

Aplicación de película comestible a base de proteína-pectina para prolongar la vida en anaquel en arándanos

Application of protein-pectin-based edible film to extend the shelf life in blueberries

Jesús S. Esquivel, Yeime Robles, Francisco Valero, Guillermo C. G. Martínez-Ávila, Romeo Rojas*

Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. General Escobedo, CP 66050, Nuevo León, México.
*Autor por correspondencia: romeo.rojasmln@uanl.edu.mx

Resumen

El empaque de alimentos ecoamigable ha retomado gran importancia en los últimos años debido a que se ha generado conciencia respecto al uso excesivo de materiales plásticos de empaque. Así mismo, la población ha retornado al consumo de alimentos que benefician la salud, como los arándanos, que tienen gran cantidad de compuestos bioactivos, pero corta vida de anaquel. Las películas comestibles representan una alternativa viable de conservación, para lo cual se formuló una a base de pectina (0.4% p/v), proteína (0.4% p/v) y glicerol como plastificante para aplicarla en arándanos y así conservarlos a temperatura ambiente por cinco días. La película presentó una permeabilidad al vapor de agua de 75.82×10^{-11} g/m s Pa, lo cual permite reducir la pérdida de agua en los arándanos un 4.42% respecto al control, y los mantiene con mejor apariencia. Por tal motivo, la aplicación de la película resulta una alternativa viable para la conservación de arándanos a temperatura ambiente en lugares calurosos y húmedos.

Palabras clave: pectina, películas comestibles, proteína, vida de anaquel.

Abstract

Eco-friendly food packaging has regained great importance in recent years due to the awareness of excessive use of plastic packaging materials. Likewise, the population has resumed the foods consumption with health benefits, such as blueberries since they have many bioactive compounds but have a short shelf-life. Edible films represent a viable alternative for preservation, therefore, a film based on pectin (0.4% w/v) and protein (0.4% w/v) and glycerol as a plasticizer was formulated to apply it to blueberries and store them at room temperature for five days. The film presented a water vapor permeability of 75.82×10^{-11} g/m s Pa, which allows it to reduce water loss in blueberries by 4.42% compared to the control. Likewise, it maintains a better appearance than the control. Therefore, it is a viable alternative for preserving blueberries at room temperature in hot and humid environments.

Keywords: pectin, edible films, protein, shelf-life.

INTRODUCCIÓN

El empaque de alimentos es una de las operaciones unitarias más críticas después de la cosecha para mantener y extender la vida de anaquel de frutas y vegetales. La principal función del empaque de alimentos es protegerlos del exterior (Hasan et al. 2022). Sin embargo, el creciente uso de plásticos ha alcanzado hasta 380 toneladas anuales, y muestra un fuerte incremento en las últimas décadas, ya que 40% de los plásticos se usan para embalaje de alimentos (Groh et al. 2019). Adicionalmente, en los últimos años se ha generado una mayor conciencia para reducir el uso de materiales plásticos para empaque de alimentos, a la vez que se

ha incrementado el consumo de alimentos con propiedades benéficas para la salud, por lo que se ha prestado más atención a los llamados superalimentos (Hwang et al. 2020).

Este grupo incluye las llamadas berries, dentro del cual se encuentran los arándanos *Vaccinium corymbosum* L. (Ericaceae), que son una fuente importante de compuestos bioactivos (polifenoles principalmente), a los cuales se les atribuye gran cantidad de propiedades benéficas para la salud: antioxidante, antitumoral, antiinflamatoria y antimicrobiana, entre otras (Joseph et al. 2014; Aqil et al. 2016). Sin embargo, la fruta fresca de arándano es uno de los alimentos más perecederos, debido a su pequeño tamaño y a la rapidez con la que se dan sus procesos fisiológicos, que con el tiempo causan pérdida de peso, ablandamiento de tejido, ataque microbiano y deterioro de características sensoriales (Piechowiak et al. 2018); estos procesos fisiológicos provocan pérdidas de hasta 20% de su producción, y México es uno de los principales productores con 36 700 ton/año (SADER, 2018). A esto se suma que México exporta el 95.4% de su producción y en el mercado internacional tiene un valor de hasta 14 000 dólares/ton (Bell et al. 2021). Por tal motivo, es de suma importancia la búsqueda de tecnologías efectivas para retardar estos cambios y poder prolongar su vida de anaquel.

Las películas comestibles pueden utilizarse como una alternativa a las formas tradicionales de almacenamiento de origen petroquímico. Las películas comestibles se formulan regularmente a base de polímeros como almidón (Wigati et al. 2022), carboximetilcelulosa (Lin et al. 2022), quitosano (Yuan et al. 2022), alginato (Yuan et al. 2022), ceras naturales de abejas (Pérez-Vergara et al. 2020), carnauba (Oliveira-Filho et al. 2020) y candelilla (Alvarez-Perez et al. 2022), entre otros componentes. La combinación pectina/proteína ha mostrado ser una alternativa para la formulación de películas comestibles que se han aplicado con éxito en frutas frescas cortadas (Rossi-Marquez et al. 2017), y en alimentos fritos y horneados (Rossi-Marquez et al. 2014). Debido a sus propiedades de interacción químico-estructural, se ha demostrado que modifican la atmosfera que rodea al producto al actuar como una barrera semipermeable que controla el intercambio de gases, reduce la pérdida de agua, mantiene la firmeza y reducen el desarrollo de microorganismos (Carvalho et al. 2016). Sin embargo, existen pocos estudios sobre la aplicación de películas comestibles en la vida de anaquel de arándanos, por lo que el objetivo principal de esta investigación fue formular una película comestible a base de proteína/pectina para aplicarla en arándanos, y así prolongar su vida de anaquel.

MATERIALES Y MÉTODOS

Pectina de cáscara de cítricos (0.4% p/v) [Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA] y proteína de leche (0.4% p/v) [Dairy America® Fresno, CA, 93711] se disolvieron

en agua destilada con agitación constante durante 1 h, a 23°C; después, se agregó glicerol a una concentración de 0.4% v/v y se continuó agitando hasta disolver toda la mezcla. Esta formulación se seleccionó con base en estudios previos no reportados (pruebas preliminares nivel laboratorio), con el objetivo de obtener una buena película comestible para su posterior caracterización. Enseguida, se colocaron 28 mL de solución formadora de película comestible en cajas Petri de poliestireno y se secaron a 45 °C durante 24 h. Las películas se acondicionaron a $54 \pm 1\%$ de humedad relativa (HR) y 20 °C con ayuda de un sensor de temperatura y humedad (Xiaomi Monitor 2, NUN4126GL), colocándolas en un recipiente desecador con una solución saturada de $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Luna-Sosa et al. 2020).

Caracterización de la película comestible

El grosor se determinó de acuerdo con lo reportado por Semwal et al. (2022). Se usó un micrómetro digital (Model IP65 0-1", Mitutoyo America Corporation, Aurora, IL, USA) con una sensibilidad de 0.001 mm. Se realizaron 50 determinaciones de diferentes partes de la película comestible para asegurar la consistencia. La media se utilizó para el posterior análisis de determinación de permeabilidad al vapor de agua (WVP).

Para determinar la permeabilidad al vapor de agua, se usó el método gravimétrico ASTM E96-92 modificado por McHUGH et al. (1993) y descrito por Luna-Sosa et al. (2020). Se colocó la película en una celda de permeación que contenía CaCl_2 en su interior (0% HR; 20 °C), y se colocó en un desecador que contenía agua destilada (100% HR, 2.337×10^3 Pa, 20 °C). El desecador tenía en su interior un ventilador para mantener la homogeneidad del sistema. El incremento de peso de las celdas de permeación se registró cada hora, durante 6 h. La pendiente del incremento se obtuvo mediante regresión lineal simple para determinar la WVTR con la ecuación (1), para luego determinar la WVP de la película con la ecuación (2):

$$WVTR = \frac{\frac{gH_2O}{h}}{\text{Área (m}^2\text{)}} \quad \text{Ecuación (1)} \quad WVP = \left[\frac{WVTR \cdot L}{\Delta P} \right] \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

$WVTR$ = es la tasa de transmisión de vapor de agua medida a través de la película
 $\frac{gH_2O}{h}$ = es la pendiente del incremento en peso de las celdas de permeación *vs* tiempo

Área (m²)= es el área por la cual pasa el vapor de agua
 L = es la media del espesor de la película (m)
 ΔP = es la diferencia de presión de vapor de agua parcial (Pa) a través de los dos lados de la película. El análisis se realizó por triplicado.

La tasa de transmisión de luz y la transparencia de la película se midieron de acuerdo con los métodos reportados anteriormente (Zhang y Han 2006; Sandoval et al. 2019). La longitud de onda que se seleccionó fue de 600 nanómetros (nm), para lo cual se usó un espectrofotómetro UV visible. Para determinar la absorbancia y la transmitancia, la película (0.5 x 4 cm) se colocó en una celda de cuarzo; para este propósito se utilizó la siguiente ecuación, de acuerdo con Han y Floros (1997):

$$\text{Transparencia} = \frac{A_{600}}{\text{grosor}} - \frac{\log T_{600}}{\text{grosor}}$$

Donde:

A_{600} y T_{600} es la absorbancia y la transmitancia, respectivamente.

Para realizar la aplicación de película, los arándanos se adquirieron en la central de abastos de San Nicolás de los Garza, N.L., los cuales se seleccionaron tomando en cuenta su estado de maduración y que no tuvieran daños ni contaminación microbiana visible. Posteriormente, se lavaron y se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio (0.2 g/L) por 5 min y se secaron a temperatura ambiente (27 ± 1 °C). Los arándanos fueron sumergidos en la solución formadora de película comestible por 2 s, luego se secaron con ayuda de un ventilador a temperatura ambiente por 2 min. Los frutos con película fueron denominados como WEF y los frutos sin película como WOEf.

Los arándanos se almacenaron a temperatura ambiente (27 ± 1 °C) por cinco días (120 h). Con la finalidad de determinar la vida de anaquel de los arándanos y la funcionalidad de la película comestible, durante el periodo de almacenamiento se evaluó cada 24 h la pérdida de peso, con la ayuda de una balanza analítica Ohaus [Modelo E-02130 (Parsippany, USA)]. Los cambios de apariencia se registraron con una cámara fotográfica Panasonic DMC-LZ2 y la acidez se determinó con base al método AOAC 942.15 por titulación, con una solución de NaOH 0.1 N, usando fenolftaleína como indicador. El resultado se expresó como porcentaje de ácido málico.

Los datos obtenidos para vida de anaquel se analizaron como un diseño completamente al azar con el software InfoStat (versión 2017 1.2), mediante análisis de varianza. Se realizó una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Caracterización de la película comestible

El grosor de la película se presenta en el Cuadro 1 y muestra un grosor de 71.04 μm . Se han reportado películas de pectina (2% p/v) con grosores de 80 μm (Luna-Sosa et al. 2020), pectina (1% p/v) con grosor de 68.60 μm (Brion-Espinoza et al. 2021) y pectina (3 y 5% p/v) con grosores desde 120 hasta 180 μm (Mehraj y Sistla 2022). Con el uso de proteína de gluten (3% p/v) en rangos de 47.89 – 69.37 μm (Dong et al. 2022), proteína de suero (5% p/v) con grosor de 47 μm (Sogut et al. 2022). El valor obtenido en el presente estudio es similar a lo reportado en literatura, lo cual se debe a la cantidad de sólidos presentes en la solución formadora de película comestible, así como al uso de glicerol como plastificante, ya que es un buen agente de retención de agua intramolecular, debido a que la absorción de agua está relacionada con la polaridad del polímero. No así, por ejemplo, en otros casos como el uso de etilenglicol, ya que posee en su estructura menos grupos hidroxilo (Zhang y Han 2006).

Cuadro 1. Propiedades de la película comestible	
Grosor (μm)	71.04 $\pm$ 5.96
Permeabilidad a vapor de agua (WVP, g/m s Pa)	75.82 $\pm$ 1.57 $\times 10^{-11}$
Tasa de transmisión de luz (T_{600} , %)	27.92 $\pm$ 0.16
Transparencia (A_{600}/mm)	7.83 $\pm$ 0.67

El Grosor se realizó con 50 determinaciones por película (3 películas). WVP, T_{600} y A_{600} se realizaron por triplicado.

La WVP es una de las propiedades más importantes para determinar qué tan idónea es una película comestible para su aplicación en alimentos. Una película debe evitar, o cuando menos reducir la transferencia de humedad entre el ambiente y el alimento, con la finalidad de ralentizar su respiración (Dashipour et al. 2015). La película desarrollada a base de pectina y proteína presenta una WVP de 75.82 $\times 10^{-11}$ g/m s Pa. Para películas de pectina, proteína y/o combinaciones se reporta WVP de hasta 508.33 $\times 10^{-11}$ g/m s Pa; sin embargo, el promedio con el uso de estos polímeros oscila entre 8.28 $\times 10^{-11}$ y 143.05 $\times 10^{-11}$ g/m s Pa (Chen et al. 2022; Sogut et al. 2022). Una permeabilidad dentro de los rangos medios reportados se puede deber a la interacción entre la pectina y la proteína, lo cual limita la disponibilidad de grupos hidrógeno para formar enlaces H con el agua, lo que disminuye la afinidad por el agua y provoca una disminución de la permeabilidad (Ngo et al. 2018). Este efecto se reporta en películas de quitosano con péptidos de maíz,

donde la adición de péptidos disminuyó las propiedades hidrofílicas del quitosano y, por consiguiente, la WVP. Por ello, la adición de proteína puede generar fracciones insolubles debido a la formación de enlaces covalentes en la película (Li et al. 2019) y podría contribuir para formar una estructura rígida en la que el glicerol se incrusta firmemente en la matriz.

Como material de empaque o recubrimiento, las propiedades de tasa de transmisión de luz y transparencia afectan directamente la visibilidad o apariencia del producto en que se aplica. La mezcla pectina-proteína para la película comestible puede formar una superficie rugosa que disipa la luz incidente en forma de dispersión parcial (Zhou et al. 2021), reduciendo la luz visible (400-750 nm) de transmitancia de la película, por lo que mejora sus propiedades de protección contra la luz. Esto se hace evidente ya que sólo reduce el paso de luz en un 72.08%. La transparencia muestra un valor alto, lo que indica una opacidad en la película, pero se sabe que también está influenciada por el grosor (Wu et al. 2009). De acuerdo con la literatura, es difícil la relación entre la transparencia y los compuestos en las películas, pero el tipo de plastificante influye, en gran medida, en las propiedades de barrera a la luz (Zhang y Han 2006).

Vida de anaquel

Para frutas, la reducción de la pérdida de peso es muy importante, y el uso de películas comestibles es una excelente herramienta para lograrlo (Saucedo-Pompa et al. 2009; Cruz et al. 2015). Los dos tratamientos tuvieron un incremento en la pérdida de peso durante el periodo de almacenamiento. La mayor pérdida se dio con el tratamiento WOEf y la menor pérdida con el WEF. Sin embargo, la aplicación de la película comestible redujo la pérdida de peso con 4.42% a las 120 h (Figura 1).

Resultados similares han obtenido otros autores al aplicar en arándanos películas comestibles a base de carboximetilcelulosa (Liu et al. 2022), hidroxipropilmetil celulosa (Osorio et al. 2011), proteína de soya (Lu et al. 2021) y almidón (Piechowiak et al. 2022), sin afectar significativamente la pérdida de peso, acidez y la pérdida de sólidos solubles (Piechowiak et al. 2022). Estos resultados se deben a la barrera formada alrededor del fruto, que reduce la pérdida de vapor de agua, lo que retrasa su proceso de maduración (Amanullah et al. 2016; Soro et al. 2021). Además, la formación de complejos reticulados de proteína/pectina reducen el espacio intersticial dentro de la red de la película y, en consecuencia, disminuyen el intercambio gaseoso (di Pierro et al. 2013).

La primera impresión que tiene un consumidor al comprar un fruto es la que define su compra. Por ello, la aplicación de películas comestibles ayuda a preservar la apariencia visual del fruto. El Cuadro 2 muestra las fotografías de

los cambios de apariencia de los arándanos al tiempo 0 y a las 120 h después de almacenamiento, a temperatura ambiente. Se observa que el uso de una película comestible conserva la apariencia del fruto a lo largo del almacenamiento.

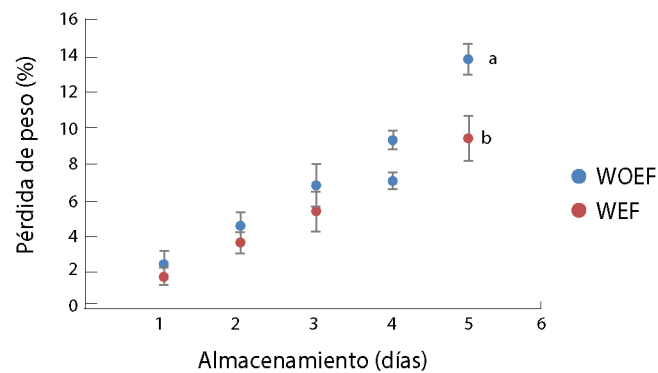


Figura 1. Pérdida de peso en arándanos (WOEF): sin película comestible; WEF: con película comestible. Letras diferentes indican diferencia significativa.

Cuadro 2. Apariencia visual de los arándanos.		
Tratamiento	Inicio (0 h)	Fin (120 h)
WOEF		
WEF		

WOEF: sin película comestible; WEF: con película comestible.

Estos cambios se deben a que las películas comestibles modifican el ambiente interno de la fruta, con altos niveles de CO₂ y bajos niveles de O₂, lo que reduce la tasa de respiración para retrasar el proceso de senescencia (Bosquez-Molina et al. 2010; De León-Zapata et al. 2015; Aguirre-Joya et al. 2017). Así mismo, una menor cantidad de agua residual en los arándanos sin recubrir se refleja en una apariencia no deseable (Rossi-Marquez et al. 2017). Adicionalmente, para produc-

tos con un alto contenido de compuestos fenólicos, no hay duda de que la película comestible con una tasa de transmisión de luz baja es útil para el almacenamiento de alimentos sensibles a la luz (Yang et al. 2014).

CONCLUSIÓN

El uso de una combinación de proteína y pectina para la formulación de películas comestibles es una alternativa económica y con características de baja WVP, por lo que prolonga la vida de anaquel de arándanos a temperatura ambiente por cinco días, al mantenerlos con su apariencia y reducir la pérdida de agua, de tal manera que resulta una alternativa viable para la conservación de arándanos en ambientes cálidos y húmedos.

AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Química y Bioquímica de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por las facilidades prestadas para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

LITERATURA CITADA

- Aguirre-Joya J. A., Ventura-Sobrevilla J., Martínez-Vazquez G., Ruelas-Chacón X., Rojas R., Rodríguez-Herrera R. and C.N. Aguilar. 2017. Effects of a natural bioactive coating on the quality and shelf life prolongation at different storage conditions of avocado (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. *Food Packaging and Shelf Life*. 14(B): 102-107. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.09.003>
- Alvarez-Perez O.B., Ventura-Sobrevilla J.M., Torres-León C., Rojas-Molina R., Rodríguez-Herrera R., Aguilar-González, M.A. and C.N. Aguilar. 2022. Development and characterization of whey protein films incorporated with tarbush polyphenols and candelilla wax. *Food Bioscience*. 45. 101505. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101505>
- Amanullah S., Jahangir M.M., Ikram R.M., Sajid M., Abbas F. and A.I. Mallano. 2016. Aloe vera Coating Efficiency on Shelf Life of Eggplants at Differential Storage Temperatures. *Journal of Northeast Agricultural University (English Edition)*. 23(4): 15-25. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1006-8104\(17\)30003-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1006-8104(17)30003-X)
- Aqil F., Jeyabalan J., Kausar H., Munagala R., Singh I.P. and R. Gupta. 2016. Lung cancer inhibitory activity of dietary berries and berry polyphenolics. *Journal of Berry Research*. 6(2): 105-114. <https://doi.org/10.3233/JBR-160120>



- Bell S.R., Hernández Montiel L.G., González Estrada R.R. and P. Gutiérrez Martínez. 2021. Main diseases in postharvest blueberries, conventional and eco-friendly control methods: A review. *LWT*. 149: 112046. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.112046>
- Bosquez-Molina E., Jesús E.R., Bautista-Baños S., Verde-Calvo J.R. and J. Morales-López. 2010. Inhibitory effect of essential oils against *Colletotrichum gloeosporioides* and *Rhizopus stolonifer* in stored papaya fruit and their possible application in coatings. *Postharvest Biology and Technology*. 57(2): 132-137. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.03.00>
- Brion-Espinoza I.A., Iñiguez-Moreno M., Ragazzo-Sánchez J.A., Barros-Castillo J.C., Calderón-Chiu C. and M. Calderón-Santoyo. 2021. Edible pectin film added with peptides from jackfruit leaves obtained by high-hydrostatic pressure and pepsin hydrolysis. *Food Chemistry: X*. 12: 100170. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2021.100170>
- Carvalho R.L., Cabral M.F., Germano T.A., de Carvalho W.M., Brasil I.M., Gallão M.I., Moura C.F.H., Lopes M.M.A. and M.R.A. de Miranda. 2016. Chitosan coating with trans-cinnamaldehyde improves structural integrity and antioxidant metabolism of fresh-cut melon. *Postharvest Biology and Technology*. 113: 29-39. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2015.11.004>
- Chen H., Wu C., Feng X., He M., Zhu X., Li Y. and F. Teng F. 2022. Effects of two fatty acids on soy protein isolate/sodium alginate edible films: Structures and properties. *LWT*. 159:113221. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2022.113221>
- Cruz V., Rojas R., Saucedo-Pompa S., Martinez D.G., Aguilera-Carbo A.F., Alvarez O.B., Rodriguez R., Ruiz J. and C.N. Aguilar. 2015. Improvement of Shelf Life and Sensory Quality of Pears Using a Specialized Edible Coating. *Journal of Chemistry*. 2015(3): 1-7. <https://doi.org/10.1155/2015/138707>
- Dashipour A., Razavilar V., Hosseini H., Shojaei-Aliabadi S., German J.B., Ghanati K., Khakpour M. and R. Khaksar. 2015. Antioxidant and antimicrobial carboxymethyl cellulose films containing *Zataria multiflora* essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*. 72: 606-613. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2014.09.006>
- De León-Zapata M.A., Sáenz-Galindo A., Rojas-Molina R., Rodríguez-Herrera R., Jasso-Cantú D. and C.N. Aguilar. 2015. Edible candelilla wax coating with fermented extract of tarbush improves the shelf life and quality of apples. *Food Packaging and Shelf Life*. 3: 70-75. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2015.01.001>
- Di Pierro P., Rossi Marquez G., Mariniello L., Sorrentino A., Villalonga R. and R. Porta. 2013. Effect of transglutaminase on the mechanical and barrier properties of whey protein/pectin films prepared at complexation pH. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61(19): 4593-4598. <https://doi.org/10.1021/jf400119q>

- Dong M., Tian L., Li J., Jia J., Dong Y., Tu Y., Liu X., Tan C. and X. Duan. 2022. Improving physicochemical properties of edible wheat gluten protein films with proteins, polysaccharides and organic acid. *LWT*. 154: 112868 <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.112868>
- Groh K.J., Backhaus T., Carney-Almroth B., Geueke B., Inostroza P.A., Lennquist A., Leslie H.A., Maffini M., Slunge D., Trasande L., Warhurst A.M., and J. Muncke. 2019. Overview of known plastic packaging-associated chemicals and their hazards. *Science of The Total Environment*. 651(2): 3253-3268. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.015>
- Han J.H. and J.D. Floros. 1997. Casting Antimicrobial Packaging Films and Measuring Their Physical Properties and Antimicrobial Activity. *Journal of Plastic Film and Sheeting*. 13(4), 287-298. <https://doi.org/10.1177/875608799701300405>
- Hasan M., Mangaraj S., Verma D.K. and P.P. Srivastav. 2022. Trends in Edible Packaging Films and its Prospective Future in Food: A Review. *Applied Food Research*. 2(1): 100118. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100118>
- Hwang H., Kim Y.J. and Y. Shin. 2020. Assessment of Physicochemical Quality, Antioxidant Content and Activity, and Inhibition of Cholinesterase between Unripe and Ripe Blueberry Fruit. *Foods*. 9(690): 1-12. <https://doi.org/10.3390/FOODS9060690>
- Joseph S.v., Edirisinghe I. and B.M. Burton-Freeman. 2014. Berries: Anti-inflammatory effects in humans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 62(18): 3886-3903. <https://doi.org/10.1021/jf4044056>
- Li C., Wang L. and F. Xue F. 2019. Effects of Conjugation between Proteins and Polysaccharides on the Physical Properties of Emulsion-Based Edible Films. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 96(11): 1249-1263. <https://doi.org/10.1002/AOCS.12278>
- Lin L., Peng S., Shi C., Li C., Hua Z. and H. Cui. 2022. Preparation and characterization of cassava starch/sodium carboxymethyl cellulose edible film incorporating apple polyphenols. *International Journal of Biological Macromolecules*. 212: 155-164. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.121>
- Liu X., Xue F., Li C. and B. Adhikari. 2022. Physicochemical properties of films produced using nanoemulsions stabilized by carboxymethyl chitosan-peptide conjugates and application in blueberry preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*. 202: 26-36. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.12.186>
- Lu J., Li T., Ma L., Li S., Jiang W., Qin W., Li S., Li Q., Zhang Z. and H. Wu. 2021. Optimization of heat-sealing properties for antimicrobial soybean protein isolate film incorporating diatomite/thymol complex and its application on blueberry packaging. *Food Packaging and Shelf Life*. 29: 100690. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100690>



- Luna-Sosa B., Martínez-Ávila G.C.G., Rodríguez-Fuentes H., Azevedo A.G., Pastрана L.M., Rojas R. and M.A. Cerqueira. 2020. Pectin-Based Films Loaded with Hydroponic Nopal Mucilages: Development and Physicochemical Characterization. *Coatings*. 10(5): 1-14. <https://doi.org/10.3390/coatings10050467>
- McHugh T.H., Avena-Bustillos R. and J.M. Krochta. 1993. Hydrophilic Edible Films: Modified Procedure for Water Vapor Permeability and Explanation of Thickness Effects. *Journal of Food Science*. 58(4): 899-903. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.1993.TB09387.X>
- Mehraj S. and Y.S. Sistla. 2022. Optimization of process conditions for the development of pectin and glycerol based edible films: Statistical design of experiments. *Electronic Journal of Biotechnology*. 55: 27-39. <https://doi.org/10.1016/J.EJBT.2021.11.004>
- Ngo T.M.P., Dang T.M.Q., Tran T.X. and P. Rachtanapun. 2018. Effects of Zinc Oxide Nanoparticles on the Properties of Pectin/Alginate Edible Films. *International Journal of Polymer Science*. 2018: 1-10. <https://doi.org/10.1155/2018/5645797>
- Oliveira-Filho J.G., Bezerra C.C. de O.N., Albiero B.R., Oldoni F.C.A., Miranda M., Egea M.B., Azeredo H.M.C. and M.D. Ferreira. 2020. New approach in the development of edible films: The use of carnauba wax micro- or nanoe-mulsions in arrowroot starch-based films. *Food Packaging and Shelf Life*. 26: 100589. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2020.100589>
- Osorio F.A., Molina P., Matiacevich S., Enrione J. and O. Skurtys. 2011. Characteristics of hydroxy propyl methyl cellulose (HPMC) based edible film developed for blueberry coatings. *Procedia Food Science*. 1: 287-293. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.045>
- Pérez-Vergara L.D., Cifuentes M.T., Franco A.P., Pérez-Cervera C.E. and R.D. Andrade-Pizarro. 2020. Development and characterization of edible films based on native cassava starch, beeswax, and propolis. *NFS Journal*. 21: 39-49. <https://doi.org/10.1016/J.NFS.2020.09.002>
- Piechowiak T., Antos P., Józefczyk R., Kosowski P., Skrobacz K. and M. Balawejder. 2018. Impact of Ozonation Process on the Microbiological Contamination and Antioxidant Capacity of Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) Fruit during Cold Storage. *Ozone: Science & Engineering*. 41(4): 376-385. <https://doi.org/10.1080/01919512.2018.1540922>
- Piechowiak T., Grzelak-Błaszczak K., Sójka M., Skóra B. and M. Balawejde. 2022. Quality and antioxidant activity of highbush blueberry fruit coated with starch-based and gelatine-based film enriched with cinnamon oil. *Food Control*. 138: 109015. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109015>
- Rossi-Marquez G., di-Pierro P., Esposito M., Mariniello L. and R. Porta. 2014. Application of Transglutaminase-Crosslinked Whey Protein/Pectin Films as

- Water Barrier Coatings in Fried and Baked Foods. *Food and Bioprocess Technology*. 7(2): 447-455. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-1045-9>
- Rossi-Marquez G., di-Pierro P., Mariniello L., Esposito M., Giosafatto C.V.L. and R. Porta. 2017. Fresh-cut fruit and vegetable coatings by transglutaminase-crosslinked whey protein/pectin edible films. *LWT*. 75: 124-130. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2016.08.017>
- Sandoval D.C., Luna-Sosa B., Martínez-Ávila G.C.G., Rodríguez-Fuentes H., Avendaño-Abarca V.H. and R. Rojas. 2019. Formulation and Characterization of Edible Films Based on Organic Mucilage from Mexican *Opuntia ficus-indica*. *Coatings*. 9(8): 1-11. <https://doi.org/10.3390/coatings9080506>
- Saucedo-Pompa S., Rojas-Molina R., Aguilera-Carbó A.F., Saenz-Galindo A., de la Garza H., Jasso-Cantú D. and C.N. Aguilar. 2009. Edible film based on candelilla wax to improve the shelf life and quality of avocado. *Food Research International*. 42(4): 511-515. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.02.017>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Agropecuario (SADER). 2018. Cultivo del arándano en México, reto superado. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/cultivo-del-arandano-en-mexico-reto-superado> (Fecha de consulta: 27 de mayo de 2022).
- Semwal A., Ambatipudi K. and N.K. Navani. 2022. Development and characterization of sodium caseinate based probiotic edible film with chia mucilage as a protectant for the safe delivery of probiotics in functional bakery. *Food Hydrocolloids for Health*. 2: 100065. <https://doi.org/10.1016/J.FHFH.2022.100065>
- Sogut E., Filiz B.E. and A.C. Seydim. 2022. Whey protein isolate- and carrageenan-based edible films as carriers of different probiotic bacteria. *Journal of Dairy Science*. 105(6): 4829-4842. <https://doi.org/10.3168/JDS.2021-21245>
- Soro A.B., Noore S., Hannon S., Whyte P., Bolton D.J., O'Donnell C. and B.K. Tiwari. 2021. Current sustainable solutions for extending the shelf life of meat and marine products in the packaging process. *Food Packaging and Shelf Life*. 29: 100722. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100722>
- Wigati L.P., Wardana A.A., Tanaka F. and F. Tanaka. 2022. Edible film of native jicama starch, agarwood Aetoxylon Bouya essential oil and calcium propionate: Processing, mechanical, thermal properties and structure. *International Journal of Biological Macromolecules*. 209(A): 597-607. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.04.021>
- Wu H., Liu C., Chen J., Chang P.R., Chen Y. and D.P. Anderson. 2009. Structure and properties of starch/ α -zirconium phosphate nanocomposite films. *Carbohydrate Polymers*. 77(2): 358-364. <https://doi.org/10.1016/J.CARB-POL.2009.01.002>
- Yang N., Sun Z.X., Feng L.S., Zheng M.Z., Chi D.C., Meng W.Z., Hou Z.Y., Bai W. and K.Y. Li. 2014. Plastic Film Mulching for Water-Efficient Agricultural



- Applications and Degradable Films Materials Development Research. *Materials and Manufacturing Processes*. 30(2): 143-154. <https://doi.org/10.1080/10426914.2014.930958>
- Yuan D., Hao X., Liu G., Yue Y. and J. Duan. 2022. A novel composite edible film fabricated by incorporating W/O/W emulsion into a chitosan film to improve the protection of fresh fish meat. *Food Chemistry*. 385: 132647. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.132647>
- Yuan Y., Wang H., Fu Y., Chang C. and J. Wu. 2022. Sodium alginate/gum arabic/glycerol multicomponent edible films loaded with natamycin: Study on physicochemical, antibacterial, and sweet potatoes preservation properties. *International Journal of Biological Macromolecules*. 213: 1068-1077. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2022.06.040>
- Zhang Y. and J.H. Han. 2006. Plasticization of Pea Starch Films with Monosaccharides and Polyols. *JFS E: Food Engineering and Physical Properties*. 71(6): 253-261. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00075.x>
- Zhou X., Dai Q., Huang X. and Z. Qin. 2021. Preparation and characterizations of antibacterial-antioxidant film from soy protein isolate incorporated with mangosteen peel extract. *E-Polymers*. 21(1): 575-589. <https://doi.org/10.1515/epoly-2021-0058>