

# Reinforcement of mango seed starch based biodegradable films through incorporation of mango peel extracts for active packaging

Nazario-Naveda, R., MSc.<sup>1</sup>, Gallozzo Cárdenas, M., MSc.<sup>2</sup>, Angelats Silva, L., Dr.<sup>3</sup>, Mantilla Sifuentes, F.<sup>4</sup>, Alayo Zavaleta, Y.<sup>4</sup>, Castillo Ramírez, A.<sup>4</sup>, Chavín Castillo C.<sup>4</sup>, Duran Zambrano M.<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>Facultad de Medicina, Universidad César Vallejo (UCV), Trujillo, Perú. mmgc1990@gmail.com

<sup>3</sup>Laboratorio de Investigación Multidisciplinario, Universidad Privada Antenor Orrego (UPAO), Trujillo, Perú.  
langelatss@upao.edu.pe

<sup>4</sup>Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, Perú. mantilla1614@gmail.com;  
yessica.marilyn145@gmail.com; elirave.15@gmail.com; crisch1821@gmail.com; 20190611mdz@gmail.com

*Abstract— The aim of this work was to study the effect of the incorporation of mango peel extract (MPE) on the properties of biodegradable films made from starch obtained from mango seeds and to verify its potential to be used in active packaging. The MPE was added in the gelatinization process in concentrations of 5, 10 and 15% wt. The properties of the manufactured films were characterized using SEM, FTIR, water absorption kinetic and Stress-Strain curves. SEM micrographs show a formation free of residues, without gaps or cracks in MPE films. FTIR analysis confirm the formation of bioplastic starch by the presence of the functional groups O-H, C-H, C-O and O=H. On the other hand, it is confirmed that adding MPE achieves an increase in stiffness of the films but a decrease in elasticity, in addition reducing the capacity of water absorption. This work demonstrates the benefits of mango residues and their potential for use in the food industry as an active packaging material.*

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

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.75>  
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

# Reforzamiento de películas biodegradables de almidón de semilla de mango mediante la incorporación de extracto de piel de mango para su uso como envase activo

Nazario-Naveda, R., MSc.<sup>1</sup>, Gallozzo Cárdenas, M., MSc.<sup>2</sup>, Angelats Silva, L., Dr.<sup>3</sup>, Mantilla Sifuentes, F.<sup>4</sup>, Alayo Zavaleta, Y.<sup>4</sup>, Castillo Ramírez, A.<sup>4</sup>, Chavín Castillo C.<sup>4</sup>, Duran Zambrano M.<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>Facultad de Medicina, Universidad César Vallejo (UCV), Trujillo, Perú. mmgc1990@gmail.com

<sup>3</sup>Laboratorio de Investigación Multidisciplinario, Universidad Privada Antenor Orrego (UPAO), Trujillo, Perú.  
langelatss@upao.edu.pe

<sup>4</sup>Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, Perú. mantilla1614@gmail.com;  
yessica.marilyn145@gmail.com; elirave.15@gmail.com; crisch1821@gmail.com; 20190611mdz@gmail.com

**Resumen**— Este trabajo tuvo como finalidad estudiar el efecto de la incorporación de extracto de piel de mango (EPM) sobre las propiedades de películas biodegradables fabricadas a partir de almidón de semillas de mango y comprobar su potencial para ser usado en envasado 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 más limpia de residuos, 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, además de reducir la capacidad de absorber agua. Este trabajo evidencia los beneficios de los residuos de mango y su potencial para su uso en la industria alimentaria como material para envase activo.

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

**Abstract**— The aim of this work was to study the effect of the incorporation of mango peel extract (MPE) on the properties of biodegradable films made from starch obtained from mango seeds and to verify its potential to be used in active packaging. The MPE was added in the gelatinization process in concentrations of 5, 10 and 15% wt. The properties of the manufactured films were characterized using SEM, FTIR, water absorption kinetic and Stress-Strain curves. SEM micrographs show a formation free of residues, without gaps

or cracks in MPE films. FTIR analysis confirm the formation of bioplastic starch by the presence of the functional groups O-H, C-H, C-O and O=H. On the other hand, it is confirmed that adding MPE achieves an increase in stiffness of the films but a decrease in elasticity, in addition reducing the capacity of water absorption. This work demonstrates the benefits of mango residues and their potential for use in the food industry as an active packaging material.

**Keywords**—Active packaging, mango 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 y procesos para mejorar la vida útil y garantizar que los alimentos contenidos sean seguros y saludables, convirtiéndose en un tema esencial en las estrategias modernas de distribución y comercialización [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 que interactúan con el producto empacado como los antioxidantes. La incorporación de antioxidantes en la película para formar un

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.75>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

envase activo 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 envases activos respetuosos con el medio ambiente y los conservantes naturales podrían ser mejores 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].

Varios estudios mostraron 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 soja [10]. Por otro lado, se ha investigado la incorporación extracto de piel de mango en películas de gelatina de pescado [11] y en películas de base de almidón de yuca para mejorar la actividad antioxidante [12]. Encontrando, además, que las películas presentan mejores propiedades mecánicas y una mayor barrera de vapor de agua en relación con la película sin extracto.

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. Según [13] 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, es decir en las semillas y las pieles de mango. Otros estudios han demostrado que las cáscaras de mango son fuentes de componentes valiosos como la pectina y los compuestos fenólicos [14]. 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 [15]. La

semilla contiene reservas de macromoléculas en grandes cantidades y tiene un contenido de almidón lo suficientemente alto como para considerarse un material alternativo en la fabricación de bioplásticos. Los niveles de amilosa en las semillas de mango proporcionan buenas propiedades mecánicas, y los niveles de amilopectina proporcionan adherencia [16].

En el Perú, según el Ministerio de Agricultura y Riego (2019) con información de la SUNAT, se ha exportado en el año 2018, un volumen de 48 370 toneladas de mango congelado, 10 643 toneladas de mangos en conserva y 1 253 toneladas de jugo de mango, teniendo un incremento comparado al año 2017 de 25%, 9% y 43% respectivamente [17]. Su procesamiento y consumo generan gran desperdicio de semillas y piel, aprovechar estos subproductos agrícolas ayudará a mitigar un creciente problema ambiental ya que no se cuenta con políticas adecuadas para su manejo. Las semillas tienen un alto porcentaje en almidón que puede usarse para la fabricación de bioplástico y la piel es una fuente importante de compuestos bioactivos. Es por eso que el objetivo de esta investigación fue fabricar películas bioactivas incorporando extracto de piel de mango (EPM) en diferentes concentraciones en películas de bioplástico de almidón de semilla de mango y analizar sus propiedades fisicoquímicas y mecánicas.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Obtención del almidón

Se recolectó residuos de mango (*Mangifera indica*) de la variedad Kent de un mercado local. Las semillas fueron separadas para la obtención del almidón. Estas fueron lavadas con agua limpia, secadas superficialmente y se le retiró la capa externa de la semilla dejando libre el endospermo, estos fueron cortados en trozos pequeños para luego ser triturados en una licuadora añadiendo 1 ml de agua destilada por 1 g de semilla. Luego de ser triturado, el lodo 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 semilla de mango, 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.

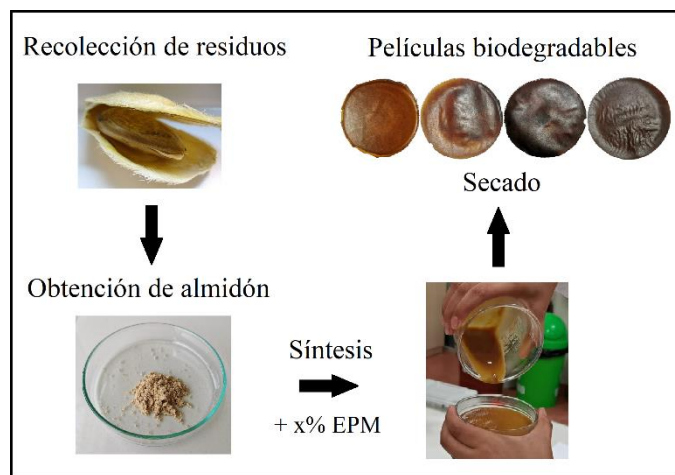


Fig. 1. Esquema del proceso de fabricación de las películas de bioplástico incorporadas con EPM (0, 5, 10 y 15%).

Se dispersó 2.5 g de almidón de semilla de mango 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 70 °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. La Fig. 1 muestra un esquema general del proceso de fabricación de las películas.

### 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 cm<sup>2</sup>. La masa de las películas fueron medidas usando una balanza analítica. La densidad fue calculada con la ecuación (1) en unidades de g/cm<sup>3</sup>. 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 cm<sup>2</sup>) 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 [18]. Las películas de 2x2 cm<sup>2</sup> 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 cm<sup>2</sup> 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 inglés) 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<sup>-1</sup> con una resolución de 4 cm<sup>-1</sup>.

#### 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  $3.18 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ . 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  $\pm 0.01 \text{ mm}$  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 [19] con ligeras modificaciones. Las películas de bioplástico ( $2 \times 2 \text{ cm}^2$ ) 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. La adición de 5% EPM presenta un aumento de la densidad comparado con la muestra control de 0.75 a  $0.85 \text{ g/cm}^3$ , esta tendencia continúa, pero de manera menos significativa con el incremento 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. [20] 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 ( $\text{g/cm}^3$ ) | Contenido de Humedad (%) |
|---------|------------------------------|--------------------------|
| Control | $0.75 \pm 0.01$              | $25.56 \pm 0.91$         |
| 5%      | $0.85 \pm 0.01$              | $23.16 \pm 1.21$         |
| 10%     | $0.87 \pm 0.02$              | $22.94 \pm 0.86$         |
| 15%     | $0.95 \pm 0.02$              | $20.54 \pm 1.37$         |

Los valores mostrados son los promedios  $\pm$  la desviación estándar.

Con respecto a los resultados de contenido de humedad se observa una disminución de este, aunque no es significativa es relevante debido a que se requiere que los materiales usados en envase activo sean a prueba de agua para prevenir su deterioro. En este estudio el contenido de humedad disminuye con el aumento de EPM hasta alcanzar un promedio de 20.54% en las películas de bioplástico incorporadas con 15% de EPM. Esto muestra que la humedad en las películas está asociada a la matriz polimérica de almidón [21].

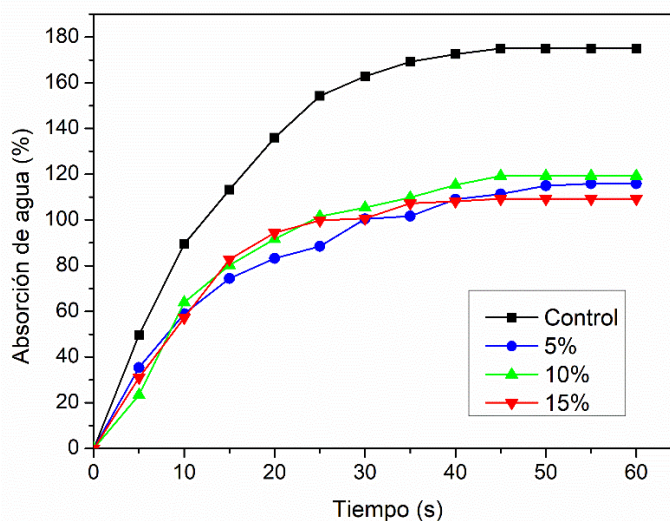


Fig. 2. Curvas de la cinética de absorción de agua.

La cinética de absorción de agua evidencia el transporte y almacenamiento de agua en las películas de bioplástico. La Fig. 2 muestra los resultados del experimento revelando que la película control absorbe considerablemente más cantidad de agua que las que contienen EPM, debido posiblemente a la

naturaleza hidrofílica del almidón [18]. Las muestras con EPM presentan una cinética similar entre ellas, sin diferencias significativas, alcanzando la saturación alrededor de los 45 segundos. La rapidez de la absorción de agua y el equilibrio de la película control podría hacer que se hinche a medida que absorbe agua, provocando la apertura de más poros dentro de ella, permitiendo la entrada de agua; mientras que las láminas con EPM tienen los poros ocupados por las moléculas del extracto insertados en la matriz polimérica [22]. Estos resultados sugieren que las láminas control son buenos candidatos para almacenar alimentos que requieren ser envasados en láminas solubles en agua, mientras que las que contienen EPM podrían usarse para aislar alimentos de la humedad como en el envasado activo.

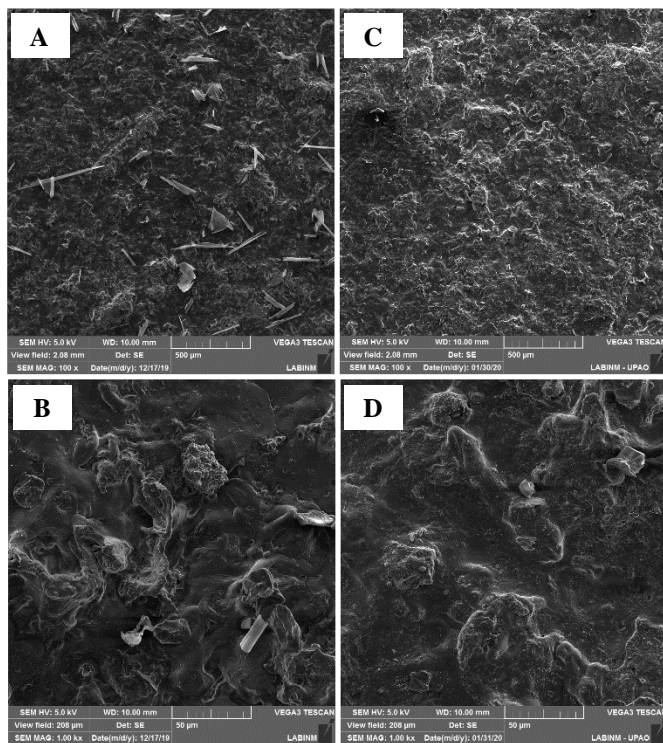


Fig. 3. Micrografías de las superficies de las películas control y con EPM. A: Muestra control 100x, B: Muestra control 1kx, C: Muestra con EPM 100x, D: Muestra con EPM 1kx, realizadas por MEB.

### B. Morfología

En la Fig. 3 se muestran las micrografías de Espectrometría Electrónica de Barrido de películas control y con 15% de EPM. Se observa una superficie con cierta rugosidad, pero sin grietas ni vacíos para la muestra control (Fig. 3. 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. 3. C y D) presentan una superficie más rugosa y granular,

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 [11,23]. Además, no se observan residuos de almidón, por lo que se puede decir que la gelatinización fue más completa. Estas características influyen en la flexibilidad y en la interacción con el agua.

### C. Espectrofotometría Infrarroja por Transformadas de Fourier

La Fig. 4 muestra los espectros FTIR de almidón de semilla de mango, 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.

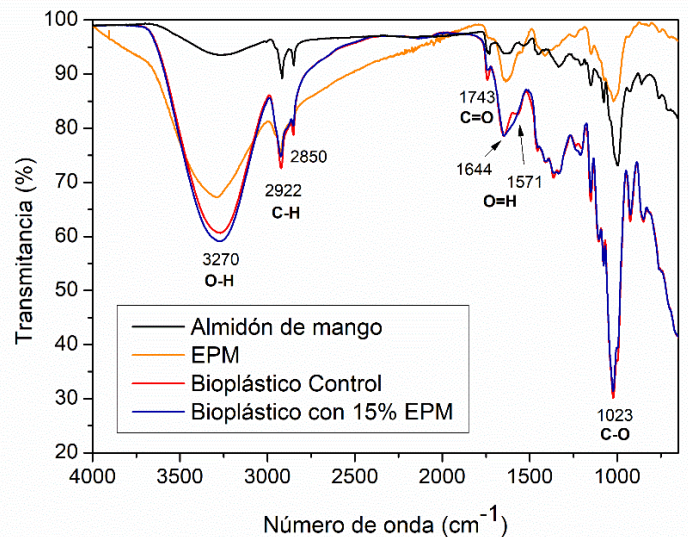


Fig. 4. Espectros FTIR de almidón de semilla de mango, EPM, película de bioplástico control y película de bioplástico incorporado con EPM.

Se observa un pico alrededor de los 3270 cm<sup>-1</sup> que corresponde a la absorción causada por el enlace C-H (componente tipo alcano) y al estiramiento O-H (tipo de compuesto fenólico) [16]. 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 del mango causado por la incorporación de los compuestos polifenólicos contenidos en el extracto de mango y su interacción con las moléculas de almidón [24].

Otros picos se presentan en los  $2922\text{ cm}^{-1}$  y  $2850\text{ cm}^{-1}$  correspondientes al estiramiento C-H (tipo de compuesto aldehído) [23]. Estos grupos funcionales también están presentes en las muestras de almidón de semilla de mango y el extracto de piel de mango, pero con picos no muy intensos. Se encuentra un pico en los  $1740\text{ cm}^{-1}$  que indica la presencia del grupo carbonilo. 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  $1644\text{ cm}^{-1}$  y  $1571\text{ cm}^{-1}$  respectivamente. Finalmente se observa un pico muy intenso en los  $1023\text{ cm}^{-1}$  que corresponde al estiramiento del enlace C-O [19].

#### 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. 5 y 6. La Fig. 5 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]. 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 [4,8,25]. 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 [16].

Las medidas de esfuerzo máximo, deformación de rotura y módulo de Young son mostrados en la Fig. 6. Se observa que al aumentar el porcentaje de EPM el esfuerzo máximo aumenta notablemente de 1.53 MPa para las películas control hasta alcanzar 3.08 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 hasta alcanzar 105.2 MPa en las láminas con 15%, que representa casi el doble que el de las películas control. Sin embargo, los resultados de deformación en rotura tienen un comportamiento inverso. Se observa que la elasticidad aumenta a casi el doble para las películas con 5% de EPM comparado con las de control; no obstante, con 10 y 15 % la elasticidad se reduce considerablemente. Resultados similares son reportados por [9,16,26]. Ref. [16] sugiere que esto se debe a la reducción de la distancia de los enlaces intermoleculares. Mientras que Ref. [27] postula que la disminución de la elasticidad en rotura se

debe a la densidad y al orden estructural de la matriz polimérica. Las interacciones moleculares entre el almidón y los componentes del EPM causan rigidez, interfiriendo en la libre rotación de las moléculas y reduciendo la extensibilidad de la película [7].

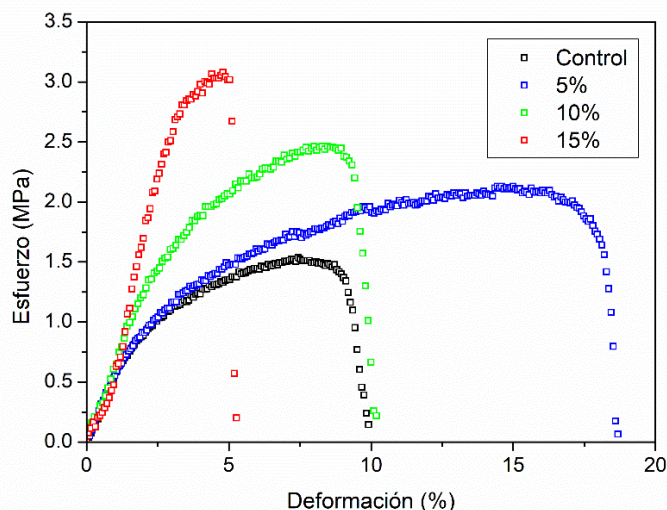


Fig. 5. Curvas de esfuerzo-deformación de películas de bioplástico incorporadas con EPM (0, 5, 10 y 15%).

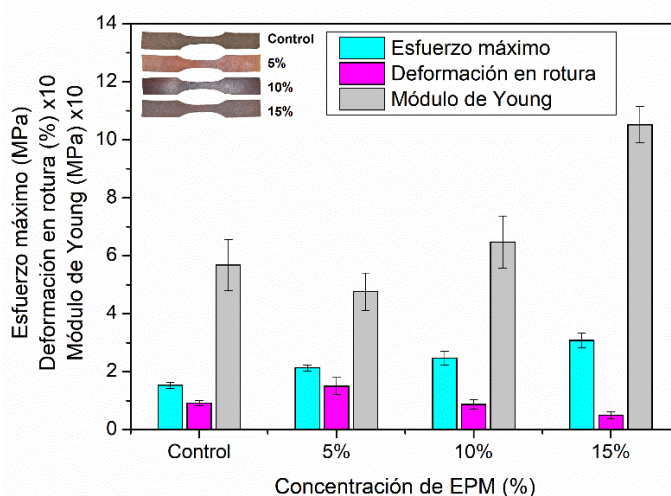


Fig. 6. Esfuerzo máximo, deformación en rotura y módulo de Young de películas de bioplástico incorporadas con EPM (0, 5, 10 y 15%).

#### E. Biodegradación por enterramiento en suelo

En la Fig. 7 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 [28].

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. No obstante, el incremento de EPM produce una reducción en el porcentaje de pérdida de peso, pasando de un 65% en la película control a un 42% en la película con 15% de EPM en un periodo de tiempo de 28 días. Ref. [29] 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 [19].

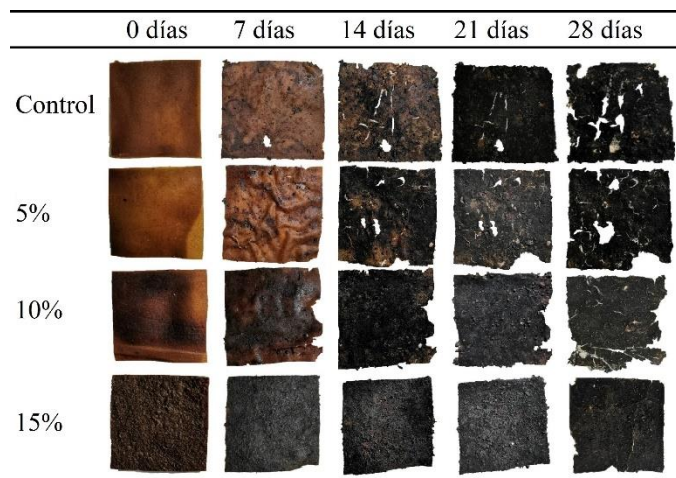


Fig. 7. Proceso de degradación de películas de bioplástico incorporadas con EPM (0, 5, 10 y 15%) durante 28 días.

TABLA II

PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE PESO EN EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DE PELÍCULAS DE BIOPOLÍMERO INCORPORADAS CON EPM (0, 5, 10 Y 15%)

| Muestra | Inicio | 7 días | 14 días | 21 días | 28 días |
|---------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Control | 0%     | 13%    | 27%     | 41%     | 65%     |
| 5%      | 0%     | 12%    | 25%     | 39%     | 59%     |
| 10%     | 0%     | 13%    | 21%     | 33%     | 53%     |
| 15%     | 0%     | 11%    | 16%     | 29%     | 42%     |

El European Standard EN 13432:2000 para materiales poliméricos biodegradables requiere que el 90% del material se

convierta en dióxido de carbono en al menos seis meses bajo condiciones de descomposición por composta con presencia de oxígeno, mientras que para degradación anaeróbica debe convertirse por lo menos el 50% del material en biogás en un periodo de dos meses [30]. Por los resultados obtenidos se puede considerar que las láminas fabricadas son materiales biodegradables.

#### IV. CONCLUSIONES

El estudio revela que la incorporación de EPM produce una película con un incremento entre 13% y 26% de mayor densidad 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 3.08 MPa y un módulo de Young de 105.2 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 el aumento del porcentaje de EPM causa una disminución del contenido de humedad y una desaceleración de la cinética de absorción de agua con solo añadir 5% de EPM. Estas características y su comportamiento biodegradable destacan los beneficios de los subproductos del mango como una excelente alternativa para la fabricación de bioplásticos reforzados para su uso como envase activo.

#### 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] 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.
- [14] 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.
- [15] 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 Cd<sup>2+</sup> and Pb<sup>2+</sup> removal by mango peel waste. *Journal of hazardous materials*, *164*(1), 161-171.
- [16] 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.
- [17] Ministerio de Agricultura y Riego. (2019). Dirección general de seguimiento y evaluación de políticas. Semana N° 06: [http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/Reporte%20Mango\\_070219.pdf](http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/Reporte%20Mango_070219.pdf)
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Petersson, M., & Stading, M. (2005). Water vapour permeability and mechanical properties of mixed starch-mono-glyceride films and effect of film forming conditions. *Food Hydrocolloids*, *19*(1), 123-132.
- [22] 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.
- [23] Alashwal, B. Y., Bala, M. S., Gupta, A., Sharma, S., & Mishra, P. (2020). Improved properties of keratin-based bioplastic film blended with microcrystalline cellulose: A comparative analysis. *Journal of King Saud University-Science*, *32*(1), 853-857.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] Bátor, V., Åkesson, D., Zamani, A., Taherzadeh, M. J., & Horváth, I. S. (2018). Anaerobic degradation of bioplastics: A review. *Waste management*, *80*, 406-413.