

Propiedades mecánicas y de barrera al vapor de agua de películas de celulosa bacteriana recubiertas con PLA

Mechanical and water vapor barrier properties of PLA-coated bacterial cellulose films

María Luz García Medina¹, Jesús Rubén Rodríguez-Núñez^{1*}, Tomás Jesús Madera Santana², Adán Topiltzin Morales-Vargas¹, Karla Paola Barcenás-Jiménez¹.

¹Programa de Ingeniería en Biotecnología, Universidad de Guanajuato Mutualismo #303, Colonia la Suiza, Celaya, Guanajuato, 38060, México.

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. CTAOV, Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, NO. 46, Hermosillo, Sonora, 83304, México.

jesus.rodriguez@ugto.mx¹

Resumen

La celulosa bacteriana obtenida mediante la fermentación de kombucha posee propiedades únicas como su elevada pureza, biodegradabilidad y biocompatibilidad. En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue evaluar las propiedades mecánicas y de barrera al vapor de agua de películas biodegradables con base en celulosa de kombucha recubiertas con ácido poliláctico (PLA). Se determinó el esfuerzo máximo y el módulo de elasticidad utilizando un texturómetro TA-XT2, y las propiedades de barrera al vapor de agua y velocidad de transmisión de vapor de agua (WVRT). Los resultados muestran una resistencia de esfuerzo máximo de 90 MPa y un módulo elástico de 1,653 MPa, en relación con las propiedades de barrera, el WVRT fue de 141.04 g/h m². Las películas biodegradables de celulosa-PLA muestran buenas propiedades mecánicas y de barrera para aplicaciones en empaques alimentarios.

Palabras clave: Kombucha, módulo elástico, fermentación, resistencia.

Abstract

The bacterial cellulose obtained through kombucha fermentation has unique properties such as its high purity, biodegradability and biocompatibility. In this sense, the objective of the present work was to evaluate the mechanical and water vapor barrier properties of biodegradable films based on kombucha cellulose coated with polylactic acid (PLA). The maximum stress and elastic modulus were determined using a TA-XT2 texturometer, and the water vapor barrier properties and water vapor transmission rate (WVRT). The results show a maximum stress resistance of 90 MPa and an elastic modulus of 1,653 MPa, in relation to the barrier properties, the WVRT was 141.04 g/h m². Biodegradable cellulose-PLA films show good mechanical and barrier properties for food packaging applications.

Keywords: Kombucha, elastic modulus, fermentation, resistance.

Introducción

La celulosa bacteriana obtenida mediante la fermentación denominada Kombucha ofrece una membrana biodegradable de celulosa pura atribuida a la presencia de la bacteria *Acetobacter xylinum*. Las biopelículas de celulosa de esta fermentación poseen características únicas como lo son, su alta pureza, biodegradabilidad, biocompatibilidad y elevada capacidad de absorción del agua. Además, las microfibras de celulosa bacteriana de kombucha son 100 veces más pequeñas en comparación con las de celulosa vegetal lo que le otorga una microestructura tridimensional única. Estas propiedades proponen a las biopelículas de celulosa microbiana como una alternativa en el desarrollo de materiales biodegradables de interés biotecnológico, médico, alimentos, nanotecnología, electrónica, entre otras (Belbekhouche et al., 2011).



Las propiedades mecánicas son fundamentales para la investigación y desarrollo de nuevos materiales. Estas propiedades permiten entender el comportamiento del material al ser sometido a cargas como, la tensión, flexión y compresión. La resistencia a la tensión es la fuerza necesaria para romper la película por resistencia; elongación que implica estirarse antes de romperse; módulo de Young que mide la rigidez y la compresibilidad de un material estructura (Hosseini et al., 2013). Mientras que las propiedades de barrera a gases son importantes para estudiar los materiales que están enfocados en la industria de envasado de alimentos, ya que el envase debe proteger el alimento de la entrada de oxígeno, humedad, olores y sabores externos, para conseguir aumentar el tiempo en el que permanece en condiciones óptimas para su consumo (Cazón, 2022). En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue evaluar las propiedades mecánicas y de barrera al vapor de agua de películas biodegradables a base de celulosa de Kombucha recubiertas con ácido poliláctico (PLA).

Materiales y métodos

Obtención de películas de celulosa-PLA

La celulosa bacteriana fue obtenida a partir de fermentaciones de kombucha inoculadas con el consorcio microbiano SCOBY. Específicamente, se hirvieron 5 litros de agua con té negro como fuente de nitrógeno (25 g/L) y se añadieron 60 g/L de sacarosa como fuente de carbono, paso seguido se dejó enfriar hasta temperatura ambiente, se añadieron 50 ml de inóculo SCOBY recuperado de fermentaciones previas, se ajustó el pH a 4 con ácido acético al 5% y se mantuvo la fermentación durante 30 días a temperatura ambiente. La fermentación se realizó en recipientes de plástico de 45 x 29 cm y la celulosa se acumuló en la superficie de la fermentación, esta se recuperó y se trató con NaOH 0.1 M, se secó a 80 °C, se blanqueó con hipoclorito de sodio al 1% por 30 min, se plastificó con glicerol al 2% durante 24 h y finalmente se secó de nuevo a 80 °C en un horno convencional. Las biopelículas de celulosa fueron recubiertas con ácido poliláctico (PLA) disolviendo el PLA en cloroformo (1 g/10 ml) y se secaron a 80 °C en un horno convencional (Gowri, et al., 2022).

Propiedades mecánicas

Para realizar la prueba de tensión y elongación de las biopelículas de celulosa-PLA, se utilizó un texturómetro TA-XT2 (Texture Technologies Co., Scardale, NY, EUA) según el método de la ASTM D882 (2002). El equipo está constituido por dos mordazas, una móvil y otra fija para sujetar la muestra. Una celda que detecta la fuerza aplicada y un panel de control. Para preparar las muestras, se cortaron probetas de 6x1 cm dejando entre cada mordaza 3 cm de distancia. Los cálculos se realizaron con base en las siguientes fórmulas:

$$\text{Resistencia a la tensión} = \frac{\text{Fuerza máxima (N)}}{\text{Área analizada de la probeta (mm}^2\text{)}}$$

$$\% \text{ Elongación} = \left(\frac{D_f - D_i}{D_i} \right) \times 100$$

Donde D_i es la distancia inicial (3 cm) y D_f es la distancia final.

Propiedades de barrera al vapor de agua

La velocidad de transmisión de vapor de agua (WVTR) de las películas se realizó siguiendo el método gravimétrico de compa húmeda establecido en la norma ASTM E96 E96M (2010). Específicamente, las películas se colocan en la superficie de un recipiente con 20 ml de agua destilada y se introducen en desecador con sílica gel y se mantienen a temperatura ambiente (25 °C). Es necesario mantener constante la humedad relativa (HR) dentro del desecador, para que el flujo del vapor de agua a través de las películas se esté realizando constantemente (el vapor de agua se transporta en todo momento del interior al exterior del recipiente). Las lecturas se realizan evaluando la pérdida de peso del recipiente de manera periódica hasta que el peso se mantenga constante (estabilidad), el valor de WVTR se determinó a partir de la pendiente de cada muestra, mediante un modelo de regresión lineal ($R^2 > 0.99$) aplicando la siguiente ecuación:

$$WVTR = \frac{W \times X}{t \cdot A}$$



Donde t es el tiempo en horas, W es la pendiente, X es el espesor en mm, y A es el área de la sección de transporte de la celda ($A = 2.85 \times 10^{-4} \text{ m}^2$).

La permeación al vapor de agua de las películas se determinó con el valor de WVTR obtenido y el gradiente de presión de vapor (Δp , en mm Hg) y se calculó en base a la siguiente ecuación:

$$\text{Permeancia} = \frac{WVTR}{\Delta p}$$

Resultados y discusión

Propiedades mecánicas

Los resultados de esfuerzo máximo se muestran en la Figura 1. Los valores obtenidos fueron de 80-90 MPa, en este sentido, Scionti, (2010) reportó un valor de 0.5 MPa de esfuerzo máximo en películas de celulosa bacteriana pura. Los resultados obtenidos en el presente trabajo demuestran que el recubrimiento con PLA incrementó de manera importante los valores de tensión de las películas de celulosa-PLA.

En relación con el módulo de elasticidad, el valor obtenido en el presente trabajo fue de 1,653 MPa (Figura 2), mientras que Scionti, (2010) reportó un valor de 2,1101 MPa en películas de celulosa bacteriana pura. Estos resultados son acordes con lo observado, debido a que, al incrementar la resistencia a tensión, disminuye el módulo elástico por que el material gana rigidez.

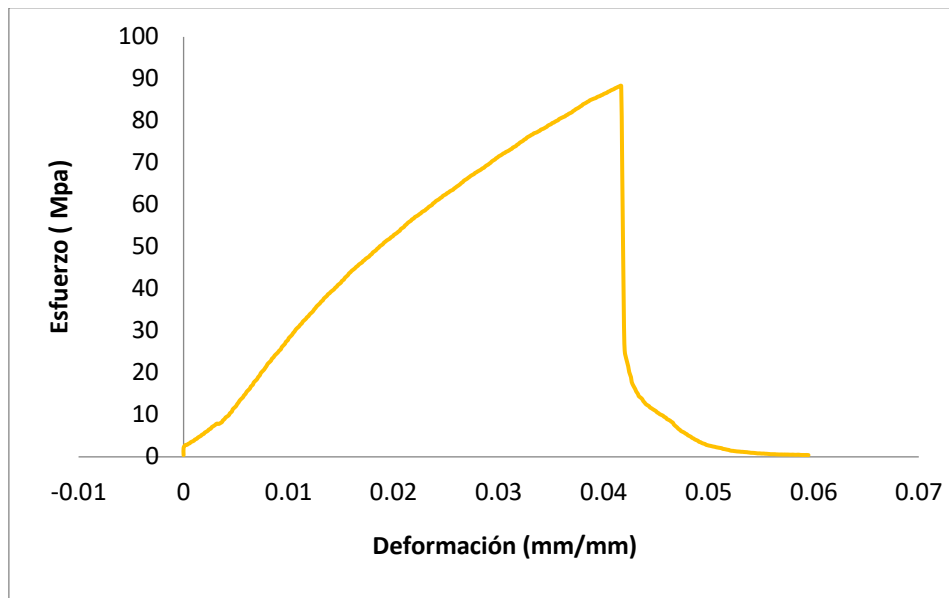


Figura 1. Curva de Esfuerzo-Deformación de películas de celulosa-PLA.
Fuente: Elaboración propia.

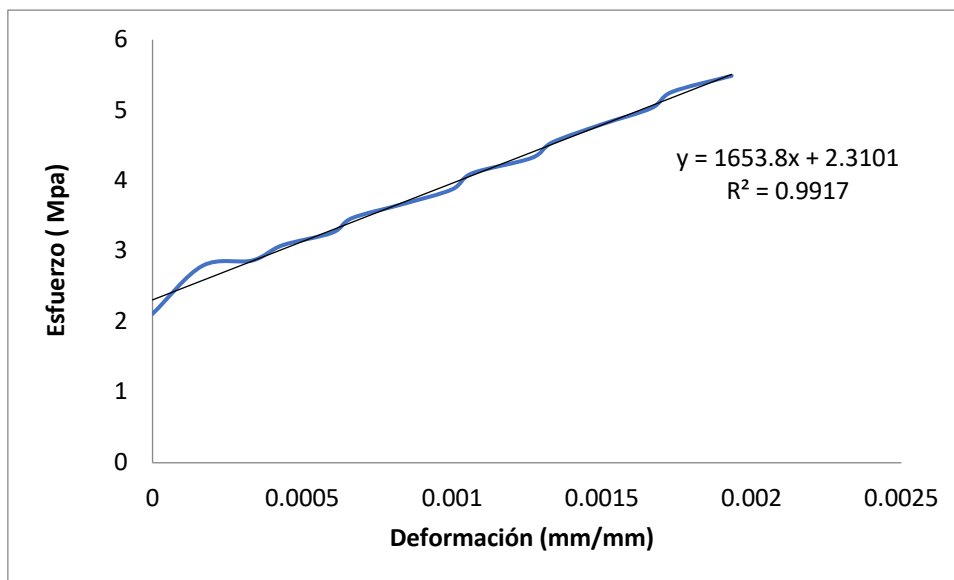


Figura 2. Módulo de elasticidad de películas de celulosa-PLA.
 Fuente: Elaboración propia.

Propiedades de barrera al vapor de agua

Los resultados de los estudios de barrera al vapor de agua de agua realizados en las películas de celulosa bacteriana con PLA se muestran en la Tabla 1. Los cuales, resultan ser valores bajos comparados con películas de almidón o alginato, esto se debe a la presencia de regiones cristalinas propias de la celulosa que funcionan como barrera al vapor de agua (Belbekhouche et al., 2011). Además, el recubrimiento con PLA mejoró dichas propiedades de barrera, debido a su carácter hidrofóbico el cual actúa como barrera al vapor de agua y gases (Serna et al., 2003).

Tabla 1. WVTR velocidad de transmisión de vapor y permeancia.

P vapor (kPa)	P vapor (mm Hg)	Espesor (m)	WVTR g/(h m ²)	Permeancia g/(m ² h mm Hg)
3.4792	26.0962	3.6406	141.0409	9.3183

Fuente: Elaboración propia.

Conclusión

La resistencia a tensión o esfuerzo máximo de las películas de celulosa fue mejorada de manera importante con el recubrimiento de PLA aplicado. El valor de módulo elástico disminuyó con respecto a películas de celulosa bacteriana pura, demostrando que el material ganó rigidez. El recubrimiento de PLA en las películas de celulosa incrementó las propiedades de barrera al vapor de agua, aumentando el carácter hidrofóbico. Las películas de celulosa-PLA se podrían aplicar en alimentos de origen animal con alto contenido de humedad como empaques para quesos y carne.



Referencias

ASTM (2010). Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. E96/E96M-10. Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.

ASTM. (2002). Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastics Sheeting. D882- 02. Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.

Belbekhouche, S., Bras, J., Siquiera, G., Chappey C., Lebrun L., Khelif B., Marais S. y Dufresne A. (2011). Water sorption behavior and gas barrier properties of cellulose whiskers and microfibrils films. *Carbohydrate Polymers*, 83, 1740-1748. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.10.036>

Cazón, P. (2022). Desarrollo y caracterización de películas biodegradables de celulosa combinada con quitosano y alcohol polivinílico. Tesis doctoral. Instituto Politécnico Nacional. Unidad Querétaro, México. 200 p. <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/30064>

Gowri A.V., Shivaji V.S., Bose S., Sampath S., Das S.K., Samanta D., y Baran M.A. (2022). Incorporations of gold, silver and carbon nanomaterials to kombucha-derived bacterial cellulose: Development of antibacterial leather-like materials. *Journal of the Indian Chemical Society*, 100278. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2021.100278>

Hosseini, S.F., Razaeei, M., Zandi, M. y Ghavi, F.F. (2013). Preparation and functional properties of fish gelatin-chitosan blend edible films. *Food Chemistry*, 136, 1490-1495. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.081>

Scionti, G. (2010). Mechanical properties of bacterial cellulose implants. Thesis in master science. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden, 38 p. <https://odr.chalmers.se/server/api/core/bitstreams/67acdf82-bc15-4872-b971-16eae70bc75d/content>

Serna C.L., Rodríguez S.A. y Albán A.F. (2003). Ácido poliláctico (PLA): propiedades y aplicaciones. *Ingeniería y competitividad*. 5, 16-26. <https://doi.org/10.25100/iyc.v5i1.2301>

