

# Active biodegradable films from mango starch integrated with silver nanoparticles synthesized by green chemistry

Nazario-Naveda, R.<sup>1</sup>, Delfin-Narciso D.<sup>2</sup>, Asmat-Campos, D.<sup>3</sup>, Rojas-Flores, S.<sup>4</sup>, Santiago M. Benites<sup>1</sup>, Mantilla-Sifuentes, F.<sup>5</sup>, Alayo-Zavaleta, Y.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Vicerrectorado de Investigación, Universidad Autónoma del Perú, Perú, scored731@gmail.com, santiago.benites@autonoma.pe

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Ciencias Aplicadas y Nuevas Tecnologías, Universidad Privada del Norte, Perú, daniel.delfin@upn.edu.pe

<sup>3</sup>Dirección de Investigación y Desarrollo, Universidad Privada del Norte, Perú, david.asmat@upn.edu.pe

<sup>4</sup>Instituto de Investigación, Universidad César Vallejo, Perú, segundo.rojas.89@gmail.com

<sup>5</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, mantilla1614@gmail.com, yes sica.marilyn145@gmail.com

*Abstract— The purpose of this work was to manufacture biodegradable films made from mango seed starch incorporating colloidal silver nanoparticles and verify their potential to be used as active material. Silver nanoparticles were manufactured by green route from grape residues and were added in the film gelatinization process at concentrations of 3% and 6% wt. The silver nanoparticles were characterized by UV-Vis and FTIR spectroscopy, while the fabric films were characterized by their density and % moisture content. Active properties were characterized using water absorption kinetics and biodegradation by burial in soil. An effect on the physical characteristics and active properties of the films was found due to the integration of silver nanoparticles. An increase in density, a reduction in moisture content, as well as a considerable slowdown in the kinetics of water absorption were observed, characteristics that can be exploited for the manufacture of active materials.*

*Keywords— biopolymers, biodegradation, silver nanoparticles, mango starch.*

**Digital Object Identifier (DOI):**

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.536>

**ISBN:** 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

# Películas biodegradables activas a partir de almidón de mango integradas con nanopartículas de plata sintetizadas por química verde

Nazario-Naveda, R.<sup>1</sup>, Delfin-Narciso D.<sup>2</sup>, Asmat-Campos, D.<sup>3</sup>, Rojas-Flores, S.<sup>4</sup>, Santiago M. Benites<sup>1</sup>, Mantilla-Sifuentes, F.<sup>5</sup>, Alayo-Zavaleta, Y.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Vicerrectorado de Investigación, Universidad Autónoma del Perú, Perú, scored731@gmail.com, santiago.benites@autonoma.pe

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Ciencias Aplicadas y Nuevas Tecnologías, Universidad Privada del Norte, Perú, daniel.delfin@upn.edu.pe

<sup>3</sup>Dirección de Investigación y Desarrollo, Universidad Privada del Norte, Perú, david.asmat@upn.edu.pe

<sup>4</sup>Instituto de Investigación, Universidad César Vallejo, Perú, segundo.rojas.89@gmail.com

<sup>5</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, mantilla1614@gmail.com, yessica.marilyn145@gmail.com

**Resumen—** Este trabajo tuvo como finalidad fabricar películas biodegradables fabricadas a partir de almidón de semillas de mango incorporando nanopartículas de plata en estado coloidal y comprobar su potencial para ser usado como material activo. Las nanopartículas de plata fueron fabricadas mediante ruta verde a partir de residuos de uva y fueron añadidas en el proceso de gelatinización de las películas en concentraciones de 3% y 6% v/v. Las nanopartículas de plata fueron caracterizadas mediante espectroscopía UV-Vis y FTIR, mientras que las películas fabricadas fueron caracterizadas mediante su densidad y % de contenido de humedad. Las propiedades activas se caracterizaron usando cinética de absorción de agua y biodegradación por enterramiento en suelo. Se encontró un efecto en las características físicas y propiedades activas de las películas debido a la integración de nanopartículas de plata. Se observó un aumento en la densidad, una reducción del contenido de humedad, así como una desaceleración considerable de la cinética de absorción de agua, características que pueden ser aprovechadas para la fabricación de materiales activos.

**Keywords—** biopolímeros, biodegradación, nanopartículas de plata, almidón de mango.

**Abstract—** The purpose of this work was to manufacture biodegradable films made from mango seed starch incorporating colloidal silver nanoparticles and verify their potential to be used as active material. Silver nanoparticles were manufactured by green route from grape residues and were added in the film gelatinization process at concentrations of 3% and 6% wt. The silver nanoparticles were characterized by UV-Vis and FTIR spectroscopy, while the fabric films were characterized by their density and % moisture content. Active properties were characterized using water absorption kinetics and biodegradation by burial in soil. An effect on the physical characteristics and active properties of the films was found due to the integration of silver nanoparticles. An increase in density, a reduction in moisture content, as well as a considerable slowdown in the kinetics of water absorption were observed, characteristics that can be exploited for the manufacture of active materials.

**Keywords—** biopolymers, biodegradation, silver nanoparticles, mango starch.

## I. INTRODUCCIÓN

Los materiales activos usados en envase de alimentos mejoran las condiciones del alimento empacado para extender su vida útil mientras mantiene su calidad con la incorporación de componentes activos como los antioxidantes, los cuales pueden interactuar con el producto empacado [1,2]. Por esa razón se busca materiales que sean no tóxicos para la salud, ecológicos y biodegradables [2]. En ese sentido, los materiales basados en biopolímeros naturales son cada vez más populares, estos materiales tienen la capacidad de transportar compuestos activos; por lo tanto, pueden usarse como envases activos para alimentos [3]. En los envases activos, los compuestos 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 [4]. Las limitaciones de su uso suelen estar asociadas a propiedades mecánicas débiles y su sensibilidad a la humedad. Por eso, muchos estudios han considerado el refuerzo de la matriz biopolimérica mediante la incorporación de nanopartículas para mejorar dichas propiedades proporcionando un impulso importante para el desarrollo de materiales activos que puedan satisfacer las necesidades de la industria y los consumidores [5,6].

Debido a sus dimensiones, las nanopartículas poseen una relación superficie/volumen y una actividad superficial muy grandes. Cuando se agregan a polímeros compatibles, los nanomateriales pueden mejorar drásticamente las propiedades materiales, como la resistencia mecánica, estabilidad térmica, la conductividad eléctrica, etc. [7]. Las nanopartículas particularmente importantes son las nanopartículas de plata (AgNP), éstas son capaces de incorporarse en una matriz polimérica para crear materiales activos. Mejorando sus propiedades físicoquímicas y mecánicas, además, debido a sus propiedades antimicrobianas contra una amplia gama de microorganismos, podría ayudar a extender la vida útil de los productos alimenticios. Se han investigado la integración de nanopartículas de plata en polímeros biodegradables para la fabricación de películas compuestas, encontrando mejoras

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

significativas en las propiedades mecánicas. Como Ref. [8] que logró la incorporación de nanopartículas de plata en polímeros de ácido poliláctico y encontró una reducción en las propiedades de biodegradación. Por su parte Ref. [9] fabricó nanocompuesto mediante la incorporación de nanopartículas de plata en diferentes concentraciones en películas de gelatina de polímero de proteína y encontró un incremento poco significativo en el contenido de humedad. Otras investigaciones lograron incorporar AgNp en películas biodegradables de metilcelulosa, influyendo en sus propiedades mecánicas y de humectabilidad mejorando la hidrofobicidad de las películas [10].

Por otro lado, son escasos los estudios que en los que se han utilizado los subproductos de mango para la fabricación de biopolímeros. La semilla de esta fruta 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 la adherencia que los componentes necesitan para la formación de estructuras dentro de la matriz polimérica [11]. Ref. [12] usó almidón de mango para la fabricación de películas biodegradables incorporadas con extracto acuoso de piel de mango como componente activo encontrando mejoras en sus propiedades, aunque se observó una reducción en su capacidad biodegradable.

Los materiales incorporados en polímeros han sido ampliamente usados en muchas aplicaciones, incluido el empaque, las nanopartículas de plata son un caso especial debido a la fuerte actividad antimicrobiana por lo que su integración en materiales activos sugiere mejoras en las propiedades y genera expectativas para un uso más amplio en la industria. Teniendo en cuenta también la tendencia ecológica esta investigación tuvo como finalidad la fabricación de películas bioactivas a partir de almidón de semillas de mango integradas con nanopartículas de plata biosintetizadas con extractos de residuos de uva y analizar sus propiedades activas.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Síntesis de nanopartículas de plata

La síntesis se realizó mediante el método de química verde descrito por [13], usando como precursor al nitrato de plata de la marca Merck ( $\text{AgNO}_3$ , CAS: 7761-88-8) a una concentración de 1 mM disuelto en agua ultrapura. La solución se llevó a un hotplate con stirring manteniéndolo a 60 °C durante 10 min. a 300 rpm, añadiéndole gota a gota extracto alcohólico de residuos agroindustriales de uva para finalmente llevarlo a un pH 10 añadiendo gota a gota hidróxido de sodio de Merck ( $\text{NaOH}$  98%, CAS: 1310-73-2) manteniendo la agitación magnética.

### B. Obtención del almidón

Se recolectó residuos de mango (*Mangifera indica*) de la variedad Kent de un mercado local. Las semillas fueron separadas para ser lavadas con agua limpia, secadas superficialmente, se les retiró la capa externa de la semilla dejando libre el endospermo, los que 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.



Fig. 1. Esquema del proceso obtención de almidón de mango.

### C. Fabricación de las películas

Se siguió el procedimiento seguido por [12], los elementos usados para la síntesis fueron el almidón de semilla de mango, ácido acético 5%, agua destilada, glicerol de la marca Baker (99%, CAS: 64-19-7) como plastificante e Hidróxido de Sodio de la marca Merck ( $\text{NaOH}$  98%, CAS: 1310-73-2). Se dispersó almidón de semilla de mango en agua destilada en razón de 1 g: 10 mL, manteniendo en agitación magnética por 10 minutos, luego se le añadió glicerina, ácido acético y nanopartículas de plata (AgNp) en estado coloidal en proporciones de 0, 3, y 6% v/v, manteniendo la solución bajo agitación y a una temperatura constante de 70 °C para su gelatinización. Finalmente, se le agregó gota a gota  $\text{NaOH}$  (0.01 M) hasta llegar a tener un pH neutro, para esta medición se usó un pH-metro de la marca 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.



Fig. 2. Fotografías de algunas películas fabricadas, de izquierda a derecha: 0%, 3% y 6% Ag Np.

Las películas fabricadas se muestran en la Fig. 2, están son de un color ámbar que van oscureciendo con el aumento de la concentración de nanopartículas de plata. La coloración depende de la matriz usada en el polímero, por lo general los biopolímeros formados a partir de almidón de mango presentan inicialmente este color [12], pero la tendencia al amarillo en la coloración se debe a la presencia de las nanopartículas de plata tal y como se observa en [14,15].

### E. Caracterización de las nanopartículas de plata

#### E.1. Espectrofotometría UV-Vis

Las muestras coloidales de nanopartículas de plata caracterizadas por espectrofotometría UV-Vis (Shimatzu, UV 1900, Tokyo, Japan) para evaluar la presencia del pico de plasmón típico de nanoestructuras de plata.

#### E.2. Espectrofotometría Infrarroja por Transformadas de Fourier

Se usó también Espectrofotometría Infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR por sus siglas en ingles) para analizar los grupos funcionales de las nanopartículas de plata. 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  $\text{cm}^{-1}$  con una resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$ .

### F. Caracterización de las películas

#### F.1. Densidad

La densidad de las películas fue determinada usando la norma ASTM D792 con un tamaño de muestra de 5x5  $\text{cm}^2$ . La masa de las películas fueron medidas usando una balanza analítica Pioneer Plus – Ohaus PA224. La densidad fue calculada con la ecuación (1) en unidades de  $\text{g}/\text{cm}^3$ . Los resultados mostrados corresponden al promedio de tres replicas.

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

#### F.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  $\text{cm}^2$ ) al secarlas en un horno a 105 °C hasta alcanzar una masa constante. Los resultados mostrados corresponden al promedio de tres repeticiones del experimento.

#### F.3. Cinética de absorción de agua

La cinética de absorción de agua se determinó usando el método descrito por [16]. Las películas de 2x2  $\text{cm}^2$  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).

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

#### F.4. Prueba de biodegradación por enterramiento en suelo

Este análisis se realizó siguiendo una metodología similar a la reportada por [17,12]. Las películas de 2x2  $\text{cm}^2$  fueron colocadas en suelo de cultivo a una profundidad de 10 cm. La tasa de degradación se calculó usando la ecuación (3) 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.

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100\% \quad (3)$$

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. Caracterización de las nanopartículas de plata

Las nanopartículas de plata obtenidas por el método de síntesis verde usando residuos de uva fueron evaluadas por la técnica de espectrofotometría UV-Vis, para obtener la localización del pico de plasmón en la longitud de onda correspondiente que nos permita confirmar su formación. Los resultados indican la presencia de nanopartículas de plata de acuerdo al pico localizado en 422.6 nm con una absorbancia de 1.78 u.a. tal y como se observa en la Fig. 3. El pico de resonancia del plasmón está bien definido y por su ancho de banda muestra una alta monodispersidad, su ubicación nos aseguró la formación de nanopartículas de plata, que según los trabajos realizados anteriormente por [13,18] presentan un diámetro de alrededor de los 32 nm, esta característica juega un

papel muy importante en la eficiencia y las propiedades físicas que presenten finalmente los materiales fabricados [19].

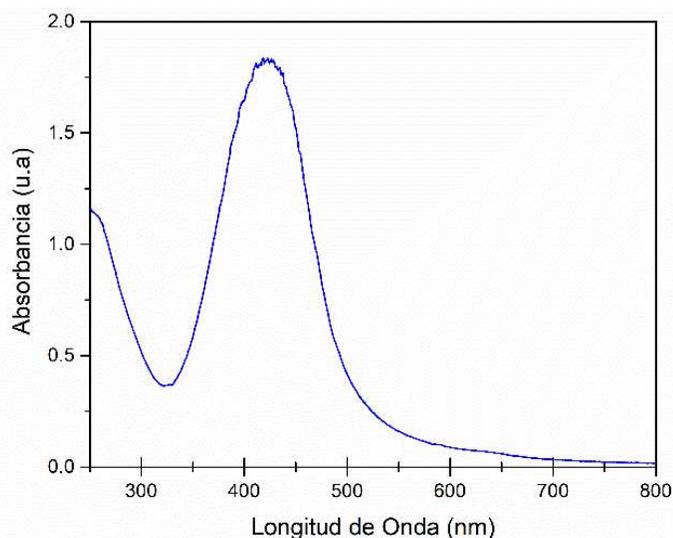


Fig. 3. Espectro de absorción de nanopartículas de plata biosintetizadas.

Algo importante que se debe tener en cuenta es que el extracto de residuos de uva utilizado como agente reductor estuvo en solvente alcohólico al 96%, las nanopartículas se formaron debido al mecanismo de reducción respecto al precursor nitrato de plata, por eso las nanopartículas fabricadas fueron analizadas mediante la técnica de caracterización FTIR que nos brinda información acerca de la localización de los picos característicos de algunos radicales orgánicos y por tanto determinar los posibles compuestos responsables del proceso de reducción. En la Fig. 4 se presenta el espectro FTIR y se observa un pico en  $3348.2\text{ cm}^{-1}$ , relacionado a la función hidróxido que corresponde al estiramiento O-H (tipo de compuesto fenólico) [9,17,20]. También se identificó una banda en  $2929.1\text{ cm}^{-1}$ , el cual pertenece a los estiramientos de  $-\text{CH}_2-$  y  $-\text{CH}_3$  que corresponde a la absorción causada por el enlace C-H (tipo de compuesto aldehído) y que podría atribuirse a las uniones intermoleculares de la estructura química del extracto reductor y/o del etanol empleado [21,22]; las bandas a  $1593.1\text{ cm}^{-1}$  y  $1401.5\text{ cm}^{-1}$  pueden deberse a la presencia de flexiones de  $-\text{N}-\text{O}$  de los grupos nitro y/o a la presencia de compuestos polifenólicos característicos de la deformación en el plano del  $-\text{OH}$ ; las bandas en  $1043.9\text{ cm}^{-1}$  y  $833.5\text{ cm}^{-1}$  son flexiones de enlaces  $-\text{C}-\text{O}$  y están relacionados con alcoholes primarios y con ácidos gálicos y tánicos [11,20].

### B. 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 (0% AgNp) y las incorporadas con nanopartículas de plata. Las muestras con AgNp presentan un aumento de la densidad comparado con la muestra control, pasando de  $0.75\text{ g/cm}^3$  a  $1.10\text{ g/cm}^3$  y  $1.31\text{ g/cm}^3$  para las muestras con 3% y 6%

respectivamente. Resultados similares fueron encontrados por [23]. El aumento en la densidad puede deberse a una restructuración de la matriz polimérica durante el proceso de gelatinización por la adición de las nanopartículas de plata; sin embargo, es importante estudiar su distribución para verificar que no existan aglomeraciones no homogéneas. Ref. [24] sugiere que las nanopartículas se insertan en las cadenas durante el proceso de gelatinización formando una estructura dentro de la matriz de la película. De acuerdo con [19] el aumento en la densidad es un resultado de la atracción física de los componentes, las nanopartículas de plata actúan como agentes inorgánicos que refuerzan la matriz polimérica, es por eso que un aumento de nanopartículas influye en la creación de matrices poliméricas más compactas lo que se verá influenciado también en la absorción de agua, contenido de humedad y biodegradación.

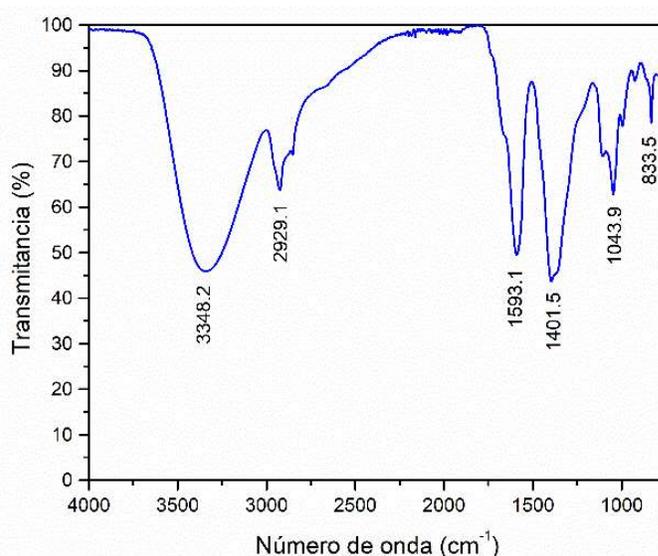


Fig. 4. Espectro FTIR de nanopartículas de plata en estado coloidal sintetizadas por química verde usando extracto de residuos de uva.

TABLA I  
MEDICIONES DE DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS PELÍCULAS

Muestra	Densidad ( $\text{g/cm}^3$ )	Contenido de Humedad (%)
0% AgNp	$0.75 \pm 0.01$	$25.56 \pm 0.91$
3% AgNp	$1.10 \pm 0.02$	$19.72 \pm 0.87$
6% AgNp	$1.31 \pm 0.02$	$16.73 \pm 1.37$

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, En la tabla I se observa que el contenido de humedad disminuye con el aumento de contenido de nanopartículas de plata desde 25.56% hasta alcanzar un promedio de 16.73% en las películas con 6% de Ag Np, esto

demuestra que la humedad en las películas está asociada a la matriz polimérica de almidón [25]. Es necesario señalar que este comportamiento es de vital importancia en los materiales activos ya que reducen las posibilidades de deterioro temprano.

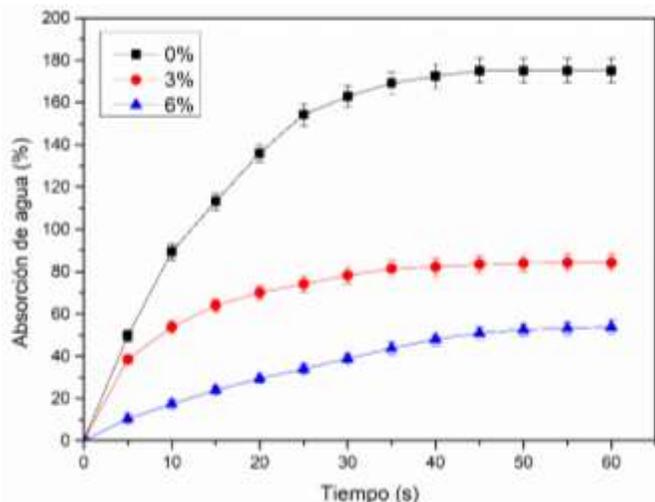


Fig. 5. Curvas de la cinética de absorción de agua

La cinética de absorción de agua evidencia el transporte y almacenamiento de agua en las películas de bioplástico. La Fig. 5 muestra los resultados del experimento revelando que la película control absorbe considerablemente más cantidad de agua que las que contienen nanopartículas de plata, el aumento de la hidrofobicidad de la película se atribuye a la inclusión de plata metálica hidrofóbica en la matriz polimérica [9,10]. La rapidez de la absorción de agua de la película control hace que se hinche a medida que absorbe agua, provocando la apertura de más poros dentro de ella, permitiendo la entrada de agua; mientras que la adición de nanopartículas de plata en la matriz polimérica reduce significativamente la capacidad de absorción de las películas [26]. La presencia de nanopartículas de plata reduce la cinética de absorción, si bien es cierto, con la muestra con 6% de concentración se alcanza un porcentaje de absorción menor en la saturación (~40%), la muestra con 3% llega a valores altos de absorción mucho más rápido, alcanzando la saturación en alrededor de los 45 segundos. Estos resultados sugieren que las láminas que contienen nanopartículas de plata podrían usarse para aislar alimentos de la humedad como los requeridos en los materiales activos.

TABLA II

PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE PESO EN EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DE PELÍCULAS DE BIOPLÁSTICO INCORPORADAS CON AgNp (0, 3, Y 6%)

Muestra	0 días	7 días	14 días	21 días	28 días
0% AgNp	0%	13%	27%	41%	65%
3% AgNp	0%	12%	25%	30%	45%
6% AgNp	0%	12%	24%	29%	40%

### C. Biodegradación por enterramiento en suelo

En la Fig. 6 se muestra el proceso de degradación de las películas integradas con nanopartículas de plata (0, 3 y 6%) 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; sin embargo, la adición de nanopartículas de plata muestra una tendencia a disminuir el grado de biodegradación. El contenido de almidón consumido por los microorganismos del suelo fractura y debilita las cadenas de polímeros provocando su biodegradación [27] pero la presencia de Ag inhibe la actividad de estos microorganismos y reduce la producción de CO<sub>2</sub> [8]. La Tabla II muestra el porcentaje en la pérdida de peso de las muestras analizadas, se observa que la pérdida de peso se reduce con el tiempo, indicando que las muestras se degradan, pero de manera más lenta que la muestra control (0% AgNp). La acción antimicrobiana de las nanopartículas metálicas dañando las membranas citoplasmáticas de las bacterias [8] y el efecto en la formación de nuevos enlaces en la matriz polimérica aumentando su resistencia podrían ser los responsables de disminución de la biodegradabilidad del material [17,28].

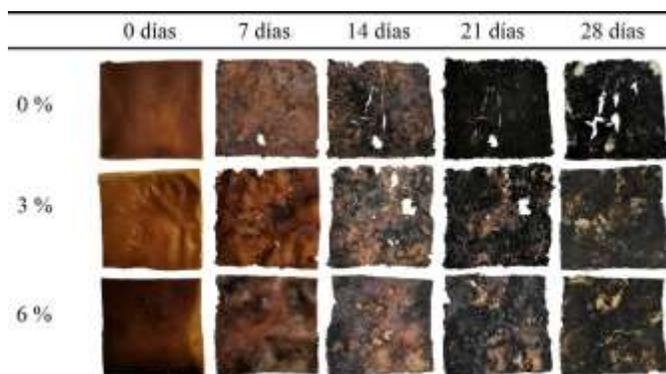


Fig. 6. Proceso de degradación de películas de bioplástico integradas con AgNp (0, 3 y 6%) durante 28 días..

### IV. CONCLUSIONES

Se logró fabricar nanopartículas de plata usando como un agente reductor el extracto de residuos de uva confirmado por espectrofotometría UV-Vis. El análisis por FTIR determinaron que la presencia de polifenoles y flavonoles entre otros fueron los implicados en el proceso de reducción del precursor de nitrato de plata para lograr nanoestructuras. El estudio revela que la integración de nanopartículas de plata en películas biodegradables fabricadas a partir de almidón de mango produce un efecto en sus características físicas y propiedades activas en función del porcentaje de AgNp. Se produce un aumento en la densidad y una reducción del contenido de humedad. Se comprobó también que el aumento del porcentaje de nanopartículas de plata produce una desaceleración considerable de la cinética de absorción de agua. 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 material activo.

## REFERENCES

- [1] 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.
- [2] Adilah, Z. M., & Hanani, Z. N. (2016). Active packaging of fish gelatin films with *Morinda citrifolia* oil. *Food bioscience*, 16, 66-71.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Mihindukulasuriya, S. D. F., & Lim, L. T. (2014). Nanotechnology development in food packaging: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 40(2), 149-167.
- [6] Zambrano-Zaragoza, M. L., González-Reza, R., Mendoza-Muñoz, N., Miranda-Linares, V., Bernal-Couoh, T. F., Mendoza-Elvira, S., & Quintanar-Guerrero, D. (2018). Nanosystems in edible coatings: A novel strategy for food preservation. *International journal of molecular sciences*, 19(3), 705.
- [7] Uskoković, V. (2007). Nanotechnologies: What we do not know. *Technology in society*, 29(1), 43-61.
- [8] Gorrasi, G., Sorrentino, A., & Pantani, R. (2015). Modulation of biodegradation rate of poly (lactic acid) by silver nanoparticles. *Journal of Polymers and the Environment*, 23(3), 316-320.
- [9] Kanmani, P., & Rhim, J. W. (2014). Physicochemical properties of gelatin/silver nanoparticle antimicrobial composite films. *Food chemistry*, 148, 162-169.
- [10] Nunes, M. R., Castilho, M. D. S. M., de Lima Veeck, A. P., da Rosa, C. G., Noronha, C. M., Maciel, M. V., & Barreto, P. M. (2018). Antioxidant and antimicrobial methylcellulose films containing Lippia alba extract and silver nanoparticles. *Carbohydrate polymers*, 192, 37-43.
- [11] 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.
- [12] Nazario-Naveda, R., Gallozzo Cárdenas, M., Angelats Silva, L., Mantilla Sifuentes, F., Alayo Zavaleta, Y., Castillo Ramírez, A., Chavín Castillo, C., & Duran Zambrano, M. (2020). Reinforcement of mango seed starch based biodegradable films through incorporation of mango peel extracts for active packaging. *LACCEI Inc.*
- [13] Asmat-Campos, D. A., Juárez-Cortijo, L., Delfín-Narciso, D., Nazario-Naveda, R., Vejarano Mantilla, R., Mercedes-Cárdenas, S., ... & Siche Jara, R. (2020). Influence of the type of solvent and pH for the extraction of reducing compounds of wine residues in the production of silver nanoparticles. *LACCEI Inc.*
- [14] Shankar, S., & Rhim, J. W. (2015). Amino acid mediated synthesis of silver nanoparticles and preparation of antimicrobial agar/silver nanoparticles composite films. *Carbohydrate polymers*, 130, 353-363.
- [15] Bahrami, A., Mokarram, R. R., Khiabani, M. S., Ghanbarzadeh, B., & Salehi, R. (2019). Physico-mechanical and antimicrobial properties of tragacanth/hydroxypropyl methylcellulose/beeswax edible films reinforced with silver nanoparticles. *International journal of biological macromolecules*, 129, 1103-1112.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Asmat-Campos, D., Delfín-Narciso, D., Juárez-Cortijo, L., & Nazario-Naveda, R. (2020). Silver nanoparticles: Stimulation by radiation in the visible spectrum and its influence on stability. *LACCEI Inc.*
- [19] Kraśniewska, K., Galus, S., & Gniewosz, M. (2020). Biopolymers-based materials containing silver nanoparticles as active packaging for food applications—a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(3), 698.
- [20] Junior, V., Arruda, I., & Bemme, L. (2013). Caracterização térmica e espectroscópica de microcápsulas de quitosana incorporada de própolis. *Revista Eletrônica da Univar*, 2(10), 161-165.
- [21] 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.
- [22] Marucci, M. C. (2009). Atividades antimicrobiana e antioxidante da própolis do estado do Ceará. *Revista Fitos*, 4(01), 81-86.
- [23] 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.
- [24] Garcia, E. L. L., Attallah, O. A., Mojicevic, M., Devine, D. M., & Brennan Fournet, M. (2021). Antimicrobial Active Bioplastics Using Triangular Silver Nanoplate Integrated Polycaprolactone and Polylactic Acid Films. *Materials*, 14(5), 1132.
- [25] Petersson, M., & Stading, M. (2005). Water vapour permeability and mechanical properties of mixed starch-monoacylglyceride 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] 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.
- [28] 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.