sup>	4.23 ± 0.21 <sup>c</sup>
AM.8	61.07 ± 0.80 <sup>acd</sup>	5.85 ± 0.76 <sup>c</sup>	-75.37 ± 6.67 <sup>d</sup>	4.97 ± 0.79 <sup>abd</sup>
AM1.2	51.93 ± 1.22 <sup>e</sup>	5.96 ± 0.84 <sup>cd</sup>	-81.09 ± 2.63 <sup>de</sup>	8.41 ± 0.52 <sup>e</sup>
AM1.6	54.50 ± 1.61 <sup>ef</sup>	7.53 ± 0.58 <sup>e</sup>	-88.68 ± 1.33 <sup>f</sup>	10.8 ± 0.57 <sup>f</sup>

\* Valor promedio ± desviación estándar. Letras diferentes en la columna indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

presentó menor valor, siendo un valor negativo, debido a que uno de los parámetros  $a^*$  o  $b^*$  lo son. Sin embargo, se pudo observar que mayor concentración de miel, las PCs mantienen la tonalidad amarilla. Este mismo efecto, se refleja observando el valor de cromaticidad ( $C^*$ ), el cual representa el grado de saturación específica. La adición de una mayor concentración de miel conduce al incremento del grado de saturación de las PCs, la cual es significativamente diferente en las formulaciones AM1.2 y AM1.6 ( $p < 0.05$ ), notándose en estas una ligera tonalidad oscura.

### Pruebas mecánicas

En la Tabla 4, se presentan los resultados de los parámetros mecánicos a tensión de las PCs formuladas. Los resultados señalan que la presencia de la miel en las PCs presenta un efecto plastificante, como lo revelan los parámetros mecánicos a tensión (esfuerzo máximo, elongación a la ruptura y módulo elástico). La PC de A presentó el mayor valor promedio de esfuerzo máximo, la adición de miel a las diferentes concentraciones ocasionó una disminución gradual en los valores de este parámetro, como se observa en las formulaciones AM1.2 y AM1.6, las cuales fueron significativamente inferiores ( $p < 0.05$ ). La adición de hasta un 1.6 % de miel (AM1.6) en las PCs formuladas exhibieron características de plastificación en la matriz de alginato. Rocha *et al.* (2021) reportaron resultados similares, en un sistema basado en óxido de grafeno reducido, agar y miel melipona, reportando una resistencia a la tensión de 18.10 MPa, elongación a la ruptura de 21.49 % y módulo elástico de 368.13 MPa; estos autores concluyeron que la miel de melipona muestra un comportamiento plastificante en películas de agar y óxido de grafeno reducido. Con respecto a la elongación a la ruptura de las PCs formuladas, la PC A (sin miel) presentó un valor menor en comparación con la PC AM1.6, la cual fue significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) con respecto a las PCs formuladas. Lo anterior, nos indica que la miel le imparte a la película la característica de agente plastificante, capaz de interpenetrar a través de las cadenas del biopolímero, disminuyendo las fuerzas intermoleculares y aumentando la flexibilidad de éstas (Rodríguez *et al.*, 2014). En el módulo elástico (ME), parámetro relacionado con la rigidez del material a bajas deformaciones, se observa que

las películas presentan una tendencia decreciente conforme la concentración de miel se incrementa, presentando diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Una tendencia similar ha sido reportada por Cazón *et al.* (2020) para películas de celulosa combinadas con glicerol y alcohol polivinílico con valores de ME de 227.8 MPa. La rigidez de las PCs formuladas presentó una disminución gradual conforme la concentración de miel se incrementa. Por lo anterior, los resultados manifestaron un efecto plastificante sobre las películas de alginato a partir del 0.2 %, aunque es más significativo con 1.6 % de miel debido a que se mejora la movilidad en las cadenas del polímero, disminuyendo su esfuerzo máximo y módulo elástico, así como el aumento a la elongación a la ruptura.

### Análisis morfológico

La morfología de la superficie de las películas realizada mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) se presentan en la Figura 2. Las micrografías a 200X correspondientes a las PCs A y AM.2; se observan en ambas imágenes una superficie porosa, rugosa con ligeras ondulaciones. A comparación de las micrografías de las PCs AM.4, AM.8 y AM1.2; en estas se observa una reducción en la porosidad debido a que contienen una mayor concentración de miel, y presentaron una mejor dispersión de este componente en la matriz de alginato. Lo anterior favorece que la superficie de las películas se observe una mejor homogeneidad a nivel de microdominios, ya que no se observaron evidencias de separación de fases, así como mayor cohesión de los componentes, redundando en las interacciones entre el alginato y la miel. Acevedo *et al.* (2018) evaluó las propiedades de las películas de alginato de sodio adicionadas con aceite esencial de tomillo, observando que estos aceites en función de su concentración lograban desaparecer las rugosidades del recubrimiento conservando una superficie más lisa, resultado similar se observa en las PCs AM1.6, la cual; presentó una superficie más lisa, de textura suave y elástica.

### Espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier

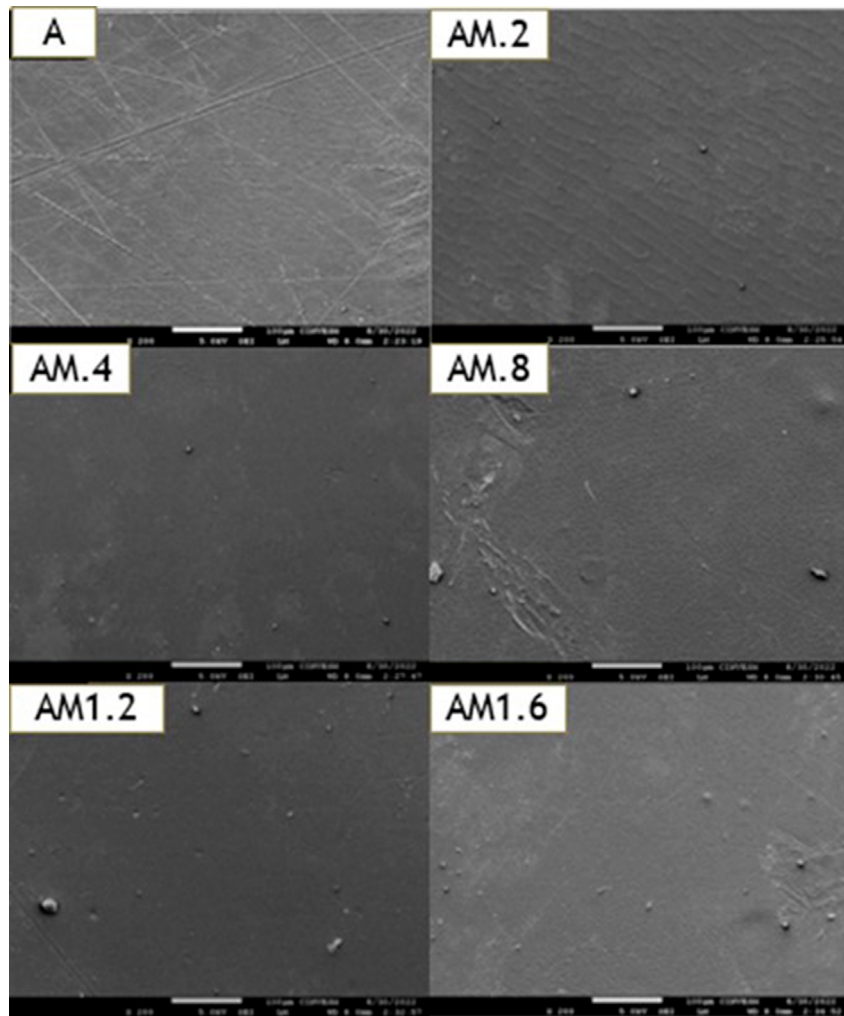
Los espectros de IR permitieron identificar los cambios en los grupos funcionales de las películas formuladas. Los espectros de las PCs formuladas se presentan en la Figura 3. Los grupos funcionales principales del alginato correspondientes a la película A presentaron las bandas características de grupos hidroxilos (-OH) a 3300  $\text{cm}^{-1}$ , a 2930  $\text{cm}^{-1}$  de enlaces carbono hidrógeno (C-H) y grupos carboxílicos (-COO) a 1600  $\text{cm}^{-1}$ . Así como las señales características de vibraciones del estiramiento de C-C-H, O-C-H y C-O-C entre 1300 a 1000  $\text{cm}^{-1}$ , asociados a la piranosa como ha reportado Ore *et al.* (2020). Sin embargo, en las películas AM1.2 y AM1.6 se observa un aumento de la intensidad de la señal a 3300  $\text{cm}^{-1}$  correspondiente al grupo funcional hidroxilo (-OH) (Sun *et al.*, 2021), debido a la alta concentración de -OH en la glucosa y fructosa presente en la miel (Svečnjak *et al.*, 2017). Así mismo, se puede visualizar un aumento de las intensidades de la señal de absorción de las bandas predominantes del alginato 1600 y 1410  $\text{cm}^{-1}$  atribuido a vibraciones simétrica y asimétrica

**Tabla 4.** Propiedades mecánicas de las PCs formuladas\*.

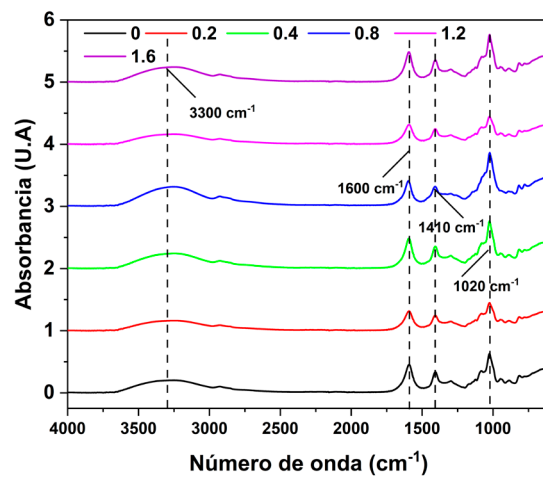
**Table 4.** Mechanical properties of formulated EFs\*.

Muestra	Esfuerzo máximo (MPa)	Elongación a la ruptura (%)	Módulo elástico (MPa)
A	96.63±10.82 <sup>a</sup>	5.94±0.6 <sup>a</sup>	3173.3±187.34 <sup>a</sup>
AM.2	51.49±19.76 <sup>b</sup>	3.95±0.29 <sup>b</sup>	2167.63±315.48 <sup>b</sup>
AM.4	85.27±9.65 <sup>c</sup>	3.56±0.31 <sup>ca</sup>	3174±686.45 <sup>ca</sup>
AM.8	73.79±7.19 <sup>d</sup>	2.05±0.59 <sup>d</sup>	5075±819 <sup>d</sup>
AM1.2	35.67±6.27 <sup>e</sup>	2±0.55 <sup>ed</sup>	2036.63±148.9 <sup>e</sup>
AM1.6	18.36±1 <sup>f</sup>	9±2 <sup>f</sup>	283.88±40 <sup>f</sup>

\* Valor promedio ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).



**Figura 2.** Morfología de la superficie de las PCs formuladas a la magnificación de 200X.  
**Figure 2.** Surface morphology of formulated EFs at 200X magnification.



**Figura 3.** Espectros de infrarrojo de las PCs formuladas: (0) A, (0.2) AM.2, (0.4) AM.4, (0.8) AM.8, (1.2) AM1.2 y (1.6) AM1.6V.

**Figure 3.** Infrared spectra of formulated EFs: (0) A, (0.2) AM.2, (0.4) AM.4, (0.8) AM.8, (1.2) AM1.2 y (1.6) AM1.6.

del grupo carboxilo (-COO) (Sun *et al.*, 2017; 2019). lo que conlleva a que la adición de miel hasta un 1.6 % no afecta la química estructural de las películas basadas en alginato de sodio.

### Propiedades bioactivas

El contenido de fenoles totales (FT) de los recubrimientos formulados se presenta en la Tabla 5. La película de alginato (A) presentó el menor valor de contenido de FT, siendo este valor muy similar al reportado por Santos *et al.* (2021) para el alginato. Las películas formuladas mostraron un aumento significativo ( $p < 0.05$ ) en el contenido de FT, siendo las formulaciones AM1.2 y AM1.6 las que presentaron valores significativamente mayores ( $p < 0.05$ ); esto se debe a la retención de compuestos fenólicos relacionados con el aumento de la concentración de miel presentes en las películas (Yousuf y Srivastava, 2019). Así mismo, se ha reportado la presencia de polifenoles en la miel indicando la capacidad de atrapar radicales libres causantes del estrés oxidativo, reduciendo la probabilidad de padecer enfermedades crónicas (Hossen *et al.*, 2017). Por lo anterior, varios compuestos presentes en las PCs formuladas podrían desempeñar un papel muy importante para el tratamiento de diversas enfermedades.

**Tabla 5.** Valores del contenido de fenoles totales (FT) y actividad antioxidante (ABTS) de las PCs formuladas\*.

**Table 5.** Total phenol content (TP) and antioxidant activity (ABTS) values of the formulated EFs\*.

Muestra	FT (mg EAG/100 g)	ABTS (% inhibición)
A	55.06 ± 0.94 <sup>a</sup>	7.02 ± 0.21 <sup>a</sup>
AM.2	106.34 ± 2.35 <sup>b</sup>	9.21 ± 0.28 <sup>b</sup>
AM.4	117.16 ± 1.88 <sup>c</sup>	10.07 ± 0.42 <sup>bc</sup>
AM.8	146.33 ± 2.82 <sup>d</sup>	13.75 ± 0.28 <sup>d</sup>
AM1.2	151.98 ± 0.94 <sup>e</sup>	14.96 ± 0.21 <sup>de</sup>
AM1.6	165.62 ± 3.29 <sup>f</sup>	16.31 ± 0.28 <sup>f</sup>

\* Valor promedio ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

Las PCs formuladas presentaron una relación directa entre el contenido de FT y la capacidad antioxidante de compuestos captadores de radicales libres (Tabla 5). Las PCs con menor concentración de miel A y AM.2 son las que presentaron menor capacidad de inhibición del radical libre ABTS, valores similares fueron reportados por Benslima *et al.* (2021). Se ha reportado que la miel tiene la capacidad de actuar como antioxidante inhibiendo la formación de radicales libres (Rodríguez *et al.*, 2007). Es por ello, que las PCs con mayor contenido de miel presentaron mayor inhibición del radical libre ABTS, actuando como secuestradores de radicales libres y donadores de hidrógenos (Gheldof *et al.*, 2002), los cuales crean un sistema antioxidante único en la miel mejorando el sistema de defensa en un alimento evitando su deterioro aumentando su tiempo de vida útil.

## CONCLUSIONES

El uso de la técnica de solución-vaciado en placa permitió la elaboración de PCs basadas en alginato y diferentes concentraciones de miel melipona. Las PCs fabricadas fueron homogéneas y uniformes en color, con una ligera tonalidad amarilla. La caracterización de las PCs formuladas presentaron diferencias en sus propiedades tanto el espesor, densidad, humedad, ópticas, estructurales, de barrera, morfológicas, contenido de polifenoles y actividad antioxidante, en función del contenido de miel presente. Sin embargo, el estudio de la evaluación de las propiedades mecánicas se observó que la miel presentó características de agente plastificante; lo cual, significó una mejora en la flexibilidad de la PC, para ser empleada como envase en alimentos. Por otro lado, las películas elaboradas que contienen miel melipona han presentado propiedades bioactivas, de aquí que la miel melipona sea considerada como agente funcional plastificante, representan una alternativa en el desarrollo de recubrimientos alimenticios bioactivos que permitan conservar la calidad de los alimentos.

## AGRADECIMIENTOS

El análisis de morfología (SEM-EDS) y de espectroscopia de infrarrojo (FTIR) fueron realizados en el Laboratorio Nacional LANNBIO del Cinvestav Mérida, con el apoyo de los proyectos FOMIX-Yucatán 2008-108160, CONAHCYT LAB-2009-01-123913, 292692, 294643, 188345 y 204822. A los Dres. Patricia Quintana Owen, William Santiago González y Víctor Rejón M. por el apoyo recibido para la caracterización de los materiales.

## CONFLICTO DE INTERES

Los autores declaran no tienen ningún conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- Abdel, M., Salama, H. y Saad, G. 2018. Diglycidyl ether of bisphenol A/chitosan-graft-polyaniline composites with electromagnetic interference shielding properties: Synthesis, characterization, and curing kinetics. *Polymers Engineering & Science*. 59: 1-10. doi: 10.1002/pen.24933
- Abdel, M. y Salama, H. 2021a. Biocompatible and antimicrobial carboxymethyl xanthan/zinc physical hydrogels. *Polymer Bulletin*. 79: 3219-3231. doi: 10.1007/s00289-021-03668-z
- Abdel, M. y Salama, H. 2021b. Developing multifunctional edible coatings based on alginate for active food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*. 190: 837-844. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.09.031
- Acevedo, A., Soliva, R. y Martín, O. 2018. Photo-protection and controlled release of folic acid using edible alginate/chitosan nanolaminates. *Journal of Food Engineering*. 229: 72-82. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.03.024>
- Benslima, A., Sellimi, S., Hamdi, M., Nasri, R., Jridi, M., Cot, D., Zouari, N., Li, S. y Nasri, M. 2021. The brown seaweed *Cystoseira schiffneri* as a source of sodium alginate: Chemical and structural characterization, and antioxidant activities. *Food Bioscience*. 40: 1-10. doi: 10.1016/j.fbio.2020.100873



- Bodor, Z., Benedek, C., Urbin, Á., Szabó, D. y Sipos, L. 2021. Colour of honey: ¿can we trust the Pfund scale? An alternative graphical tool covering the whole visible spectra. *Food science and technology*. F149:1-9. doi: 10.1016/j.lwt.2021.111859
- Castillo, A., Moguel, Y., Cortés, M., Espinosa, E., Arechavaleta, M. y Mora, M. 2016. Composición botánica de mieles de la península de Yucatán, mediante qPCR y análisis de curvas de disociación. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 7: 489-505
- Cazón, P., Velázquez, G. y Vázquez, M. 2020. Regenerated cellulose films combined with glycerol and polyvinyl alcohol: Effect of moisture content on the physical properties. *Food Hydrocolloids*, 103: 1-39. 105657. doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105657
- Chan, D., Toledo, V., Vargas, M., Rincón, S., Rodríguez, A. y Madera, T. 2021. Preparation and characterization of chitosan-based bioactive films incorporating *Moringa oleifera* leaves extract. *Journal of Food Measurement and Characterization* 15: 4813-4824. doi: 10.1007/s11694-021-01055-w
- Chen, G., Ali, F., Dong, S., Yin, Z., Li, S. y Chen, Y. 2018. Preparation, characterization and functional evaluation of chitosan-based films with zein coatings produced by cold plasma. *Carbohydrate Polymers*. 202: 39-46. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.08.122
- Cruzado, M., Pastor, A., Castro, N. y Cedrón, J. 2013. Determinación de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de extractos de alcachofa (*Cynara scolymus* L.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 79: 57-63.
- Dhanapal, A., Rajamani, L. y Banu, M.S. 2012. Edible films from Polysaccharides. *Food Science and Quality Management*. 3: 9-17.
- Fairchild, M. 2005. Color appearance models. In: Munsell laboratory Rochester Institute of Technology, USA, Editorial John Wiley & Sons, Ltd. 166-180.
- García, A., Ayala, A. y Sánchez, M. 2019. Efecto de recubrimientos comestibles de Aloe vera y alginato de sodio sobre la calidad poscosecha de fresa. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*. 22: 1-8.
- Ghelfod, N., Wang, X. y Engeseth, N. 2002. Identification and quantification of antioxidant components of honeys from various floral sources. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50: 5870-5877. doi: 10.1021/jf0256135
- Hossen, M.S., Ali, M.Y., Jahurul, M.H.A., Abdel-Daim, M.M., Gan, S.H. y Khalil, M.I. 2017. Beneficial roles of honey polyphenols against some human degenerative diseases: a review. *Pharmacological Reports*. 69: 1194-1205. doi: 10.1016/j.pharep.2017.07.002
- Joshi, D., Goyal, A. y Rath, G. 2014. Advanced drug delivery approaches against periodontitis. *Drug Delivery*. 23: 363-377. doi: 10.3109/10717544.2014.935531
- Ncube, L., Ude, A., Ogunmuyiwa, E., Zulkifli, R. y Beas, I. 2021. An overview of plastic waste generation and management in food packaging industries. *Recycling*. 6: 1-25. doi: 10.3390/recycling6010012
- Nouraddini, M., Esmaili, M. y Mohtarami, F. 2018. Development and characterization of edible films based on eggplant and corn starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120: 1639-1645. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.09.126
- Ore, Y., Renzo, E. y Valderrama, A. 2020. Extracción y caracterización del alginato de sodio de la macroalga *Macrocystis pyrifera*. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(3):276-287.
- Pereira, R., Tojeira, A., Vaz, D., Mendes, A., y Bartolo, P. 2011. Preparation and characterization of films based on alginate and aloe vera. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*. 16: 449-464. doi: 10.1080/1023666X.2011.599923
- Ramos, M., Romero, C. y Bautista, S. 2018. Almidón modificado: propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 19 (1): 30-44.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., y Rice E. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical action decolonization assay free Radical. *Biology and Medicine*, 26; 1231-1337, 1.
- Rocha, J., Azamar, B., Ortiz, E., Quintana, P. Freile, Y., Gamboa, F. y Madera, T. 2021. Development and physical characterization of novel bio-nanocomposite films based on reduced graphene oxide, agar and melipona honey. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*. 2:1-9. doi: 10.1016/j.carpta.2021.100133
- Rodríguez, J., Madera, T., Sánchez, D., López, J. y Soto, H. 2014. Chitosan/hydrophilic plasticizer-based films: preparation, physicochemical and antimicrobial properties. *Journal of Polymers and the Environment*. 22: 41-51. doi: 10.1007/s10924-013-0621-z
- Rodríguez, M., Antonio, J., Pérez, P., Elizabeth, M. y Vit, P. 2007. Capacidad antioxidante de mieles venezolanas de los géneros *Apis*, *Melipona* y *Tetragonisca*, evaluada por tres métodos. *Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, 38(2):13-18.
- Rojas, G. y Tim, O. 2016. Determinación de la degradación térmica de polímeros por análisis de cambio de color. *Ingeniería*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas Bogotá, Colombia. 21: 19-30.
- Salama, H. y Aziz, M. 2020. Novel biocompatible and antimicrobial supramolecular O-carboxymethyl chitosan biguanidine/zinc physical hydrogels. *International Journal of Biological Macromolecules*. 163: 649-656. doi:10.1016/j.ijbiomac.2020.07.029
- Santos, L., Silva, G., Gomes, B. y Martins, V. 2021. A novel sodium alginate active films functionalized with purple onion peel extract (*Allium cepa*). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 35, 102096. doi:10.1016/j.bcab.2021.102096
- Solano, L., Alamilla, L. y Jiménez, C. 2018. Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 21: 30-42. doi: 10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153
- Sun, L., Sun, J., Chen, L., Niu, P., Yang, X. y Guo, Y. 2017. Preparation and characterization of chitosan film incorporated with thinned young apple polyphenols as an active packaging material. *Carbohydrate Polymers*. 163: 81-91. doi: 10.1016/j.carbpol.2017.01.016
- Sun, X., Jia, P., Zhe, T., Bu, T., Liu, Y., Wang, Q. y Wang, L. 2019. Construction and multifunctionalization of chitosan-based three-phase nano-delivery system. *Food Hydrocolloids*. 96: 402-411. doi: 10.1016/j.foodhyd.2019.05.040
- Sun, X., Zhang, H., Wang, J., Dong, M., Jia, P., Bu, T. y Wang, L. 2021. Sodium alginate-based nanocomposite films with

- strong antioxidant and antibacterial properties enhanced by polyphenol-rich kiwi peel extracts bio-reduced silver nanoparticles. *Food Packaging and Shelf Life*. 29: 1-12. 100741. doi: 10.1016/j.fpsl.2021.100741
- Svečnjak, L., Prđun, S., Rogina, J., Bubalo, D. y Jerković, I. 2017. Characterization of Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) nectar - to - honey transformation pathway using FTIR-ATR spectroscopy. *Food Chemistry*. 232: 286-294. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.03.159
- Tapia, M., Rojas, M., Rodríguez, F., Ramírez, J., Carmona, A. y Martín, O. 2007. Alginate- and gellan-based edible films for probiotic coatings on fresh-cut fruits. *Journal Food Science*. 72: 190-196.
- Theagarajan, R., Dutta S., Moses J.A. y Anandharamakrishnan C. 2019. Alginates for food packaging applications. En: *Alginates: Applications in the biomedical and food industries*. 205-232
- Zarei, M., Fazlara, A. y Tulabifard, N. 2019. Effect of thermal treatment on physicochemical and antioxidant properties of honey. *Heliyon*, 5: 1-6. doi: 10.1016/j.heliyon. 2019.e01894.
- Yousuf, B. y Srivastava, A 2019. Impact of honey treatments and soy protein isolate-based coating on fresh-cut pineapple during storage at 4 °C. *Food Packaging and Shelf Life*. 21: 1-9. doi:10.1016/j.fpsl.2019.100361