

Incorporation of biosynthesized silver nanoparticles in active biodegradable films of potato starch

Nazario-Naveda, R.¹, Delfín-Narciso D.², Juárez-Cortijo, L.², Rojas-Flores, S.³, Castillo-Ramírez, A.⁴,
Chavín-Castillo C.⁴, Duran-Zambrano M.⁴

¹Vicerrectorado de Investigación, Universidad Autónoma del Perú, Perú, scored731@gmail.com

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

³Instituto de Investigación, Universidad César Vallejo, Perú, segundo.rojas.89@gmail.com

⁴Universidad Privada del Norte, Perú, elirave.15@gmail.com, crisch1821@gmail.com, 20190611mdz@gmail.com

Abstract— This paper presents the study of the effect of the incorporation of biosynthesized silver nanoparticles on the properties of biodegradable films made from potato starch and its 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% v/v. 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. The integration of silver nanoparticles in biodegradable films made from potato starch was confirmed, confirming the effects on their physical characteristics and active properties depending on the percentage of AgNp, which can be used for the manufacture of active materials.

Keywords— silver nanoparticles, biopolymers, potato waste, biodegradation.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.538>

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

Incorporación de nanopartículas de plata biosintetizadas en películas biodegradables activas de almidón de papa

Nazario-Naveda, R.¹, Delfín-Narciso D.², Juárez-Cortijo, L.², Rojas-Flores, S.³, Castillo-Ramírez, A.⁴, Chavín-Castillo C.⁴, Duran-Zambrano M.⁴

¹Vicerrectorado de Investigación, Universidad Autónoma del Perú, Perú, scored731@gmail.com

²Grupo de Investigación en Ciencias Aplicadas y Nuevas Tecnologías, Universidad Privada del Norte, Perú, daniel.delfin@upn.edu.pe, luisa.juarez@upn.edu.pe

³Instituto de Investigación, Universidad César Vallejo, Perú, segundo.rojas.89@gmail.com

⁴Universidad Privada del Norte, Perú, elirave.15@gmail.com, crisch1821@gmail.com, 20190611mdz@gmail.com

Resumen— En este trabajo se presenta el estudio del efecto de la incorporación de nanopartículas de plata biosintetizadas sobre las propiedades de películas biodegradables fabricadas a partir de almidón de papa 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 confirmó la integración de las nanopartículas de plata en películas biodegradables fabricadas a partir de almidón de papa confirmando los efectos en sus características físicas y propiedades activas en función del porcentaje de AgNp, las cuales pueden ser aprovechadas para la fabricación de materiales activos.

Keywords—nanopartículas de plata, biopolímeros, residuos de papa, biodegradación.

Abstract— This paper presents the study of the effect of the incorporation of biosynthesized silver nanoparticles on the properties of biodegradable films made from potato starch and its 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% v/v. 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. The integration of silver nanoparticles in biodegradable films made from potato starch was confirmed, confirming the effects on their physical characteristics and active properties depending on the percentage of AgNp, which can be used for the manufacture of active materials.

Keywords— silver nanoparticles, biopolymers, potato waste, biodegradation.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas de la actualidad es la contaminación por plástico. A pesar del reciclaje y de algunas propuestas para controlar su uso, es muy difícil encontrar un material que lo reemplace totalmente. La mayoría de los productos industriales, medicinales y alimenticios usan empaques plásticos descartables que son desechados [1,2] que, sumado a un pobre manejo de residuos sólidos, terminan en nuestros suelos o el mar, perjudicando la vida y salud de las personas, animales y plantas con su toxicidad y su degradación lenta [3]. Los biopolímeros parecen ser una opción prometedora para reemplazar los plásticos convencionales. Estos materiales, que cuentan con propiedades térmicas y mecánicas excepcionales, son obtenidos a partir de materiales orgánicos ricos en celulosa y almidón. Algunas fuentes renovables para el bioplástico son el aceite vegetal, almidón de maíz, papa, yuca, fibras de piña, banana, entre otros [1,4]. Estudios comparativos muestran que sus propiedades mecánicas son equivalentes a los plásticos sintéticos; además de ser biodegradables. [5,6]. Las materias primas para la fabricación de bioplásticos pueden ser muy variadas, destacándose las películas fabricadas a partir de almidón de papa que han resultado ser económicas y presentan buenas propiedades físicas y mecánicas [4,7,8]. Sin embargo, a pesar de su popularidad se sigue buscando el mejoramiento de sus propiedades usando diversos aditivos como son las nanopartículas metálicas [9].

El estudio de las nanopartículas metálicas es de gran interés por sus diversas aplicaciones que van desde optoelectrónica a ciencias médicas, destacando en esta última las nanopartículas de plata por sus propiedades antimicrobianas [10,11]. Los métodos de síntesis desarrollados consiguen nanoestructuras de diferentes formas y tamaños las que están ligadas a una gama de nuevas propiedades, mejorando cada vez los campos de aplicación [12]. Un interés en particular es su aplicación en la industria del empaquetamiento de alimentos debido al mejoramiento en las propiedades mecánicas, antimicrobianas, permeabilidad y la baja absorción de humedad. Ref. [2] usó nanopartículas de plata de 5 a 20 nm para dopar láminas de compuestos de almidón y estudiar el comportamiento mecánico,

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

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

DO NOT REMOVE

su permeabilidad y la absorción de humedad. Sus resultados mostraron un aumento en la resistencia a la tracción, una baja absorción de humedad, actuando como barrera ante el vapor de agua, exhibiendo su potencial en el empaquetamiento de alimentos. Ref. [13] preparó películas de nanocompuestos agregándole nanopartículas de plata para aplicaciones en el empaquetamiento de alimentos. Los resultados confirman las mejoras en las propiedades mecánicas y de barrera de resistencia ante el vapor de agua con una baja absorción de humedad. También se preparó nanocompuestos de agar con nanopartículas de plata sintetizadas usando tirosina y triptófano como agente reductor y de cobertura, la incorporación de nanopartículas influyó en las propiedades de las películas mecánicas, de coloración y de barrera de vapor de agua [14]. Se preparó una película de mezcla de ragacanto/hidroxipropilmetilcelulosa/cera de abejas con varias concentraciones de nanopartículas de plata mediante el método de fundición, los resultados muestran los efectos en las propiedades del biocompuesto [15]. Ref. [16], preparó nanopartículas de plata y oro embebidas en matriz de almidón de papa, encontrando que la matriz de polisacáridos hace que los nanometales sean estables y evitando la agregación.

Las nanopartículas de plata incorporadas en polímeros vienen sido investigadas debido a su relativamente fácil integración en las matrices poliméricas mejorando sus propiedades, lo que genera expectativas para un uso más amplio en la industria. Por esta razón, el plástico biodegradable fabricado a partir de material orgánico junto a las propiedades de las nanopartículas metálicas se convierte en una solución prometedora. El presente trabajo tiene como finalidad fabricar plástico biodegradable activo a partir de almidón de residuos de papa incorporado con nanopartículas de plata biosintetizadas en diferentes concentraciones, y verificar su efecto en las propiedades físicas y biodegradables.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Síntesis de nanopartículas de plata

La síntesis se realizó mediante el método de química verde descrito por [17], usando como precursor al nitrato de plata de la marca Merck (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 (NaOH 98%, CAS: 1310-73-2) manteniendo la agitación magnética.

B. Obtención del almidón

Se recolectó residuos de papa (*Solanum tuberosum*) de un mercado local. Se eliminaron las partes dañadas y la cáscara.

Luego fueron lavadas con agua, secadas superficialmente, cortadas en trozos pequeños para luego ser trituradas 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.



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

C. Fabricación de las películas

Se siguió el procedimiento seguido por [18], los elementos usados para la síntesis fueron el almidón de papa, 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 (NaOH 98%, CAS: 1310-73-2). Se dispersó almidón de papa en agua destilada en razón de 2.5 g: 25 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 60 °C para su gelatinización. Finalmente, 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 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.

Las películas fabricadas se muestran en la Fig. 2, están son de un color blanquecino transparente que van tiñéndose de amarillo 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 papa presentan inicialmente esta coloración [16,18-20], 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].



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

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 inglés) 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 cm^{-1} con una resolución de 4 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 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 g/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 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 [21]. Las películas de 2x2 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 [22]. Las películas de 2x2 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 [17,23] 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 [9].

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 cm^{-1} , relacionado a la función hidróxido que corresponde al estiramiento O-H (tipo de compuesto fenólico) [22,24,25]. También se identificó una banda en 2929.1 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 [26,27]; las bandas a 1593.1 cm^{-1} y 1401.5 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 $1043.\text{ cm}^{-1}$ y 833.5 cm^{-1} son flexiones de enlaces $-\text{C}-\text{O}$ y están relacionados con alcoholes primarios y con ácidos gálicos y tánicos [25].

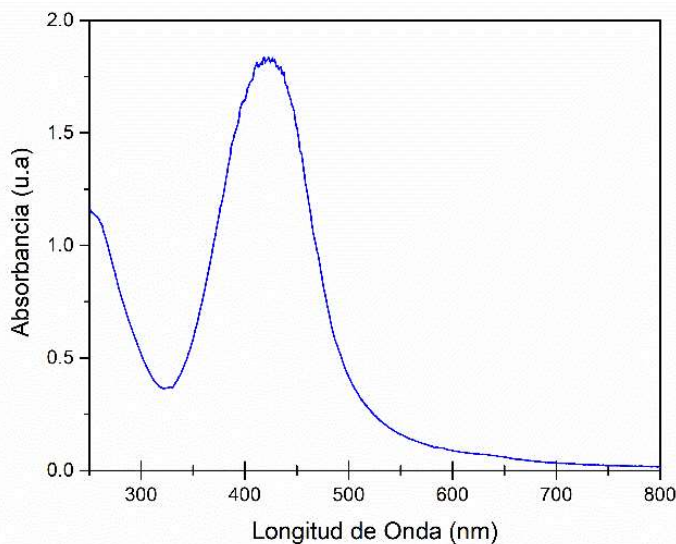


Fig. 3. Espectro de absorbanza de nanopartículas de plata biosintetizadas

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 0.80 g/cm^3 a 1.11 g/cm^3 y 1.24 g/cm^3 para las muestras con 3% y 6% respectivamente. 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. [28] 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 [9] 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.

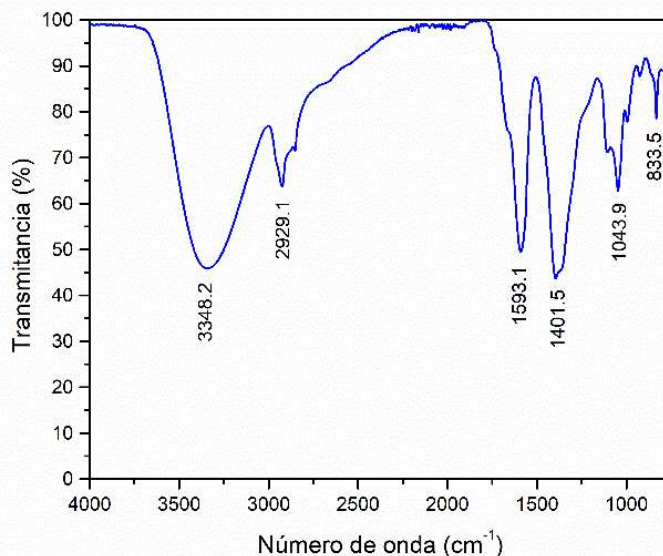


Fig. 4. Espectro FTIR de nanopartículas de plata en estado coloidal sintetizadas por química verde usando extracto de residuos de uva.

Con respecto a los resultados de contenido de humedad se observa una disminución de este, En la tabla I se observa que con el aumento de contenido de nanopartículas de plata el contenido de humedad en las películas se reduce desde 22.92% hasta alcanzar un promedio de 18.55% en las películas con 6% de Ag Np, esto demuestra que la humedad en las películas está asociada a la matriz polimérica de almidón [29] y en las películas de almidón de papa es muy compacta [16]. Es necesario señalar que este comportamiento es de vital importancia en los materiales activos ya que reducen las posibilidades de deterioro temprano.

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

Muestra	Densidad (g/cm^3)	Contenido de Humedad (%)
0% AgNp	0.80 ± 0.01	22.92 ± 0.74
3% AgNp	1.11 ± 0.02	20.47 ± 0.82
6% AgNp	1.24 ± 0.02	18.55 ± 0.67

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

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 el efecto de las nanopartículas de plata en las películas reduciendo la capacidad de absorción de agua, el aumento de la hidrofobicidad de la película se atribuye a la inclusión de plata metálica hidrofóbica en la matriz polimérica [24,30]. Si bien es cierto, las tres muestras presentadas alcanzan la saturación casi al mismo tiempo, la presencia de nanopartículas de plata reduce la cinética de absorción representado por pendiente de curvas mucho menos inclinadas. Con la muestra con 3% de concentración se alcanza un porcentaje de absorción en la saturación de ~65%, mientras que la muestra con 3% llega a ~55%, se presume que esta tendencia no es lineal y debe existir un umbral de saturación. 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.

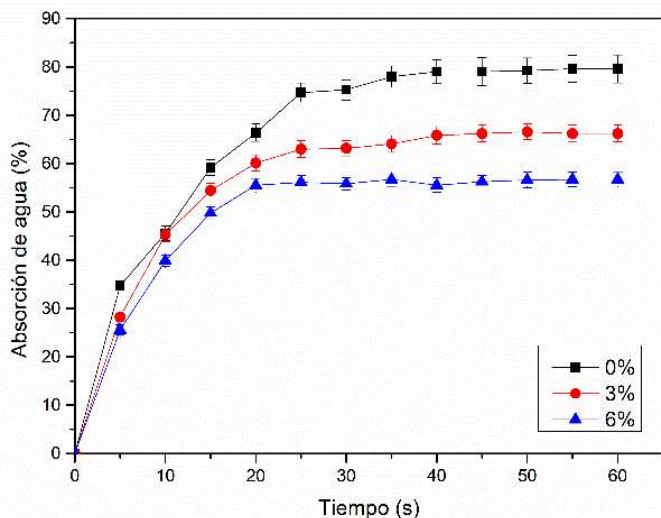


Fig. 5. Curvas de la cinética de absorción de agua.

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 [31] pero la presencia de Ag inhibe la actividad de estos microorganismos y reduce la producción de CO₂ [32]. 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 [22,33].

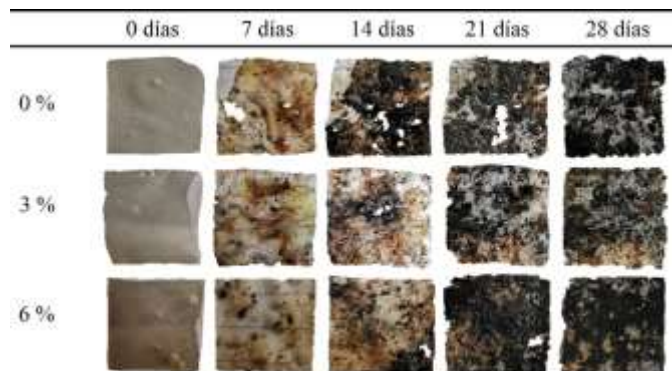


Fig. 6. Proceso de degradación de películas de bioplástico integradas con AgNp (0, 3 y 6%) durante 28 días.

TABLA II
PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE PESO EN EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DE PELÍCULAS DE BIOPLASTICO INCORPORADAS CON AGNP (0, 3, Y 6%)

Muestra	0 días	7 días	14 días	21 días	28 días
0% AgNp	0%	11%	18%	39%	68%
3% AgNp	0%	9%	17%	34%	54%
6% AgNp	0%	8%	15%	32%	47%

IV. CONCLUSIONES

Se fabricó 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. Se confirmó la integración de las nanopartículas de plata en películas biodegradables fabricadas a partir de almidón de papa para producir materiales activos confirmando los efectos en sus características físicas y propiedades activas en función del porcentaje de AgNp. Se comprobó que el aumento del porcentaje de nanopartículas de plata produce un aumento en la densidad, una reducción del contenido de humedad y una disminución del punto de saturación en absorción de agua. Estas características y su comportamiento biodegradable reafirman el uso de nanopartículas metálicas como una excelente alternativa para mejorar las propiedades de los biopolímeros para su uso como material activo.

REFERENCIAS

- [1] Jabeen, N., Majid, I., & Nayik, G. A. (2015). Bioplastics and food packaging: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 1(1), 1117749.

- [2] Ortega, F., Giannuzzi, L., Arce, V. B., & García, M. A. (2017). Active composite starch films containing green synthesized silver nanoparticles. *Food Hydrocolloids*, 70, 152-162.
- [3] 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.
- [4] Abdullah, A. H. D., Chalhah, 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.
- [5] Bayer, I. S., Guzman-Puyol, S., Heredia-Guerrero, J. A., Ceseracciu, L., Pignatelli, F., Ruffilli, R., ... & Athanassiou, A. (2014). Direct transformation of edible vegetable waste into bioplastics. *Macromolecules*, 47(15), 5135-5143.
- [6] Tsou, C. H., Suen, M. C., Yao, W. H., Yeh, J. T., Wu, C. S., Tsou, C. Y., ... & Lee, K. R. (2014). Preparation and characterization of bioplastic-based green renewable composites from tapioca with acetyl tributyl citrate as a plasticizer. *Materials*, 7(8), 5617-5632.
- [7] Borghai, 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.
- [8] Pirouzifard, M., Yorghanlu, R. A., & Pirs, 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.
- [9] 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
- [10] Tagad, C. K., Dugasani, S. R., Aiyer, R., Park, S., Kulkarni, A., & Sabharwal, S. (2013). Green synthesis of silver nanoparticles and their application for the development of optical fiber based hydrogen peroxide sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 183, 144-149.
- [11] Sharma, V. K., Yngard, R. A., & Lin, Y. (2009). Silver nanoparticles: green synthesis and their antimicrobial activities. *Advances in colloid and interface science*, 145(1-2), 83-96.
- [12] Petica, A., Gavrilu, S., Lungu, M., Buruntea, N., & Panzaru, C. (2008). Colloidal silver solutions with antimicrobial properties. *Materials Science and Engineering: B*, 152(1-3), 22-27.
- [13] Davidovic, S. Z., Miljkovic, M. G., Radovanovic, N. R., Dimitrijevic, S. I., & Nestic, A. R. (2017). Physico-chemical properties of agar/silver nanocomposite films intended for food packaging application. *Journal of International Scientific Publications: Agriculture & Food*, 5(1000023), 139-146.
- [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] Khachatryan, K., Khachatryan, G., & Fiedorowicz, M. (2016). Silver and gold nanoparticles embedded in potato starch gel films. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 4(02), 22.
- [17] Asmat-Campos, D. A., Juárez-Cortijo, L., Delfin-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.*
- [18] Nazario-Naveda, R. R., Rojas-Flores, S. J., Angelats-Silva, L., Gallozzo-Cardenas, M. M., & Valverde-Diaz, E. I. (2021). Películas biodegradables de almidón de papa reforzadas con extracto acuoso de piel de mango para su uso como envase activo. *LACCEI, Inc.*
- [19] Orezzoli, A. V., Zavaleta, E., Pajares-Medina, N., Adolfo, S., Lescano, L., & Linares, G. (2018). Research Article Physicochemical and Mechanical Characteristics of Potato Starch-Based Biodegradable Films.
- [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] 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.
- [22] 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.
- [23] Asmat-Campos, D., Delfin-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.*
- [24] Kanmani, P., & Rhim, J. W. (2014). Physicochemical properties of gelatin/silver nanoparticle antimicrobial composite films. *Food chemistry*, 148, 162-169.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] Marcucci, M. C. (2009). Atividades antimicrobiana e antioxidante da própolis do estado do Ceará. *Revista Fitos*, 4(01), 81-86.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [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] 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.
- [33] 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, physico-chemical and mechanical properties. *Polymer degradation and stability*, 95(9), 1694-1703.