



Películas comestibles a base de alginato de sodio adicionado con miel de abeja (*Apis mellifera*): propiedades fisicoquímicas, mecánicas y bioactivas

Hernández Gómez, E. A., Madera Santana, T. J., Ortiz Vázquez, E. de la L., Yam Puc, J. A., Ramón Sierra, J., Quintana Owen, P. y Vargas y Vargas, M. de L. (2026). Películas comestibles a base de alginato de sodio adicionado con miel de abeja (*Apis mellifera*): propiedades fisicoquímicas, mecánicas y bioactivas [*Postprint*]. *CIENCIA ergo-sum*. Vol. 33.

<https://doi.org/10.30878/ces.v33n0a73>

Sección: Ciencias Exactas y Aplicadas

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.



Esta versión del artículo es una “versión final del autor” que fue aceptada por un proceso de **evaluación por pares ciegos**. Este documento diferirá en formato respecto a la “versión del editor”, la cual se someterá a un proceso de corrección de estilo y de diseño

editorial. De ninguna forma se modificará el contenido. Todas las ideas que se presentan son responsabilidad del autor.

Películas comestibles a base de alginato de sodio adicionado con miel de abeja (*Apis mellifera*): propiedades fisicoquímicas, mecánicas y bioactivas
Edible films based on sodium alginate added with *Apis mellifera* honey: physicochemical, mechanical and bioactive properties

Emir Alejandro Hernández Gómez, Tecnológico Nacional de México/ Campus Mérida, Yucatán, México¹

ROR: <https://ror.org/01af24v42>

Correo electrónico: emir_hernandezg@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7504-1137>

Tomás Jesús Madera Santana, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Hermosillo, Sonora, México

ROR: <https://ror.org/015v43a21>

Correo electrónico: madera@ciad.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3844-2800>

Elizabeth de la Luz Ortiz Vázquez, Tecnológico Nacional de México/ Campus Mérida, Yucatán, México

ROR: <https://ror.org/01af24v42>

Correo electrónico: elizabeth.ov@merida.tecnm.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2881-2110>

Jesús Alejandro Yam Puc, Tecnológico Nacional de México/ Campus Mérida, Yucatán, México

ROR: <https://ror.org/01af24v42>

Correo electrónico: jesus.yv@merida.tecnm.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1532-2910>

Jesús Ramón Sierra, Tecnológico Nacional de México/ Campus Mérida, Yucatán, México

ROR: <https://ror.org/01af24v42>

Correo electrónico: jesus.rs@merida.tecnm.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7773-190X>

Patricia Quintana Owen, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Mérida, Yucatán, México

ROR: <https://ror.org/009eqmr18>

Correo electrónico: pquint@cinvestav.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8727-7605>

María de Lourdes Vargas y Vargas, Tecnológico Nacional de México/ Campus Mérida, Yucatán, México²

ROR: <https://ror.org/01af24v42>

Correo electrónico: maria.vy@merida.tecnm.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3497-4319>

¹ emir_hernandezg@hotmail.com

² maria.vy@merida.tecnm.mx

Recepción: 11 de junio de 2025

Aprobación: 30 de junio de 2026

RESUMEN

Se desarrollaron y caracterizaron películas comestibles utilizando alginato de sodio al 2% a diferentes concentraciones de miel de abeja *Apis mellifera* (0, 1, 2.5 y 5%, p/v) con el fin de evaluar el efecto de ésta sobre las propiedades fisicoquímicas, mecánicas, ópticas y bioactivas. La incorporación de la miel en un 5% en las películas, presentó un mayor espesor (0.14 mm), menor humedad (13.28%) y menor VTVA (154.86 g/h m²), incrementó la elongación de ruptura logrando una mayor plasticidad y flexión, así como un mayor contenido de polifenoles y capacidad antioxidante, comprobándose el efecto potencial de la adición de miel de abeja para el desarrollo de películas comestibles para su aplicación en la conservación de alimentos.

PALABRAS CLAVE: Película comestible, alginato, miel de abeja, compuestos fenólicos.

ABSTRACT

Edible films were developed and characterized using 2% sodium alginate with different concentrations of *Apis mellifera* honey (0, 1, 2.5, and 5% w/v) to evaluate the effect of honey on their physicochemical, mechanical, optical, and bioactive properties. The incorporation of 5% honey into the films resulted in greater thickness (0.14 mm), lower moisture content (13.28%), and lower VTVA (154.86 g/h m²). It also increased elongation at break, resulting in greater plasticity and flexibility, as well as higher polyphenol content and antioxidant capacity. It confirmed the potential effect of adding honey to the development of edible films for food preservation applications.

KEYWORDS: Edible film, alginate, honey, phenolic compounds.

INTRODUCCIÓN

El procesamiento de los alimentos en la industria alimentaria ha impulsado a cambios en los hábitos de consumo y estilo de vida del consumidor (Mugnaini *et al.*, 2024). Esto ha generado una alta demanda hacia alimentos más naturales, libres de conservadores artificiales y biodegradables, para preservar la calidad de los alimentos, retrasando su deterioro (Shi *et al.*, 2024). Por ello, una alternativa natural capaz de proteger un alimento prolongando su tiempo de vida útil, conservando su integridad y calidad nutricional, es el uso de películas comestibles (Dursun, 2023). Las películas y recubrimientos comestibles están compuestos por biopolímeros esencialmente de polisacáridos, proteínas, lípidos y materiales compuestos (Biratu *et al.*, 2024), se han descrito como membranas delgadas comestibles (menores a 0.3 mm) a base de un material polimérico comestible (Pavlath & Orts, 2009), entre los biopolímeros, el alginato derivado principalmente de algas pardas y bacterias como

Pseudomonas aeruginosa, es un copolímero utilizado para la elaboración de películas comestibles, compuesto a partir de sus monómeros de ácido D-manurónico y L-gulurónico (Ren *et al.*, 2024). Sin embargo, las películas de alginato de sodio sin modificar presentan propiedades antioxidantes y antimicrobianas deficientes, limitando su uso como recubrimiento en la industria alimentaria (Ngwane *et al.*, 2024). Por lo anterior, la incorporación de productos naturales en matrices biodegradables produce un profundo impacto en su química estructural, ofreciendo beneficios funcionales (Mugnaini *et al.*, 2024). Su implementación ha demostrado ser sumamente valiosa para prolongar la vida útil de frutas y verduras, además de ser una estrategia sostenible y ecológica para el envasado de alimentos.

La miel, un producto natural de las abejas, es producido a partir de la recolección de néctar, secreciones de plantas o excreciones de insectos de plantas (Santos *et al.*, 2024), su sabor color y composición varían desde la temporada de cosecha y por la ubicación geográfica de la colmena, está compuesta principalmente de azúcar (fructosa, glucosa, maltosa y sacarosa), así mismo contiene compuestos minoritarios que inciden sobre el valor nutricional como lo son vitaminas, minerales esenciales, aminoácidos, proteínas y compuestos fenólicos aportando actividades antioxidantes y antibacterianas (Lazarević *et al.*, 2017; Faúndez *et al.*, 2023). La miel puede ser utilizada como un plastificante biofuncional, definido como aquel que se produce a partir de fuentes naturales, sustituyendo los derivados de petróleo, mejorando la flexibilidad y plasticidad en una película (Sun *et al.*, 2024). Además, reducir la dependencia de los materiales de empaque tradicionales y cubrirlos con sustancias comestibles contribuye a la reducción de los residuos de embalaje, alineándose con las prácticas sostenibles y a los esfuerzos de conservación ambiental, aunque se han evaluado diversas mezclas, estas se han dirigido al área biomédica generando recubrimientos para el tratamiento de quemaduras y mejorar la cicatrización, un menor número de estudios se han enfocado al desarrollo de materiales con miel como conservador (Rosado *et al.*, 2022; Sharaf *et al.*, 2025).

En la literatura se ha encontrado que Soininen, *et al.* (2013), estudiaron los efectos de la miel de acacia en películas de proteína de suero sobre las propiedades mecánicas y de barrera a la humedad, encontrándose que la miel de acacia presentó un efecto favorable en el desarrollo de estas películas. Castillo *et al.* (2018), evaluaron el efecto de un recubrimiento comestible

a partir de lactosuero y miel de abeja (*Apis mellifera*) en la conservación de tomate (*Solanum lycopersicum*) encontrando que los frutos recubiertos mostraron menor pérdida de peso durante la maduración, extendiendo la vida útil, mejorando la calidad y valor agregado a los frutos. La presencia de miel en el recubrimiento permitió un efecto positivo en el color de los frutos, proporcionando mayor luminosidad a los frutos, lo cual hace más atractivo al producto para su consumo y comercialización. Hasta ahora no se ha reportado información sobre la preparación de películas comestibles usando miel en una matriz de alginato. La actividad biológica de la miel, aunada a su efecto plastificante, mejora las características mecánicas de las películas, obteniéndose un material con cualidades adecuadas para emplearse como un recubrimiento funcional para la conservación de alimentos. Por lo anterior, este trabajo tiene como objetivo desarrollar y caracterizar fisicoquímica, mecánica y funcionalmente películas a partir de alginato de sodio evaluando el efecto de la miel de abeja (*Apis mellifera*) como agente bioactivo y plastificante funcional.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1. 1. Parte Experimental

Para la elaboración de las películas se utilizó alginato de sodio (AL) de peso medio molecular y alta tasa de solubilidad, empleado como aditivo grado alimenticio de la marca Deiman S.A. de C.V. (Ciudad de México). Miel producida por la abeja *Apis mellifera*, la cual fue cosechada de un apiario rural en la población de Maní, Yucatán, México (20.385444114994154 N, -89.39841799586078 O) en el mes de marzo del 2023.

1. 2. Formulación y elaboración de las películas

Las películas se elaboraron mediante la técnica de solución-vaciado (casting) en placa. Las formulaciones de las películas se realizaron a partir de distintas concentraciones de miel (HO) (0, 1, 2.5 y 5% p/v), con una concentración de alginato (AL) constante (2% p/v), (cuadro 1). El alginato se solubilizó en agua destilada a 60 °C durante un periodo 4 h de agitación. Posteriormente, se les adicionó HO a diferentes concentraciones, manteniendo la agitación de la mezcla durante 1 h, conservando la misma temperatura. La solución filmogénica obtenida se vertió suavemente en cajas Petri a temperatura ambiente, evitando la formación de burbujas. Las películas se curaron a 60 °C durante 24 h en una estufa de convección marca

Binder modelo ED115 (Tuttlingen, Alemania). Una vez formadas se retiraron de la caja Petri y se almacenaron en un desecador en obscuridad para evitar la ganancia o pérdida de humedad y que la luz natural no afecte los compuestos bioactivos presentes.

Cuadro 1
Formulaciones de las películas

Código de las películas	AL (% p/v)	HO (% p/v)
AL	2	0
ALHO1	2	1
ALHO2.5	2	2.5
ALHO5	2	5

Fuente: elaboración propia.

Nota: Códigos de muestra de formulaciones de las películas de alginato, incorporado con miel: (AL) alginato, (HO) miel *A. mellifera*.

1. 3. Caracterización de las películas

1. 3. 1. Espesor y densidad aparente

El espesor de las películas se midió mediante el grosor de cada película en seis puntos aleatorios, a temperatura ambiente con un micrómetro digital marca Mitutoyo modelo H2780 (Aurora, IL) con una precisión de ± 0.001 mm. En una balanza analítica modelo Adventure, marca Ohaus Corp. (Parsippany, NJ), se determinó el peso de cada película con medidas de aproximadamente 2 x 2 cm, calculando el volumen para hallar la densidad aparente (g/cm^3).

1. 3. 2. Humedad

La humedad de las películas se determinó por gravimetría, tomando el peso de las películas con medida de 2 x 2 cm en una balanza analítica. Posteriormente, estas muestras fueron colocadas en una estufa de convección a 80 °C por 24 h, para después registrar su peso. El porcentaje de humedad se calcula por diferencia de peso mediante la 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.

1. 3. 3. 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). Se utilizó un recipiente conteniendo 30 mL de agua destilada, en cuya tapa se colocó la película; dejando un pequeño espacio entre la muestra y el agua, generando la humedad relativa del 100%, el recipiente se cerró y se almacenó a 36 °C en un desecador con gel de sílice conservando una humedad relativa del 25 % dentro del desecador, se tomó el peso cada 2 h hasta completar 12 h. La VTVA se calculó mediante la ecuación 2:

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

Donde b es la pendiente de la recta (g/h) del gráfico obtenido por la diferencia de peso vs tiempo y A es el área de transferencia de la película (m²).

1. 3. 4. Opacidad

Las películas se recortaron en rectángulos de 40 x 10 mm y se colocaron en la celda de un espectrofotómetro UV-Vis modelo Cary 50 de la marca Varian, Inc. (Walnut Creek, CA) utilizando la celda libre de cualquier sustancia como blanco de calibración. La opacidad se determinó por la medida de la absorbancia a 600 nm 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, δ es el espesor de la película (mm).

1. 3. 5. Color

El color 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%). Se evaluaron las películas con los parámetros de color empleando la escala del CIELab, calculando la cromaticidad (C^*) y el ángulo Hue ($^\circ Hue$). Las mediciones se realizaron en 8 puntos aleatorios de cada una de las muestras. La diferencia total de color (ΔE), se determinó tomando como referencia estándar la película

control (AL). Los parámetros C^* , ΔE y $^{\circ}Hue$ fueron calculados a partir de las ecuaciones 4, 5 y 6:

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

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

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

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.

1. 3. 6. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de las películas se determinaron de acuerdo al método ASTM D882. Las muestras se cortaron en probetas rectangulares de 60 x 10 mm. Los ensayos se realizaron utilizando una máquina universal de pruebas mecánicas marca Instron modelo 4442 (Canton, MA. USA.). Previamente al ensayo, se midió el espesor de cada película en la parte central de cada probeta para calcular el área transversal. En ambos extremos de la probeta, se colocó cinta adhesiva para evitar el desgarre de la muestra en la parte de sujeción entre las mordazas. Para el ensayo de tensión, se utilizó una celda de carga de 50 kg con una separación entre mordazas de 30 mm y una velocidad de estiramiento de 5 mm/min. Los parámetros mecánicos fueron calculados a partir de los datos de fuerza y desplazamiento registrados durante el ensayo para cada espécimen. Se realizaron 6 ensayos por formulación. Los parámetros mecánicos evaluados fueron: Resistencia a la tensión (RT), el porcentaje de elongación a la ruptura (%Er) y el módulo de elasticidad (ME), los cuales fueron calculados mediante las ecuaciones 7, 8 y 9:

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

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

$$ME = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (9)$$

Dónde: F_{max} representa la fuerza máxima a la ruptura (N), A_t es el área transversal de la muestra (mm^2), L_f es la longitud final (mm), L_i es la longitud inicial (mm), σ es la fuerza aplicada (N) por unidad de área y ε es la deformación asociada al alargamiento relativo respecto la longitud inicial.

1. 3. 7. *Análisis morfológico*

La morfología de la superficie de las películas fue caracterizada usando un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM) modelo JEOL JSM-7600F (Peabody, MA, USA). Antes del 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 cubrieron con una capa fina de Au-Pd usando un recubridor de plasma marca Quorum modelo QI5OR-EN (Sussex, UK). La morfología de la superficie se observó en muestras de 5 x 5 mm, visualizando la superficie de las películas a la magnificación de 100X.

1. 3. 8. *Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)*

El análisis FTIR se realizó en las películas utilizando 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 rango de 4000 a 600 cm^{-1} con una resolución de 4 cm^{-1} , una velocidad de exploración de 0.675 cm^{-1}/s y un total de 100 barridos por cada muestra.

1. 4. **Propiedades bioactivas**

1. 4. 1. *Contenido fenoles totales*

El contenido de fenoles totales presentes en las películas se cuantificó mediante la técnica de Folin-Ciocalteu. Para la obtención del extracto, un gramo de cada película formulada se colocó en tubos de ensayo, añadiendo 13 mL de agua destilada, las muestras se sometieron a sonificación, (Sonificador modelo UP200st de la marca Hielscher USA, Inc. (Wanaque, NJ) a 31 °C durante 30 min, posteriormente se centrifugaron a 4500 rpm por 10 min, extrayendo 5 mL del extracto (sobrenadante). Para el análisis, se tomaron 20 μL del extracto obtenido de cada película, añadiendo 1.5mL de agua destilada, 100 μL de reactivo de Folin-Ciocalteu diluido en agua en proporción 1:9 y 300 μL de solución de Na_2CO_3 al 7.5 %. Se midieron las

absorbancias a una longitud de onda de 765 nm, utilizando un espectrofotómetro. La cuantificación se realizó mediante una curva de calibración en un rango de concentración de 0 a 0.5 mg/mL, usando ácido gálico como estándar. El resultado se expresó como mg equivalentes de ácido gálico en 100 g de muestra (mg EAG/100 g de muestra).

1. 4. 2. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de las películas se determinó mediante el método del ABTS (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina)-6 sulfonato de amonio) descrito por Re *et al.* (1999). Utilizando 0.1 mL de extracto anteriormente obtenido. 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 al comienzo de la reacción y $ABTS_f$ es la absorbancia a 734 nm después de 7 min.

1. 5. Análisis estadístico

Los resultados de los análisis físicos, mecánicos, ópticos, de barrera y bioactivos 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 (p) del 5%, se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHIC Centurión® (The Plains, VA). Los resultados se presentan como el valor promedio $\pm$ la desviación estándar.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2. 1. Espesor y densidad aparente

El espesor es de importancia en la definición de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de una película, así como del envasado de un alimento ya que las propiedades de barrera de la película dependen de la composición y del espesor de la misma. (Hadi *et al.*, 2023) El espesor de las películas comestibles fue en aumento conforme la incorporación de sólidos presentes en la miel fue incrementando, como se muestran en el cuadro 2, siendo la película AL la que presentó el valor más bajo de las formulaciones con 0.03 mm y ALHO5 la que presentó el mayor espesor con 0.14 mm, mostrando una relación proporcional en el espesor

y solutos presentes en la miel. Este mismo comportamiento ha sido reportado por Hadi *et al.* (2023), al desarrollar películas de alginato de sodio, aloe vera, goma de tragacanto e hidroxipropilmetilcelulosa ya que a medida que aumentaba la concentración de los componentes de la película, aumentaba el contenido de sólidos de la solución resultando en un aumento del espesor de la película. Feng y Chen. (2011), así como Akhtar y Aider. (2018), también reportaron esta relación entre espesor y contenido de sólidos en películas comestibles. En cuanto a la densidad (cuadro 2), las películas mostraron la misma relación del espesor siendo la película AL la que presentó el menor valor, a comparación de las películas ALHO1, ALHO2.5 y ALHO5 las cuales presentaron densidades mayores en relación con los sólidos presentes en la miel, presentando diferencias significativas ($p < 0.05$).

2. 2. Humedad

Las películas mostraron un contenido de humedad que osciló en el rango de 40.98 y 13.28 %, dato presentado en el cuadro 2. La película con alginato puro (AL) tiene el contenido de humedad más alto, mientras que la película ALHO5 tiene el contenido de humedad más bajo; este resultado obtenido es debido a que el alginato de sodio es hidrofílico presentando abundantes grupos hidroxilos (-OH) y carboxilatos libres (-COO⁻) estableciéndose interacciones alginato-agua, formándose una red polimérica abierta con capacidad de hidratarse y retener agua por medio de los enlaces del hidrógeno, lo cual se refleja en una mayor humedad gravimétrica en la película, en tanto al incorporar la miel a la matriz de alginato algunos compuestos presentes en la miel, como los azúcares, compiten con el agua por los grupos hidroxilo del alginato, estableciéndose interacciones entre el alginato y la miel mediante puentes de hidrógeno reduciéndose los sitios libres para que el agua se una y aunque la miel sea hidrofílica, el agua queda menos libre en la matriz mientras mayor es el contenido de miel añadido, aumentando el contenido de sólidos produciendo una película con menor humedad gravimétrica y más gruesa (Li *et al.*, 2024; Singh *et al.*, 2022).

2. 3. Velocidad de transmisión de vapor de agua (VTVA)

Los valores de las propiedades de barrera se presentan en el cuadro 2, oscilando en el rango de 204.2 a 153.35 g/h m², siendo la película AL la que mostró el valor más alto, en tanto que, ALHO2.5 y ALHO5 presentaron valores bajos ($p > 0.05$). La VTVA es una característica

esencial en las películas comestibles, ya que influye en la capacidad de proteger los alimentos contra el deterioro, oxidación y el crecimiento microbiano, evitando la permeabilidad a la humedad y al oxígeno, mismos que conllevan la conservación y frescura de los productos alimenticios (Yasir *et al.*, 2024). La VTVA de una película está relacionada con el grosor de esta, la naturaleza química del material y su microestructura (Rhim., 2004). En este trabajo se observó que a mayor contenido de miel menores fueron los valores de VTVA, este comportamiento se explica por los cambios estructurales en la matriz polimérica, los componentes de la miel, principalmente los azúcares de bajo peso molecular, presentan una mayor miscibilidad con el alginato favoreciendo la formación de interacciones intermoleculares (alginato-miel) mediante puentes de hidrógeno. Estas interacciones conducen a una mayor cohesión y compactación de la red polimérica, reduciendo los espacios intersticiales y el volumen libre de la matriz polimérica teniendo como consecuencia una estructura más densa que limita el paso del vapor de agua a través de la película (Saidi *et al.*, 2025). Aunque la matriz biopolimérica tenga carácter hidrofílico, se ve restringida la movilidad del vapor de agua a través de la película, lo cual resulta en un valor menor de VTVA (Arifin *et al.*, 2022). Rocha *et al.* (2021) reportan un comportamiento similar en películas a base de agar y miel de melipona ya que conforme se va incrementando el contenido de miel aumenta el grosor de la película y los valores de VTVA disminuyen.

2. 4. Opacidad

La opacidad que presenta un material indica la cantidad de luz que pasa a través de él, por lo tanto, se relaciona con la transparencia de la película y con la protección de los alimentos de la exposición a la luz, en particular del deterioro causado por la radiación UV (Singh *et al.*, 2022). La opacidad de las películas se muestra en el cuadro 2, los valores oscilaron en el rango de 1.3 a 2.17 mm⁻¹. Las películas exhibieron valores relativamente bajos de opacidad que equivale a una mayor transparencia. La película ALHO1 obtuvo el valor más alto, mientras que la película ALHO5 el más bajo. Este tipo de variación en la opacidad se le atribuye a diferencias en el espesor de la película, la composición y la estructura, y a la disposición molecular dentro de las películas (Gutiérrez y Villanueva., 2020) Sin embargo, aunque la opacidad sea baja, los numerosos grupos hidroxilo presentes en los polifenoles de la miel, pueden absorber la radiación UV proporcionando una alta protección frente a ésta

retrasando las reacciones de degradación fotoquímica (Benlloch *et al.*, 2025; Kong *et al.*, 2020).

Cuadro 2
Resultados de espesor, densidad, contenido de humedad y opacidad.

Muestra	Espesor (mm)	Densidad (g/cm ³)	Humedad (%)	Opacidad (mm ⁻¹)	VTVA (g/h m ²)
AL	0.03±0 ^a	1.43±0.19 ^a	40.98±7.85 ^a	1.48±0.03 ^a	204.2±2.5 ^a
ALHO1	0.05±0 ^b	2.04±0.12 ^b	22.91±3.96 ^b	2.17±0.04 ^{ab}	170.89±31.5 ^b
ALHO2.5	0.1±0 ^c	2.3±0.05 ^c	16.09±2.04 ^c	1.53±0.02 ^c	153.35±9.34 ^c
ALHO5	0.14±0 ^d	2.35±0.04 ^{cd}	13.28±1.51 ^d	1.3±0.03 ^{cd}	154.86±7.38 ^{cd}

Fuente: elaboración propia.

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

2. 5. Color

El color es una propiedad organoléptica que influye a través de la vista en las películas comestibles siendo de importancia en la aceptación y atracción por parte del consumidor. Los parámetros ópticos de las películas que se determinaron fueron luminosidad (L^*), ángulo ($^{\circ}Hue$), diferencia de color (ΔE) y cromaticidad (C^*), como se presenta en el cuadro 3. El análisis de color indicó una diferencia significativa ($p < 0.05$) en los valores L^* , a (valores que van del rojo al verde) y b (valores que van del amarillo al azul) entre las películas, aun cuando estas presentaron una apariencia transparente opaca (cuadro 2), que fue disminuyendo para luego producir una tonalidad amarillenta a medida que el porcentaje de miel fue aumentando. El valor de L^* disminuyó de 59.55 (AL) a 51.14 (ALHO5) y el $^{\circ}Hue$, de -22.05 (AL) a -76.32 (ALHO5). Lo que dentro de la esfera de color del sistema de color CIELab que representa la tonalidad, este cambio es atribuido a los pigmentos en la miel, donde mieles más oscuras presentan valores altos de contenido fenólico (Hernanz *et al.*, 2023). El análisis óptico reveló que el color de las películas comestibles se ve afectado por la adición de miel, los cuales generan cambios en los parámetros L^* , a^* y b^* , mismos que se pueden observar en un aumento de la diferencia de color (ΔE), utilizando la película AL como película control, siendo de 4.71 (ALHO1) a 21.89 (ALHO5). En comparación con la cromaticidad (C^*) el cual representa el grado de saturación específica, la película ALHO1 mostró el valor más bajo de 1.18 y ALHO5 el más alto con 24.99, notándose una ligera tonalidad oscura debido a la concentración de miel utilizada como se presenta en la figura 1.

Cuadro 3
Resultados de luminosidad (L^*), diferencia de color (ΔE), ángulo Hue ($^{\circ}Hue$) y cromaticidad (C^*).

Muestra	L^*	$^{\circ}Hue$	ΔE	C^*
AL	59.55±3.99 ^a	-22.05±7.4 ^a		3.64±0.18 ^a
ALHO1	53.75±2.13 ^b	-29.69±4.02 ^b	4.71±1.21 ^a	1.18±0.56 ^b
ALHO2.5	54.86±1.15 ^c	-56.55±7 ^c	6.33±0.63 ^b	9.74±0.76 ^c
ALHO5	51.14±1.03 ^{cd}	-76.32±1.3 ^{cd}	21.89±0.79 ^c	24.99±1.14 ^d

Fuente: Elaboración propia.

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

Figura 1
Películas a base de alginato de sodio a diferentes concentraciones de miel: AL, ALHO1, ALHO2.5 y ALHO5.



Fuente: elaboración propia.

2. 6. Propiedades mecánicas

Los efectos de la miel en la matriz de alginato sobre los parámetros mecánicos de las películas se presentan en el cuadro 4. Estas propiedades sirven para proteger a los alimentos de posibles daños y contaminantes externos debido a su tenacidad y grado de estiramiento (Mysha *et al.*, 2024). El efecto de la incorporación de miel en la matriz de alginato mejoró significativamente estas propiedades, tales como la flexibilidad, lo que permitió que las películas con miel mostraran una mayor deformación antes de romperse, mejorando su ductilidad. Se muestra un aumento en el porcentaje de elongación de 1.28 (ALHO1) a 41.02% (ALHO5) conforme se incrementó el porcentaje de miel y una disminución en el esfuerzo máximo y módulo elástico de 53.79 (ALHO1) a 3.77MPa (ALHO5) y 2706.4 (ALHO1) a 7.65MPa (ALHO5). Un mayor contenido de miel en las películas puede promover la proximidad en las cadenas del polímero utilizado, produciendo una matriz más densa como se presenta en el cuadro 2, esto es debido a que la miel posee abundantes grupos funcionales lo que los convierte en candidatos adecuados para mejorar las propiedades mecánicas de las

películas compuestas, a través de mecanismos de reticulación químicos o físicos (Fernández *et al.*, 2024). Los resultados mostrados de las actuales películas para esfuerzo máximo y módulo elástico son comparables con el valor reportado por Biratu *et al.* (2024) para películas elaboradas a partir de pulpa de café, propóleo y miel, Rocha *et al.* (2021), encontraron valores del % de elongación para películas desarrolladas a partir de óxido de grafeno reducido, agar y miel de melipona, siendo comparables con el valor reportado en este trabajo, las propiedades mecánicas mejoradas podrían explicarse por la formación de puentes de hidrógeno entre los monómeros del alginato y la miel generando una mejor agrupación de estos.

Cuadro 4
Resultados del % de elongación, esfuerzo máximo y módulo elástico.

Muestra	% Er (%)	RT (MPa)	ME (MPa)
AL	5.4±0.69 ^a	96.63±10.82 ^a	3173.3±187.34 ^a
ALHO1	1.28±0.17 ^b	53.79±1.89 ^b	2706.4±258.13 ^b
ALHO2.5	13.29±2.61 ^c	27.03±1.29 ^c	111.45±26.55 ^c
ALHO5	41.02±1.41 ^d	3.77±0.20 ^d	7.65±0.53 ^d

Fuente: elaboración propia.

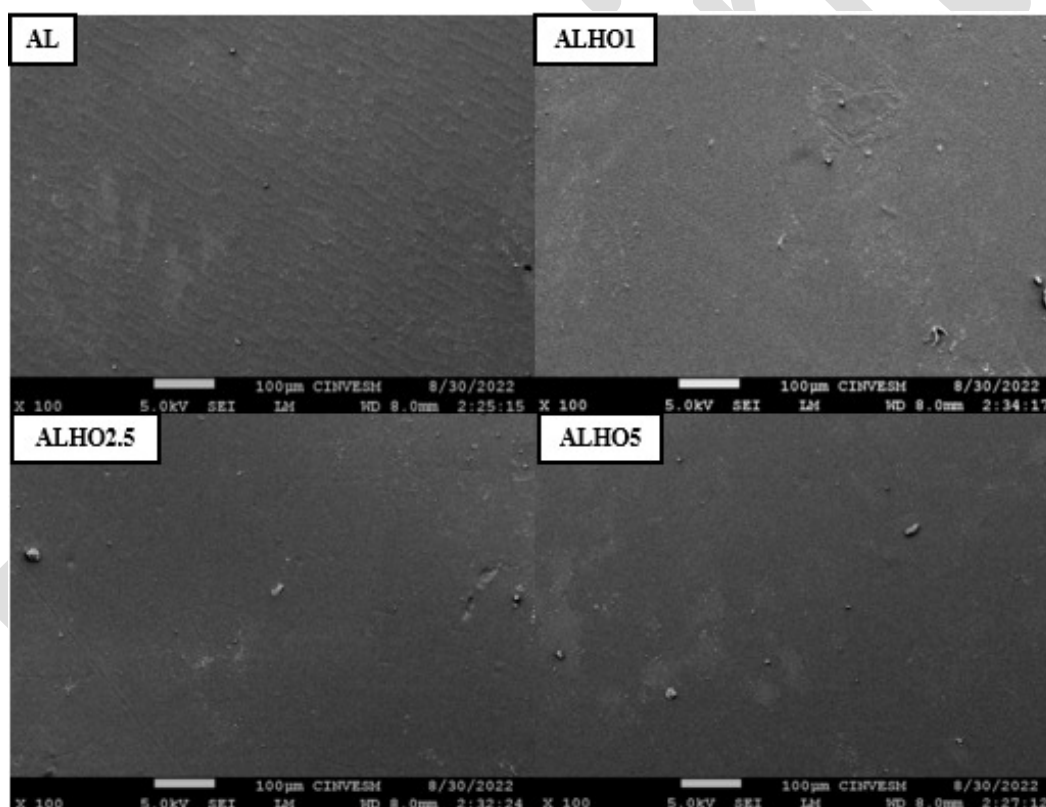
Nota: Valor promedio ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

2. 7. Análisis morfológico

La figura 2 muestra imágenes por microscopia electrónica de barrido (SEM) de las películas de alginato a distintas concentraciones de miel de manera ascendente hasta el 5 %, siendo la película AL la que presentó mayor cantidad de microfracturas, arrugas y poros en comparación de la película ALHO1 la cual cuenta con miel, misma que no presentó separación de fases a nivel de microdominios presentando una disminución en las fracturas y arrugas. Por otro lado, la película con mayor cantidad de miel ALHO5 mostró una superficie más lisa de textura suave sin fracturas, aunque con muy pocas arrugas y migajas, los cuales pueden atribuirse a las burbujas formadas durante la elaboración de la película y a la dispersión de los componentes de la miel, sin embargo, es evidente la homogeneidad y la plasticidad de la miel en la matriz de alginato, debido a la unión de hidrógenos presentes en la miel. Las imágenes mostradas de las actuales películas son comparables con imágenes SEM presentados por Mysha *et al.* (2024), en donde utilizaron alginato de sodio y colágeno, sin embargo, estos autores utilizaron glicerol como plastificante, obteniendo una superficie

lisa a una magnificación de 1000X. Es importante señalar que debido a la plasticidad de la miel, es que no se requirió el uso de un plastificante en las películas desarrolladas, de igual manera debido al espesor de las películas obtenidas (cuadro 2) es que no se aumentó la magnificación, siendo el alginato de sodio un material con resistencia mecánica baja (cuadro 4), altamente biodegradable (Shah *et al.*,2024), lo cual indica que una buena y controlada homogeneidad de la miel en la matriz de alginato dentro de las películas estará determinada por la concentración de miel.

Figura 2
Morfología de la superficie de las películas AL, ALHO1, ALHO2.5 y ALHO5, por microscopia electrónica de barrido a la magnificación de 100X.



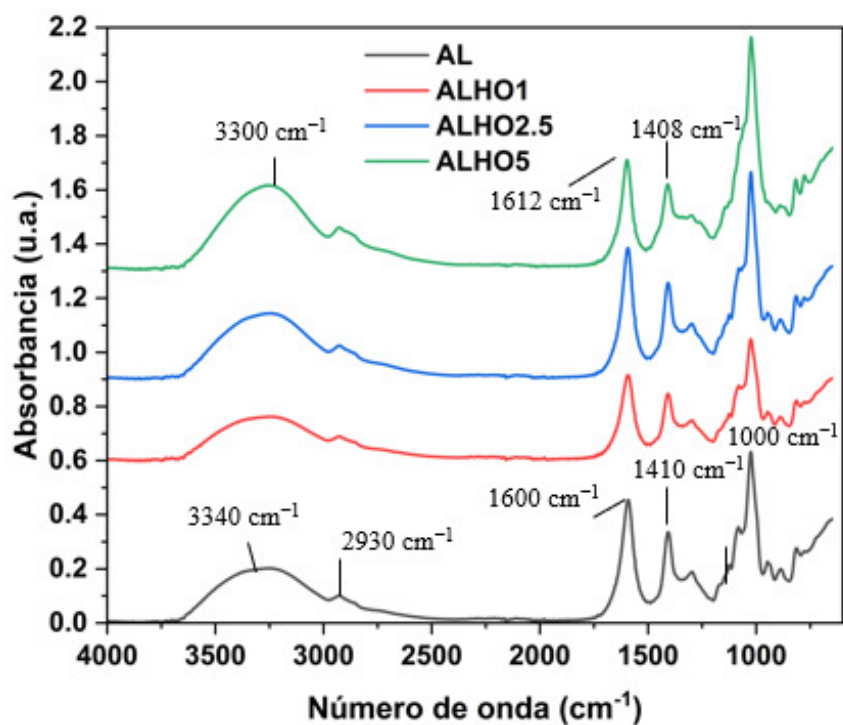
Fuente: elaboración propia.

2. 8. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Los espectros de FTIR permitieron identificar cambios en los grupos funcionales de películas de alginato puro (AL) con las de alginato-miel (ALHO1, ALHO2.5 y ALHO5). En la figura 3, se observa alrededor de 3300 cm^{-1} el estiramiento característico de los enlaces de

grupos hidroxilo (O-H), el cual, al aumentar el contenido de miel en la película, produce un ensanchamiento de dichas bandas y un incremento en la intensidad de absorción. Estos cambios han sido reportados como el resultado de la formación de fuerzas intermoleculares entre los grupos hidroxilo de los azúcares presentes en la miel y los grupos funcionales del alginato a través de la presencia de puentes de hidrógeno. La película de AL (blanco) presenta una banda característica atribuida a la vibración de estiramiento de los grupos hidroxilo alrededor de 3340 cm^{-1} , asimismo a 2930 cm^{-1} se presenta una banda correspondiente al estiramiento carbono-hidrógeno (C-H) de hibridación sp^3 , en tanto que las bandas localizadas aproximadamente a 1600 y 1410 cm^{-1} corresponden al estiramiento asimétrico y simétrico del grupo carboxilato ($-\text{COO}^-$) característico del alginato (Winda *et al.*, 2024). También se observan la región anómera, la vibración de estiramiento de C-O del ácido gulurónico y la vibración de deformación de C-H del ácido manurónico a $1000\text{-}747\text{ cm}^{-1}$ (Verduzco *et al.*, 2024). Cárdenas *et al.*, (2023) han reportado señales características de FTIR en muestras de miel, incluyendo a 3254 , 2930 y 1641 cm^{-1} , correspondientes a los estiramientos de los enlaces O-H, C-H y C-O, los cuales generaron cambios en los espectros de las películas de alginato con miel. Estos enlaces están presentes en los grupos funcionales de la sacarosa, fructosa y glucosa. En las películas formuladas con miel se observan aumentos en la intensidad de la señal a 3300 cm^{-1} (-OH). Adicionalmente, la película ALHO5 mostró bandas de absorción FTIR más fuertes y amplias a 1612 y 1408 cm^{-1} en comparación con las demás películas con miel, dichas absorciones son atribuidas al estiramiento asimétrico y simétrico de la vibración (O-C-O) del grupo carboxilato (Verduzco *et al.*, 2024). El espectro FTIR de las películas con miel no mostraron cambios en las bandas que aparecen a 800 y 700 cm^{-1} correspondientes a los monómeros del alginato (ácidos manurónico y gulurónico) respectivamente (Larosa *et al.*, 2018). Lo anteriormente mencionado conlleva que la adición de miel hasta un 5% no afecta la estructura química de las películas de alginato de sodio.

Figura 3
Espectros de infrarrojo de las películas formuladas: AL, ALHO1, ALHO2.5 y ALHO5



Fuente: elaboración propia.

2. 9. Propiedades bioactivas

2. 9. 1. Contenido de fenoles totales

En el cuadro 5, se muestran los resultados del contenido de fenoles totales de las películas desarrolladas. La película de alginato puro presentó el valor más bajo en comparación de las películas con miel, las cuales presentaron valores relativamente más altos conforme la concentración de miel fue en aumento, siendo la película ALHO5 la que presentó mayor contenido fenólico total con 316.64 mg EAG/100 g, lo cual concuerda con lo reportado por Franco *et al.* (2024), quienes señalan que existe una relación directa entre el color y los compuestos fenólicos presentes en la miel, lo que podría justificar el aumento en el color amarillento-oscuro en las películas. Estudios previos de la miel han determinado que el contenido de compuestos fenólicos se ve afectado por varios factores, como el origen de las plantas, el clima geográfico, el modo de almacenamiento y áreas de producción (Bertoncelj *et al.*, 2011). Los compuestos fenólicos están relacionados con los beneficios de la salud

(Farkas *et al.*, 2023), se ha reportado una amplia gama de compuestos fenólicos en la miel con la capacidad de eliminar radicales libres y resistencia a la oxidación reduciendo la posibilidad de padecer enfermedades relacionadas con la inflamación y el estrés oxidativo. Por lo anterior, existen varios compuestos de la miel presentes en las películas comestibles, lo cual permitirá prevenir o tratar enfermedades.

2. 9. 2. Capacidad antioxidante

Se evaluó en las películas su capacidad para eliminar los radicales libres ABTS. En el cuadro 5, se puede apreciar que la película AL exhibió un bajo efecto de captación de radicales libres, siendo de 4.89 %. A medida que la concentración de miel en las películas desarrolladas fue aumentando, la capacidad de captación de radicales ABTS mejoró progresivamente. Lo cual indica que las películas presentaron una relación directa con el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante (Warinhomhoun *et al.* 2023), siendo la película compuesta con 5 % miel (ALHO5) la que presentó la mayor capacidad de captación de radicales, con 26.09 %, llegando a ser significativamente diferentes de la película ALHO2.5, se ha reportado que mieles oscuras tienen mayor actividad antioxidante a comparación de mieles más claras o ámbar (López *et al.*, 2021), esto es debido a los compuestos únicos de la miel como lo son α -tocoferol, ácido ascórbico, flavonoides y enzimas como catalasa y peroxidasa, que actúan como antioxidantes naturales y son más abundantes en la miel oscura (Bayomy *et al.*, 2024). La alta actividad de captación a radicales ABTS se debió principalmente a la hidrofiliidad de las películas, siendo la película ALHO5 la más soluble en agua (el disolvente para ABTS), lo que permitió que los compuestos minoritarios en la miel se liberaran más rápidamente en la solución acuosa de ABTS.

Cuadro 5
Valores del contenido fenólico total (FT) y capacidad antioxidante (ABTS) de las películas

Muestra	FT (mg EAG/100 g)	Capacidad antioxidante (%)
AL	55.06 $\pm$ 0.94 ^a	4.89 $\pm$ 0.49 ^a
ALHO1	187.73 $\pm$ 2.82 ^b	8.51 $\pm$ 0.28 ^b
ALHO2.5	229.13 $\pm$ 1.88 ^c	18.65 $\pm$ 0.21 ^c
ALHO5	316.64 $\pm$ 1.8 ^d	26.09 $\pm$ 0.85 ^d

Fuente: elaboración propia.

Nota: valor promedio $\pm$ desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia

significativa ($p < 0.05$).

PROSPECTIVA

Los resultados obtenidos permiten plantear las siguientes prospectivas: sustituir la matriz de alginato de sodio por otros biopolímeros, manteniendo el uso de la miel de abeja, con el objetivo de estudiar los efectos sinérgicos entre estos componentes y poder mejorar las propiedades mecánicas, de barrera y ópticas de las películas comestibles con el fin de adaptarlas al alimento de estudio.

Realizar un estudio para evaluar el efecto de estas películas en diferentes sistemas alimentarios sobre la conservación del alimento, la calidad, la aceptación sensorial, vida útil y sus propiedades antimicrobianas. Evaluar la estabilidad de los compuestos bioactivos presentes en la miel en condiciones de almacenamiento, la liberación de los mismos hacia el alimento determinando su impacto en las propiedades antioxidantes del mismo, estos estudios llevarían al desarrollo de envases multifuncionales, en los cuales la miel no solo actué como plastificante natural, sino que incida de manera positiva en las propiedades funcionales del alimento, adicionándole un valor agregado a las películas.

Aunado a lo anterior, se sugiere un estudio de la evaluación de las propiedades antimicrobianas y la viabilidad celular de estas películas para su uso como posible apósito bioactivo en la curación de heridas superficiales. Una investigación futura con esta metodología puede conducir a conocimientos más precisos sobre las características del alginato-miel en el área biológica, lo que podría ayudar a comprender sus funciones y sus posibles contribuciones a los procesos biológicos.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio mostraron el potencial de las películas comestibles elaboradas a partir de alginato de sodio y miel de abeja, materiales obtenidos de fuentes naturales y sostenibles. La incorporación de miel en las formulaciones de las películas mostró un efecto positivo en las propiedades fisicoquímicas, las propiedades de barrera al vapor de agua, así como en las propiedades mecánicas y antioxidantes. Las películas con mayor contenido de miel (5%) presentaron un mayor grosor, menor contenido de humedad y un comportamiento satisfactorio como barrera al vapor de agua. En cuanto a las propiedades mecánicas, se

confirmó el efecto plastificante de la miel evidenciado por la disminución del módulo elástico y del esfuerzo máximo, así como por el incremento del porcentaje de la elongación a la ruptura. Estos resultados demuestran la viabilidad de sustituir a los plastificantes derivados del petróleo por compuestos provenientes de fuentes naturales. Así mismo, la adición de miel de abeja modificó las propiedades funcionales de las películas al incrementar el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante. Esto favorece al desarrollo de películas comestibles funcionales con potencial aplicación como envases activos capaces de contribuir a la conservación y extensión de la vida útil de los alimentos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los árbitros sus observaciones y valiosos comentarios que permitieron mejorar la estructura y calidad del artículo.

REFERENCIAS

Akhtar, M.J & Aïder, M. (2018). Study of the barrier and mechanical properties of packaging edible films fabricated with hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) combined with electro-activated whey. *Journal of Packaging Technology and Research*, 2(3), 169–18.

Arifin, H., Djali, M., Nurhadi, B., Azlin-Hasim, S., Masruchin, N., Vania, P. & Hilmi, A. (2022). Corn Starch-Based Bionanocomposite Film Reinforced With ZnO Nanoparticles and Different Types of Plasticizers. *Front. Sustain. Food Syst.* 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.886219>.

Bauer, A., Kirby, W., Sherris, J & Turck, M. (1966). Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disc method. *American Journal of Clinical Pathology* 45.

Bayomy, H., Alamri, E., Ozaybi, N., Eid, K., Nassar, A. & Shamsia, S. (2024). Different floral honey types are differentiated based on their antioxidant activities, contents of bioactive compounds, and pesticide residues. *Food Bioscience* 60. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104352>.

Benlloch, M., Gentile, P., Taylor, L. & Girón, J. (2025). Alginate edible films as delivery systems for green tea polyphenols. *Food Hydrocolloids* 158. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110518>.

Bertoncelj, J., Polak, T., Kropf, U., Korošec, M. & Golob, T. (2011). LC-DAD-ESI/MS analysis of flavonoids and abscisic acid with chemometric approach for the classification of Slovenian honey. *Food Chemistry* 127. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.003>.

Biratu, G., Woldemichael, H. & Gonfa, G. (2024). Development of active edible films from coffee pulp pectin, propolis, and honey with improved mechanical, functional, antioxidant, and antimicrobial properties. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications* 8. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100557>.

Cárdenas, J., Galán, D. & Cáceres, J. (2023). FTIR-ATR detection method for emerging C3-plants-derived adulterants in honey: Beet, dates, and carob syrups. *Talanta* 265, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2023.124768>.

Castillo, M., Briones, E., Vela G. & Velázquez, A (2018). Efecto de recubrimiento comestible con base en lactosuero y miel sobre la vida de anaquel de tomates (*Solanum lycopersicum*) Capítulo 2 en: *Aportaciones a la Gastronomía desde la perspectiva cualitativa y cuantitativa*. Editores Vela Gilbert y Álvarez Lurnile, (155-166). Colección Montebello UNICACH,

Chan, D., Toledo, V., Vargas, M., Rincón, S., Rodríguez, A. & 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. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01055-w>

Dursun, T. (2023). Characterization of sodium alginate-based biodegradable edible film incorporated with *Vitis vinifera* leaf extract: Nano-scaled by ultrasound-assisted technology, *Food Packaging and Shelf Life* 37. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101068>.

Farkas, A., Horváth, G., Kuzma, M., Mayer, M & Kocsis, M. (2023). Phenolic compounds in Hungarian acacia, linden, milkweed and goldenrod honeys. *Current Research in Food Science* 6. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100526>.

Faúndez, X., Báez, M. E., Martínez, J., Zúñiga-López, M. C., Espinoza, J., & Fuentes, E. (2023). Evaluation of the generation of reactive oxygen species and antibacterial activity of honey as a function of its phenolic and mineral composition. *Food Chemistry*, 426, 136561.

10.1016/j.foodchem.2023.136561

Feng, Q., Chen, F., & Wu, H. (2011). Preparation and characterization of a temperature-sensitive lignin-based hydrogel. *BioResources*, 6(4), 4942–4952.

Fernández, B., Paniagua, G., Gañán, J., Morante, S., Garcinuño, R., Fernández, P. & Sierra, I. (2024). Determination of atropine and scopolamine in honey using a miniaturized polymer-based solid-phase extraction protocol prior to the analysis by HPLC-MS/MS. *Polymer* 298, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2024.126904>.

Franco, D., Luaces, M., Valdés, A., Agüero, L. & Baeza, A. (2024). Determination of total phenolic compounds in Cuban monofloral honeys by reverse flow injection analysis – Folin-Ciocalteu method. *Microchemical Journal* 204. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2024.111008>.

Gutiérrez, T. J., & Villanueva, J. F. (2020). Optical properties of edible films: Opacity and transparency related to food protection. *Journal of Food Engineering*, 280, 109987. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.109987>

Hadi, A., Nawab, A., Alam, F., & Naqvi, S. (2023). Development of sodium alginate–aloe vera hydrogel films enriched with organic fibers: Study of the physical, mechanical, and barrier properties for food-packaging applications. *Sustainable Food Technology*, 1(6), 863–873. <https://doi.org/10.1039/d3fb00122a>

Hernanz, D., Jara, M., Santos, J., Gómez, A., Heredia, F. & Terrab, A. (2023). The profile of phenolic compounds by HPLC-MS in Spanish oak (*Quercus*) honeydew honey and their relationships with color and antioxidant activity. *LWT* 180, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114724>.

Kong R, Wang J, Cheng M, Lu W, Chen M, Zhang R, Wang X. (2020). Development and characterization of corn starch/PVA active films incorporated with carvacrol nanoemulsions. *International Journal of Biological Macromolecules* 1; 164:1631-1639. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.08.016>

Larosa, C., Salerno, M., Silva, J., Merijs, R., Fernandes, M., Bezerra, L. & Converti, A.

(2018). Characterisation of bare and tannase-loaded calcium alginate beads by microscopic, thermogravimetric, FTIR and XRD analyses. *International Journal of Biological Macromolecules* 115, 900-907. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.138>.

Lazarević, K., Jovetić, M. & Tešić, Z. (2017). Physicochemical parameters as a tool for the assessment of honey. *Journal of AOAC International* 100, 840-851. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.17-0143>

Li X, Li F, Zhang X, Tang W, Huang M, Huang Q & Tu, Z. (2024). Interaction mechanisms of edible film ingredients and their effects on food quality. *Current Research in Food Science*. 22; 8:100696. doi: 10.1016/j.crfs.2024.100696.

López, D., Sosa, E., Martínez, A., González, F. & Vargas, A. (2021). Efecto antioxidante de la miel de abeja sobre la carne de conejo almacenada en refrigeración. *Ciencia UAT* 15, 135-143. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v15i2.1395>

Mugnaini, G., Bonini, M., Gentile, L., Panza, O., Nobile, M., Conte, A., Esposito, R., D'Errico, G., Moccia, F. & Panzella, L. (2024). Effect of design and molecular interactions on the food preserving properties of alginate/pullulan edible films loaded with grape pomace extract. *Journal of Food Engineering* 361. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111716>

Mysha, M., Taslim, U. R., Mohammed, M. R. (2024). Fabrication of collagen-sodium alginate based antibacterial and edible packaging material: Performance evaluation using Entropy-Combined Compromise Solution (CoCoSo). *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications* 8, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100582>.

Ngwane, F., Hamayoon, M., Aditya, A., Fanze, M., Yan, X., Sultana, J., Thi, N., Tanaka, F. & Tanaka, F. (2024). Preparation and characterization of edible coating and film composed of sodium alginate/ylang-ylang oil/cellulose nanocrystals Pickering emulsion and its application to post-harvest control of mandarin (*Citrus reticulata*), *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 691. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.133859>.

Pavlath, A. E. & Orts, W. (2009). *Edible films and coatings: why, what, ¿and how? Edible*

films and coatings for food applications, 1-23. Springer, Nueva York, NY.

https://doi.org/10.1007/978-0-387-92824-1_1

Rhim, J. W. (2004). Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films. *LWT Food Science and Technology*, 37(3), 323–330.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.09.008>

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. & Rice, C. (1999).

Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26, 9-10. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3).

Ren, Y., Wang, Q., Xu, W., Yang, M., Guo, W., He, S. & Liu, W. (2024). Alginate-based hydrogels mediated biomedical applications: A review, *International Journal of Biological Macromolecules*, 279. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135019>.

Rocha, L., Azamar, J., Ortiz, E., Quintana, P., Freile, Y., Gamboa, F. & 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. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100133>.

Rosado, L., Herrera, F., Mendoza, & Alava, C, (2022). Efecto de miel de abeja (*Apis mellifera*) en la conservación de la pasta de macadamia (*Macadamia integrifolia*). *Manglar*, 19(1), 107-115. <https://doi.org/10.17268/manglar.2022.014>

Saidi, L., Wang, Y., Wich, P. & Selomulya, C. (2025). Polysaccharide-based edible films — strategies to minimize water vapor permeability. *Current Opinion in Food Science*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2024.101258>.

Santos, M., Kowalczyk, T., Kukula, W., Wieczfinska, J., Bangay, G., Diaz, A., Cardoso, R., Mandim, F., Falcão, S., Vilas, M., Śliwiński, T. & Rijo, P. (2024). Evaluating the quality, physicochemical properties, and biological activities of Centauri® honey from Turkey. *Food Bioscience* 62. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105028>.

Shah, B., Faheem, K. C., Dure, N. I., Zahid, A., Ayesha, S., Shoomaila, L., Khairia, A., Sehar, B., Ijaz, A., Mahmood, A. (2024). Development and characterization of a

biodegradable film based on guar gum-gelatin@sodium alginate for a sustainable environment. *RSC Advances*, 14. <https://doi.org/10.1039/d4ra03985h>.

Sharaf El-Din, M. G., Farrag, A. F. S., Wu, L., Huang, Y., & Wang, K. (2025). Health benefits of honey: A critical review on the homology of medicine and food in traditional and modern contexts. *Journal of Traditional Chinese Medical Sciences*, 12(2), 147–164. <https://doi.org/10.1016/j.jtcms.2025.03.015>.

Shi, C., Jia, L., Tao, H., Hu, W., Li, C., Aziz, T., Al-Asmari, F., Sameeh, M., Lin, L. (2024). Fortification of cassava starch edible films with *Litsea cubeba* essential oil for chicken meat preservation. *International Journal of Biological Macromolecules* 276. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133920>.

Singh, G.P., Bangar, S.P., Yang, T., Trif, M., Kumar, V., & Kumar, D. (2022). Effect on the properties of edible starch-based films by the incorporation of additives: A Review. *Polymers*, 14.

Soininen, J., Heinämäki, J., Yliruusi, J. (2013). From acacia honey monosaccharide content to a new external binary plasticizer applicable in aqueous whey protein films. *Food and Bioproducts Processing* 91, 440-446. doi.org/10.1016/j.fbp.2013.03.002

Sun, Shiyan, Weng Yunxuan & Zhang Caili (2024). Recent advancements in bio-based plasticizers for polylactic acid (PLA): A review, *Polymer Testing* 140, 2024,108603, ISSN 0142-9418, <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2024.108603>.

Verduzco, L., Solís, N., Romo, A., Ortiz, M., Alfaro, M. (2024). Structural analysis and spectroscopic characterization of melanin-alginate films. *Chemical Physics Impact* 9, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2024.100733>.

Warinhomhoun, S., Sanpinit, S., Chonsut, P., Ngamdokmai, N., Ahmad, A.& Wetchakul, P. (2023). Effects of black seed oil combined with olive oil or honey on antioxidant activities, phenolic content, and identification and quantification of thymoquinone, a key bioactive compound. *Journal of Agriculture and Food Research* 14. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100891>.

Yasir, A. S., Saurabh, B., Ahmed, A., Mohammad, T., Hadi, A., Rekha, C.& Moula, A. (2024). Insights into recent innovations in barrier resistance of edible films for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules* 271. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132354>

CC BY-NC-ND

Postprint