

Películas biodegradables de almidón de papa reforzadas con extracto acuoso de piel de mango para su uso como envase activo

Biodegradable potato starch films reinforced with aqueous extract of mango skin for use as active packaging

Nazario-Naveda, R., MSc.¹, Rojas Flores, S., MSc.², Gallozzo Cárdenas, M., MSc.³, Angelats Silva, L., Dr.⁴, Valverde-Díaz, E., Ing.⁵

¹Grupo de Investigación en Ciencias Aplicadas y Nuevas Tecnologías, Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, Perú. renny.nazario@upn.edu.pe

²Universidad Señor de Sipán (USS), Chiclayo, Perú. segundo.rojas.89@gmail.com

³Facultad de Medicina, Universidad César Vallejo (UCV), Trujillo, Perú. mmgc1990@gmail.com

⁴Laboratorio de Investigación Multidisciplinario, Universidad Privada Antenor Orrego (UPAO), Trujillo, Perú. langelatss@upao.edu.pe

⁵Departamento de Ciencias, Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, Perú. estefanyivonny5@gmail.com

Resumen— En este trabajo se presenta el estudio del efecto de la incorporación de extracto acuoso de piel de mango (EPM) sobre las propiedades de películas biodegradables fabricadas a partir de almidón de papa y comprobar su potencial para ser usado como envase activo. El EPM fue añadido en el proceso de gelatinización en concentraciones de 5, 10 y 15% wt. Las propiedades de las películas fabricadas fueron caracterizadas usando Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), Espectroscopía FTIR, cinética de absorción de agua y curvas Esfuerzo-Deformación. Las micrografías MEB muestran una formación con una superficie más lisa, sin vacíos ni grietas en las películas con EPM. Los análisis FTIR confirman la formación de bioplástico de almidón por la presencia de los grupos funcionales O-H, C-H, C-O y O=H. Por otro lado, se confirma que al añadir EPM se logra un aumento en la rigidez de las películas, pero una disminución en la elasticidad, sin embargo, no se afecta la capacidad de absorber agua. Este trabajo destaca los beneficios del uso de los residuos agrícolas y su potencial para la fabricación de materiales que podrían ser usados en la industria alimentaria como envase activo.

Palabras clave—Envasado activo, almidón de papa, extracto de piel de mango, bioplástico, biodegradabilidad.

Abstract— In this work, the study of the effect of the incorporation of aqueous extract of mango skin (EPM) on the properties of biodegradable films made from potato starch is presented and its potential to be used as active packaging is presented. The EPM was added in the gelatinization process in concentrations of 5, 10 and 15% wt. The properties of the manufactured films were characterized using Scanning Electron Microscopy (SEM), FTIR

Spectroscopy, water absorption kinetics and Stress-Strain curves. SEM micrographs show a formation with a smoother surface, without voids or cracks in EPM films. The FTIR analyzes confirm the formation of starch bioplastic by the presence of the functional groups O-H, C-H, C-O and O = H. On the other hand, it is confirmed that by adding EPM an increase in the stiffness of the films is achieved, but a decrease in elasticity, however, the ability to absorb water is not affected. This work highlights the benefits of the use of agricultural residues and its potential for the manufacture of materials that could be used in the food industry as active packaging.

Keywords—Active packaging, potato starch, mango peel extract, bioplastic, biodegradability.

I. INTRODUCCIÓN

La industria del envasado de alimentos está mostrando un creciente interés en el desarrollo de nuevos materiales para garantizar que los alimentos contenidos sean seguros y saludables.[1]. Entre la amplia variedad de materiales utilizados actualmente en el envasado de alimentos se encuentra el envasado activo, que se define como un envasado que cambia las condiciones del alimento empacado para extender su vida útil o mejorar su seguridad mientras mantiene su calidad con la incorporación de componentes activos [2,3]. Los envases activos pueden contener sustancias como los antioxidantes que interactúan con el producto empaquetado. La incorporación de

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.479>

ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

estas sustancias se ha vuelto muy popular ya que la oxidación es una de las principales causas del deterioro de los alimentos. Los antioxidantes sintéticos como el hidroxianisol butilado (BHA) y el hidroxitolueno butilado (BHT) son ampliamente utilizados en la industria alimentaria para inhibir la oxidación de los productos alimenticios [4]. Sin embargo, algunos de estos aditivos artificiales añadidos en los alimentos podrían alterar los sabores de los alimentos y provocar supuestos efectos adversos en la salud humana [3].

Los investigadores se encuentran en la búsqueda de materiales respetuosos con el medio ambiente y los conservantes naturales pueden ser buenas opciones para superar las preocupaciones de salud y los problemas ambientales [3]. Los materiales producidos con biopolímeros de fuentes renovables tienen la capacidad de transportar compuestos activos; por lo tanto, pueden usarse como envases activos para alimentos [5]. En los envases activos, los compuestos activos pueden incorporarse a las películas en lugar de agregarlos directamente a los alimentos, proporcionando efectos funcionales en la superficie de los alimentos, que es donde se encuentra principalmente el proceso de oxidación [6].

Diversos estudios han mostrado que la incorporación de extractos naturales en películas basadas en fuentes renovables puede mejorar las propiedades de las películas de biopolímeros. Ref. [4,7] encontraron que las películas presentan capacidad antioxidante cuando se incorporaron con extracto de té verde. También se han incorporado otros extractos de plantas en las películas, como extracto de algas oxigenadas [8] y nanopartículas de quitosano en películas de gelatina [9] y lignocelulosa en películas de proteína de soya [10]. Por otro lado, se ha investigado la incorporación extracto de piel de mango en películas de gelatina de pescado [11], en películas de base de almidón de yuca para mejorar la actividad antioxidante [12] y en películas en base a almidón de semilla de mango [13]. Encontrando, además, que las películas presentan mejores propiedades mecánicas y cambios en su comportamiento al interactuar con el agua.

A pesar de las altas propiedades antioxidantes en las pieles de mango en comparación con otras frutas, son pocos los estudios que se han realizado para desarrollar este subproducto como uno de los elementos activos en el material de envase [13]. Según [14] el potencial antioxidante de las pieles de mango podría deberse a acciones sinérgicas de los compuestos bioactivos presentes en ellas como los polifenoles, carotenoides, fitoquímicos, enzimas, vitamina C y vitamina E. Ref. [5] realizó una revisión en donde muestra que el contenido total de fenoles y flavonoides era mayor en los subproductos del procesamiento industrial del mango en comparación con los productos finales. Otros estudios han demostrado que las cáscaras de mango son fuentes de componentes valiosos como la pectina y los compuestos fenólicos [15]. Las pieles de mango

aportan entre el 7 y el 24% del peso total de la fruta, aunque estos subproductos a menudo se han considerado residuos [16].

Las materias primas para la fabricación de bioplásticos pueden ser muy variadas, desde almidón de maíz, yuca y otros [17]. Las películas más comunes y que han presentado buenas propiedades físicas y mecánicas son las que fueron fabricadas a partir de almidón de papa [17-19]. Sin embargo, a pesar de su popularidad se sigue buscando el mejoramiento de sus propiedades usando diversos aditivos como son las nanopartículas metálicas [20] o los elementos activos. En este trabajo se propone como objetivo fabricar películas bioactivas incorporando extracto de piel de mango (EPM) en diferentes concentraciones en películas de bioplástico de almidón papa y analizar sus propiedades fisicoquímicas y mecánicas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Obtención del almidón

Se recolectó residuos de papa (*Solanum tuberosum*) de un mercado local. Se eliminaron las partes podridas y la piel. Luego fueron lavadas con agua limpia, secadas superficialmente, luego fueron cortados en trozos pequeños para luego ser triturados en una licuadora añadiendo 1 ml de agua destilada por 1 g de papa. Luego de ser triturado, el producto fue filtrado, obteniendo almidón suspendido en agua, esto fue colocado en un recipiente y se dejó reposar por un tiempo de 2 horas. El sedimento de almidón obtenido fue separado del líquido mediante decantación y lavado con agua destilada, se dejó reposar por segunda vez y se repitió el proceso de decantación. Finalmente, el sedimento obtenido fue secado a temperatura ambiente por 24 horas.

B. Preparación de extracto de piel de mango (EPM)

La piel de mango recolectada fue lavada con agua limpia y enjuagada con agua destilada, se retiró el mesocarpio usando solo el epicarpio. Se trituró en una licuadora usando 50 ml de agua destilada por 1 kg de piel. El extracto fue almacenado y aislado de toda fuente de luz a -5 °C.

C. Fabricación de las películas con EPM

Los elementos usados para la síntesis fueron el almidón de papa, vinagre (ácido acético 3%-5%), agua destilada, glicerol (99%) como plastificante e Hidróxido de Sodio (NaOH 98%), los dos últimos adquiridos de Merck. Las masas fueron medidas usando una balanza analítica Pioneer Plus – Ohaus PA224.

Se dispersó 2.5 g de almidón de papa en 25 ml de agua destilada usando agitación magnética por 10 minutos, luego se le añadió 2.5 ml de glicerina, 2.5 ml de vinagre y EPM (0, 5, 10

y 15% wt) manteniendo la solución bajo agitación y a una temperatura constante de 60 °C para su gelatinización. Se le agregó gota a gota NaOH (0.01 M) hasta llegar a tener un pH neutro, para esta medición se usó un pH-metro Hach HQ40D. Al gelatinizar, la mezcla fue colocada en una placa Petri de 20 cm de diámetro y almacenada para que la película seque a temperatura ambiente por 24 horas.

D. Caracterización de las películas

D.1. Densidad

La densidad de las películas fue determinada usando la norma ASTM D792 con un tamaño de muestra de 5x5 cm². La masa de las películas fueron medidas usando una balanza analítica. La densidad fue calculada con la ecuación (1) en unidades de g/cm³. Los resultados mostrados corresponden al promedio de tres replicas.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \quad (1)$$

D.2. Contenido de Humedad

El contenido de humedad (%) se obtuvo usando un analizador de humedad Ohaus BM5, que mide la pérdida de peso de las películas (5x5 cm²) al secarlas en un horno a 105 °C hasta alcanzar una masa constante. Los resultados mostrados corresponden al promedio de tres repeticiones del experimento.

D.3. Cinética de absorción de agua

La cinética de absorción de agua se determinó usando el método descrito por [22]. Las películas de 2x2 cm² fueron colocadas en un horno a 105 °C por 3 horas y se determinó su peso seco en una balanza analítica. Las películas secas fueron sumergidas en un vaso de precipitación con 30 ml de agua destilada. Se mantuvo sumergido por un tiempo de 5 segundos, luego se retiró, se limpió la superficie húmeda con un paño de algodón suave y se midió el nuevo peso de la película (Peso húmedo). El proceso fue repetido hasta que el peso húmedo alcanzó un valor aproximadamente constante. El experimento fue repetido tres veces para cada muestra y la absorción de agua fue calculada usando la ecuación (2).

$$\text{Absorción de agua (\%)} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100\% \quad (2)$$

D.4. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

El análisis microestructural de las películas de bioplástico fue realizado usando un Microscopio Electrónico de Barrido (Vega 3 LMU Tescan). Las muestras de 1x1 cm² fueron recubiertas

con una delgada capa de carbón para mejorar la resolución de las imágenes y observadas usando un voltaje de aceleración de 5 kV.

D.5. Espectrofotometría Infrarroja por Transformadas de Fourier

Se usó Espectrofotometría Infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR por sus siglas en ingles) para analizar los grupos funcionales de las películas de bioplástico. Se usó un Espectrofotómetro con Transformada de Fourier IS50 Thermo Scientific. El espectro para cada muestra fue realizado con 20 escaneos en un rango de frecuencia desde 4000 a 700 cm⁻¹ con una resolución de 4 cm⁻¹.

D.6. Esfuerzo máximo y deformación en rotura

Las pruebas de Esfuerzo de Tensión y Deformación en Rotura se realizaron siguiendo la norma ASTM D638 con un sistema de tracción a velocidad constante de 2 mm/s, la tensión aplicada se midió usando un sensor de fuerza Dual-Range Vernier con ± 0.01 N de precisión previamente calibrado. Las muestras fueron moldeadas en probetas halterio tipo V con un ancho de 3.18 mm ± 0.5 mm. Se realizaron cuatro repeticiones de la prueba para cada película. Los valores de Esfuerzo de Tensión fueron calculados usando la ecuación (3), en donde el área es el resultado del producto del ancho y el espesor de la película. El espesor se determinó mediante un promedio de cinco medidas en distintos lugares de las películas usando un vernier calibrador digital con ± 0.01 mm de precisión.

$$\text{Esfuerzo de Tensión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área}} \quad (3)$$

D.7. Prueba de biodegradación por composta

Este análisis se realizó siguiendo la metodología reportada por [23] con ligeras modificaciones. Las películas de bioplástico (2x2 cm²) fueron colocadas en suelo de cultivo a una profundidad de 10 cm. La tasa de degradación se calculó usando la ecuación (4) a partir de la pérdida de peso de las muestras a través del tiempo, el peso inicial es el peso seco de la película antes de ser colocada bajo tierra, y el peso final es el peso seco de la película después de la degradación. Las películas fueron retiradas para la medición de pérdida de peso en intervalos de 7 días.

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100\% \quad (4)$$

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Propiedades físicas de las películas

En la Tabla I se presentan las mediciones de densidad y contenido de humedad de las películas de bioplástico control y las incorporadas con EPM. Se observa un aumento progresivo de la densidad con la adición de EPM. Resultados similares fueron encontrados por [11]. El aumento en la densidad puede deberse a un cambio en la estructura de la matriz polimérica durante el proceso de gelatinización por la adición de EPM. Ref. [25] sugiere que la formación de la matriz polimérica se vio interrumpida por la incorporación de EPM, los compuestos del extracto se insertan en las cadenas durante el proceso de gelatinización formando una estructura sobresaliente dentro de la matriz de la película. De acuerdo con [4] el aumento en la densidad es un resultado de una mayor distribución de polifenoles del extracto en la matriz polimérica de las películas, es por eso que un aumento de EPM conduce a matrices poliméricas más compactas y se espera una influencia en la absorción de agua, contenido de humedad y en un aumento de la rigidez.

TABLA I

MEDICIONES DE DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS PELÍCULAS DE BIOPLÁSTICO

Muestra	Densidad (g/cm ³)	Contenido de Humedad (%)
Control	0.80 ± 0.01	22.92 ± 0.74
5%	0.88 ± 0.01	21.74 ± 1.24
10%	0.92 ± 0.01	24.02 ± 1.12
15%	1.12 ± 0.01	23.5 ± 1.18

Los valores mostrados son los promedios ± la desviación estándar.

Los resultados de contenido de humedad presentan un aumento no muy significativo, sin embargo, es relevante debido a que se requiere que los materiales usados en envase activo sean a prueba de agua para prevenir su deterioro. El aumento del contenido de humedad mostraría que la humedad en las películas está asociada a la matriz polimérica de almidón [25].

La cinética de absorción de agua mostrado en la figura 1 evidencia el transporte y almacenamiento de agua en las películas de bioplástico. Se revela que la adición de EPM no modifica la naturaleza hidrofílica del almidón en las películas [22]. Estos resultados sugieren que de alguna manera el EPM no influye en la capacidad de absorber agua de las películas fabricadas a partir de almidón de papa, hecho que es apoyado por los resultados de contenido de humedad. Estas láminas podrían usarse para aislar alimentos de la humedad como en el envasado activo.

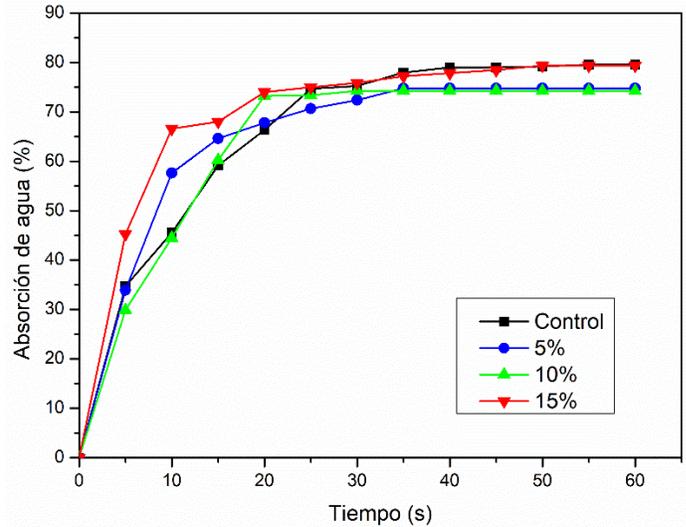


Fig. 1. Curvas de la cinética de absorción de agua.

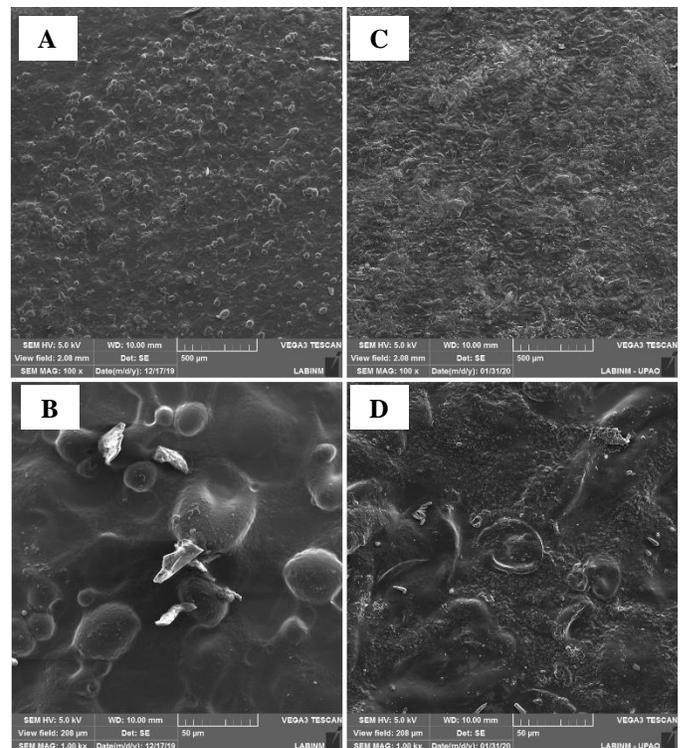


Fig. 2. Micrografías de las superficies de las películas control y con EPM. A: Muestra control 100x, B: Muestra control 1kx, C: Muestra con EPM 100x, D: Muestra con EPM 1kx, realizadas por MEB.

B. Morfología

En la Fig. 2 se muestran las micrográficas de Espectrometría Electrónica de Barrido de películas control y con 15% de EPM. Se observa una superficie con rugosidad y protuberancias, sin grietas ni vacíos para la muestra control (Fig. 2. A y B) debido a que la matriz polimérica de la película se formó de manera continua, sin embargo, también se pueden observar partículas de almidón que no llegaron a gelatinizar. Por otro lado, la muestra con EPM (Fig. 2. C y D) presentan una superficie más lisa, sin granos, posiblemente por los cambios en el arreglo de las moléculas durante el proceso de gelatinización de las películas, no se presentan fisuras ni vacíos en la superficie debido a que las fuerzas intermoleculares de la cadena de proteínas contribuyeron a la formación de una estructura más compacta [11]. Además, no se observan residuos de almidón, por lo que se puede decir que la gelatinización fue más completa. Estas características pueden ser influyentes en la flexibilidad.

C. Espectrofotometría Infrarroja por Transformadas de Fourier

La Fig. 3 muestra los espectros FTIR de almidón de papa, EPM, película de bioplástico control y película de bioplástico incorporado con 15% de EPM. Los resultados muestran los grupos funcionales específicos como C-H, O-H, C-O, C=O, C=C y O=H típicos de las películas de bioplástico basados en almidón.

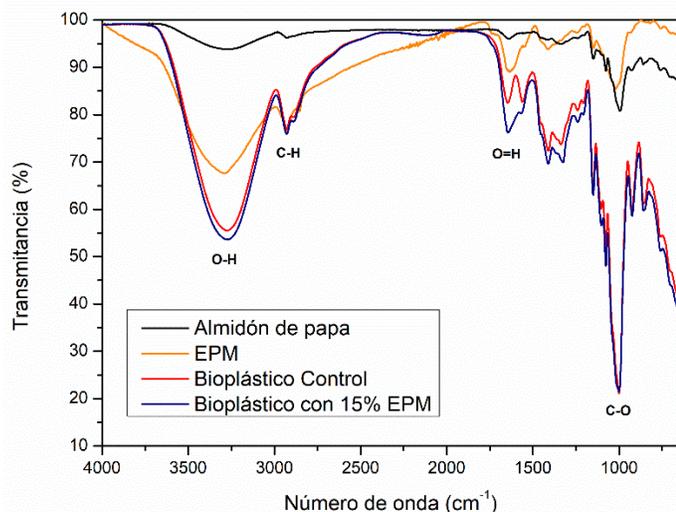


Fig. 3. Espectros FTIR de almidón de semilla de mango, EPM, película de bioplástico control y película de bioplástico incorporado con EPM.

Se observa un pico alrededor de los 3300 cm^{-1} que corresponde a la absorción causada por el enlace C-H (componente tipo alcano) y al estiramiento O-H (tipo de

compuesto fenólico) [21]. Este pico muestra un ligero corrimiento hacia la derecha en la película de bioplástico con EPM comparado con la película de bioplástico control, esto se debe posiblemente a que existe un proceso de formación de nuevos enlaces en la matriz polimérica causado por la incorporación de los compuestos polifenólicos contenidos en el extracto de mango y su interacción con las moléculas de almidón [27].

Otros picos se presentan en los 2922 cm^{-1} y 2850 cm^{-1} correspondientes al estiramiento C-H (tipo de compuesto aldehído). Estos grupos funcionales también están presentes en la muestra de extracto de piel de mango. Además, la absorción causada por el estiramiento del enlace C=O (amida I, carbonilo) y C=C (tipo de compuesto alcano) se indican mediante los picos 1650 cm^{-1} y 1560 cm^{-1} respectivamente. Finalmente se observa un pico muy intenso en los 1018 cm^{-1} que corresponde al estiramiento del enlace C-O [23].

D. Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas de las láminas de bioplástico con diferentes porcentajes de EPM (0, 5, 10 y 15%) son mostradas en la Fig. 4 y 5. La Fig. 4 muestra los resultados del comportamiento de las curvas esfuerzo-deformación. En todos los casos las curvas indican un comportamiento elástico lineal seguido de una fase de deformación plástica caracterizado por una disminución de la pendiente después de alcanzar el límite elástico hasta que finalmente se produce la rotura de las películas. Este comportamiento también fue observado en los trabajos estudiados por [10,11]. Se observa que un aumento de EPM reduce la elasticidad y un aumento en la resistencia de las láminas. Una microestructura más completa y continua de las láminas puede influir en el comportamiento mecánico. La distribución uniforme de los componentes de EPM en la matriz polimérica puede reforzar la red de la lámina mediante el aumento de enlaces de hidrógeno e interacciones con las moléculas de almidón [4,8,28]. Por otro lado, la adición de EPM aumenta el número de enlaces hidrógeno en la matriz polimérica de manera que los convierte en enlaces más fuertes y resistentes a la rotura, porque ahora se necesita más energía para romperlos [21].

Las medidas de esfuerzo máximo, deformación de rotura y módulo de Young son mostrados en la Fig. 5. Se observa que al aumentar el porcentaje de EPM el esfuerzo máximo aumenta notablemente de 3.57 MPa para las películas control hasta alcanzar 4.26 MPa para las películas con 15% de EPM, la misma tendencia se observa con los valores del módulo de Young, las pendientes de las zonas elásticas aumentan conforme se incrementa el porcentaje de EPM desde 78.1 MPa hasta alcanzar 137.7 MPa en las láminas con 15%. Sin embargo, los resultados de deformación en rotura tienen un comportamiento inverso. Se observa que la elasticidad

disminuye con el aumento de EPM comparado con las de control. Resultados similares son reportados por [9,21,29]. Ref. [21] sugiere que esto se debe a la reducción de la distancia de los enlaces intermoleculares. Mientras que Ref. [30] postula que la disminución de la elasticidad en rotura se debe a la densidad y al orden estructural de la matriz polimérica.

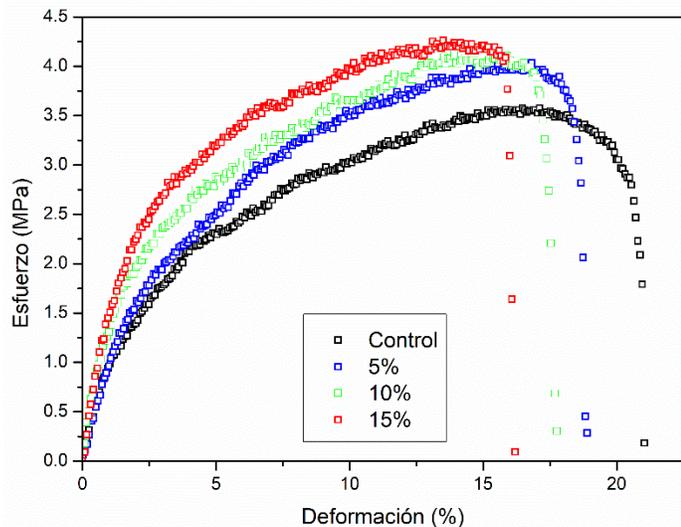


Fig. 4. Curvas de esfuerzo-deformación de películas de bioplástico incorporadas con EPM (0, 5, 10 y 15%).

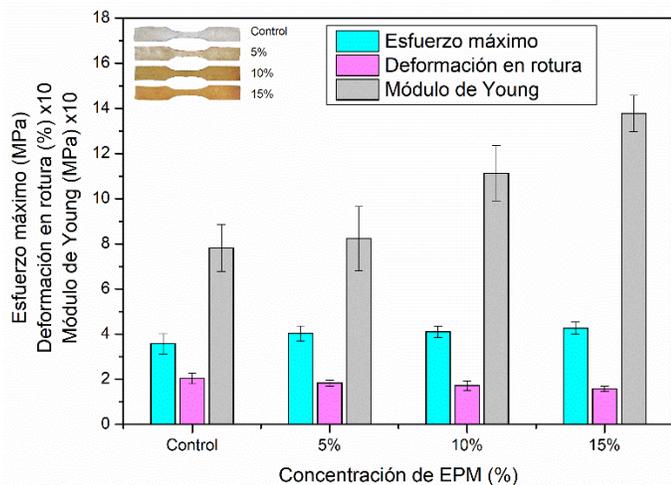


Fig. 5. Esfuerzo máximo, deformación en rotura y módulo de Young de películas de bioplástico incorporadas con EPM (0, 5, 10 y 15%).

E. Biodegradación por enterramiento en suelo

En la Fig. 6 se muestra el proceso de degradación de las películas de bioplástico incorporadas con EPM (0, 5, 10 y 15%)

durante un periodo de tiempo de 28 días. Se puede observar la descomposición de las películas debido a la acción de microorganismos presentes en el suelo. El contenido de almidón consumido por los microorganismos del suelo fractura y debilita las cadenas de polímeros provocando su biodegradación [31].

De acuerdo con el porcentaje de pérdida de peso mostrado en la Tabla II, se observa que la pérdida de peso se incrementa de acuerdo con el tiempo, indicando que las muestras se degradan continuamente. Las muestras con 5% de EPM muestran un aumento en la degradación de las películas comparadas con las películas control. No obstante, un gran incremento de EPM produce una reducción en el porcentaje de pérdida de peso, pasando de un 79% en la película con 5% de EPM a un 33% en la película con 15% de EPM en un periodo de tiempo de 28 días. Ref. [32] en su trabajo con bioplástico fabricado a partir de almidón de maíz reforzado con polímeros de caña silvestre, encontró que al incrementarse los enlaces se incrementa también la resistencia de la matriz polimérica, pero al mismo tiempo se disminuye la biodegradabilidad del material. Esto posiblemente se debe a la formación de nuevos enlaces moleculares que resultan en películas de bioplástico con estructuras más compactas haciendo que los microorganismos requieran más tiempo para descomponerlas [23].

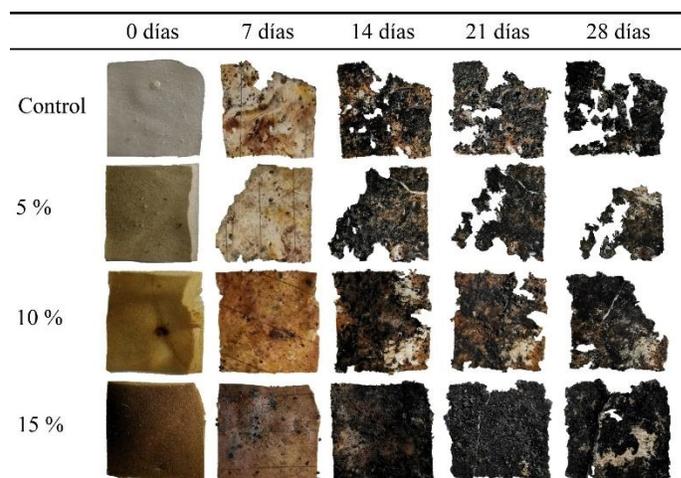


Fig. 6. Proceso de degradación de películas de bioplástico incorporadas con EPM (0, 5, 10 y 15%) durante 28 días.

Tabla II: Porcentaje de pérdida de peso en el proceso de degradación de películas de bioplástico incorporadas con EPM (0, 5, 10 y 15%).

Muestra	Inicio	7 días	14 días	21 días	28 días
Control	0%	11%	18%	39%	68%
5%	0%	15%	32%	45%	79%
10%	0%	2%	10%	19%	38%
15%	0%	3%	7%	12%	33%

IV. CONCLUSIONES

El estudio revela que la incorporación de EPM produce una película con un incremento de su densidad hasta en un 40% y de estructura continua con una gelatinización más completa del almidón. La adición de EPM en bioplástico en concentraciones de 5, 10 y 15% wt refuerza la resistencia a la tracción, llegando a tener un esfuerzo máximo de 4.26 MPa y un módulo de Young de 137.7 MPa con la incorporación de 15% de EPM afectando la elasticidad del material que se reduce con el aumento de EPM. Se comprobó también que la adición del porcentaje de EPM no produce cambios significativos en el contenido de humedad y la cinética de absorción de agua. Estas características y el comportamiento biodegradable de las películas destacan los beneficios de usar residuos agrícolas para su fabricación y confirma que los subproductos del mango pueden ser usados como una excelente fuente de componentes que permiten reforzarlos para su uso como envases activos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al Dr. Raúl Sicche Jara y a la MSc. Gabriela Barraza Jáuregui del Laboratorio de Análisis por Instrumentación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Trujillo por su colaboración en el presente trabajo.

REFERENCIAS

[1] Valdés, A., Mellinas, A. C., Ramos, M., Garrigós, M. C., & Jiménez, A. (2014). Natural additives and agricultural wastes in biopolymer formulations for food packaging. *Frontiers in chemistry*, 2, 6.

[2] Sachdeva, A., Vashist, S., Chopra, R., & Puri, D. (2017). Antimicrobial activity of active packaging film to prevent bread spoilage. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 2, 29-37.

[3] Adilah, Z. M., & Hanani, Z. N. (2016). Active packaging of fish gelatin films with *Morinda citrifolia* oil. *Food bioscience*, 16, 66-71.

[4] Wu, J., Chen, S., Ge, S., Miao, J., Li, J., & Zhang, Q. (2013). Preparation, properties and antioxidant activity of an active film from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) skin gelatin incorporated with green tea extract. *Food Hydrocolloids*, 32(1), 42-51.

[5] Ayala-Zavala, J. F., Rosas-Domínguez, C., Vega-Vega, V., & González-Aguilar, G. A. (2010). Antioxidant enrichment and antimicrobial protection of fresh-cut fruits using their own byproducts: Looking for integral exploitation. *Journal of food science*, 75(8), R175-R181.

[6] Bitencourt, C. M., Fávoro-Trindade, C. S., Sobral, P. J. D. A., & Carvalho, R. A. D. (2014). Gelatin-based films additivated with curcuma ethanol extract: Antioxidant activity and physical properties of films. *Food Hydrocolloids*, 40, 145-152.

[7] Li, J., Wu, Z., Huang, C., Liu, H., Huang, R., & Li, L. (2014). Mechanical properties of cyanate ester/epoxy nanocomposites modified with plasma functionalized MWCNTs. *Composites science and technology*, 90, 166-173.

[8] Rattaya, S., Benjakul, S., & Prodpran, T. (2009). Properties of fish skin gelatin film incorporated with seaweed extract. *Journal of Food Engineering*, 95(1), 151-157.

[9] Hosseini, S. F., Rezaei, M., Zandi, M., & Farahmandghavi, F. (2015). Fabrication of bio-nanocomposite films based on fish gelatin reinforced with chitosan nanoparticles. *Food Hydrocolloids*, 44, 172-182.

[10] Gamero, S., Jiménez-Rosado, M., Romero, A., Bengoechea, C., & Guerrero, A. (2019). Reinforcement of Soy Protein-Based Bioplastics Through Addition of Lignocellulose and Injection Molding Processing Conditions. *Journal of Polymers and the Environment*, 27(6), 1285-1293.

[11] Adilah, A. N., Jamilah, B., Noranizan, M. A., & Hanani, Z. N. (2018). Utilization of mango peel extracts on the biodegradable films for active packaging. *Food packaging and shelf life*, 16, 1-7.

[12] Souza, C. O., Silva, L. T., Silva, J. R., López, J. A., Veiga-Santos, P., & Druzian, J. I. (2011). Mango and acerola pulps as antioxidant additives in cassava starch bio-based film. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(6), 2248-2254.

[13] Nazario-Naveda, R., Gallozzo Cárdenas, M., Angelats Silva, L., Mantilla Sifuentes, F., Alayo Zavaleta, Y., Castillo Ramírez, A., Chavín Castillo, C., & Duran Zambrano, M. Reinforcement of mango seed starch based biodegradable films through incorporation of mango peel extracts for active packaging. LACCEI 2020.

[14] Ajila, C. M., Naidu, K. A., Bhat, S. G., & Rao, U. P. (2007). Bioactive compounds and antioxidant potential of mango peel extract. *Food chemistry*, 105(3), 982-988.

[15] Engels, C., Knodler, M., Zhao, Y. Y., Carle, R., Ganzle, M. G., & Schieber, A. (2009). Antimicrobial activity of gallotannins isolated from mango (*Mangifera indica* L.) kernels. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(17), 7712-7718.

[16] Iqbal, M., Saeed, A., & Zafar, S. I. (2009). FTIR spectrophotometry, kinetics and adsorption isotherms modeling, ion exchange, and EDX analysis for understanding the mechanism of Cd²⁺ and Pb²⁺ removal by mango peel waste. *Journal of hazardous materials*, 164(1), 161-171.

[17] Abdullah, A. H. D., Chalimah, S., Primadona, I., & Hanantyo, M. H. G. (2018, June). Physical and chemical properties of corn, cassava, and potato starches. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 160, No. 1, p. 012003). IOP Publishing.

[18] Borghei, M., Karbassi, A., Oromiehie, A., & Javid, A. H. (2010). Microbial biodegradable potato starch based low density polyethylene. *African Journal of Biotechnology*, 9(26), 4075-4080.

[19] Pirouzfard, M., Yorghanlu, R. A., & Pirsá, S. (2020). Production of active film based on potato starch containing Zedo gum and essential oil of *Salvia officinalis* and study of physical, mechanical, and antioxidant properties. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 33(7), 915-937.

[20] Zhang, R., Wang, X., & Cheng, M. (2018). Preparation and characterization of potato starch film with various size of nano-SiO₂. *Polymers*, 10(10), 1172.

[21] Maulida S., Kartika, T., Harahap, M. B., & Ginting, M. H. S. (2018, February). Utilization of mango seed starch in manufacture of bioplastic reinforced with microparticle clay using glycerol as plasticizer. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 309, No. 1, p. 012068). IOP Publishing.

[22] Oluwasina, O. O., Olaleye, F. K., Olusegun, S. J., Oluwasina, O. O., & Mohallem, N. D. (2019). Influence of oxidized starch on physicochemical, thermal properties, and atomic force micrographs of cassava starch bioplastic film. *International journal of biological macromolecules*, 135, 282-293.

[23] Amin, M. R., Chowdhury, M. A., & Kowser, M. A. (2019). Characterization and performance analysis of composite bioplastics synthesized using titanium dioxide nanoparticles with corn starch. *Heliyon*, 5(8), e02009.

[24] Tongnuanchan, P., Benjakul, S., & Prodpran, T. (2014). Comparative studies on properties and antioxidative activity of fish skin gelatin films incorporated with essential oils from various sources. *International Aquatic Research*, 6(2), 62.

[25] Petersson, M., & Stading, M. (2005). Water vapour permeability and mechanical properties of mixed starch-monoglyceride films and effect of film forming conditions. *Food Hydrocolloids*, 19(1), 123-132.

- [26]Galus, S., & Kadzińska, J. (2016). Moisture sensitivity, optical, mechanical and structural properties of whey protein-based edible films incorporated with rapeseed oil. *Food technology and biotechnology*, 54(1), 78-89.
- [27]Lubis, M., Harahap, M. B., Ginting, M. H. S., Sartika, M., & Azmi, H. (2016). Effect of microcrystalline cellulose (mcc) from sugar palm fibres and glycerol addition on mechanical properties of bioplastic from avocado seed starch (persea americana mill). *Proceedings of Engineering & Technology, Computer, Basics & Applied Sciences*, 1-10.
- [28]Hoque, M. S., Benjakul, S., & Prodpran, T. (2011). Properties of film from cuttlefish (*Sepia pharaonis*) skin gelatin incorporated with cinnamon, clove and star anise extracts. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 1085-1097.
- [29]Ahmad, M., Hani, N. M., Nirmal, N. P., Fazial, F. F., Mohtar, N. F., & Romli, S. R. (2015). Optical and thermo-mechanical properties of composite films based on fish gelatin/rice flour fabricated by casting technique. *Progress in Organic Coatings*, 84, 115-127.
- [30]Shakila, R. J., Jeevithan, E., Varatharajakumar, A., Jeyasekaran, G., & Sukumar, D. (2012). Comparison of the properties of multi-composite fish gelatin films with that of mammalian gelatin films. *Food chemistry*, 135(4), 2260-2267.
- [31]Ismail, N. A., Mohd Tahir, S., Yahya, N., Wahid, A., Firdaus, M., Khairuddin, N. E., ... & Abdullah, M. A. (2016). Synthesis and characterization of biodegradable starch-based bioplastics. In *Materials Science Forum* (Vol. 846, pp. 673-678). Trans Tech Publications Ltd.
- [32]Maiti, M., Kaith, B. S., Jindal, R., & Jana, A. K. (2010). Synthesis and characterization of corn starch based green composites reinforced with Saccharum spontaneum L graft copolymers prepared under micro-wave and their effect on thermal, physio-chemical and mechanical properties. *Polymer degradation and stability*, 95(9), 1694-1703.