

Incorporation of alcoholic extract of mango peel on mango seed starch-based bioactive compounds

Renny Nazario-Naveda¹, Moisés Gallozzo-Cárdenas², Luisa Juárez-Cortijo³, Luis Angelats-Silva⁴, Milton Martínez-Julca⁵, Segundo Rojas-Flores¹ and Santiago M. Benites¹

¹ Vicerrectorado de Investigación, Universidad Autónoma del Perú, Lima 15842, Perú; renny.nazario@autonoma.pe

² Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad César Vallejo, Trujillo 13001, Perú; mmgallozzo@ucvvirtual.edu.pe

³ Grupo de Investigación de Ciencias Aplicadas y Nuevas Tecnologías, Universidad Privada del Norte, Trujillo 13007, Perú; luisa.juarez@upn.edu.pe

⁴ Laboratorio de Investigación Multidisciplinario, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo 13008, Perú; langelatss@upao.edu.pe

⁵ Departamento de Ciencias, Universidad Privada del Norte, Lima 13011, Perú; mmartinezjulca@gmail.com

*Abstract— The objective of the following research was to study the effect of the alcoholic extract of mango skin when incorporating it into active biodegradable films manufactured from mango seed starch. Mango skin waste from the Kent variety was used in a drying and maceration process to obtain the extract (ME). The extract was added in the gelatinization process of the films in concentrations of 5% and 10% v/v. The optical properties of the mango extract were characterized by UV-Vis spectrophotometry, while the identification of the functional groups was carried out by FTIR spectroscopy. The morphology of the films was studied, while the active properties were characterized using kinetics of water absorption and biodegradation by burial in soil. The mechanical properties were also studied, finding an effect on the elasticity of the films. Finally, the antimicrobial properties were studied using the inhibition zone technique, observing good results against the bacteria *S. aureus* and *E. coli*. The results show a good incorporation of the mango skin extract into the polymer matrix, reflected in the improvement of the mechanical and active properties of the films.*

Keywords—active material, biodegradation, mango extract, mango starch.

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

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

DO NOT REMOVE

Incorporación de extracto alcohólico de cáscara de mango sobre compuestos bioactivos a base de almidón de semilla de mango

Renny Nazario-Naveda¹, Moisés Gallozzo-Cárdenas², Luisa Juárez-Cortijo³, Luis Angelats-Silva⁴, Milton Martínez-Julca⁵, Segundo Rojas-Flores¹ and Santiago M. Benites¹

¹ Vicerrectorado de Investigación, Universidad Autónoma del Perú, Lima 15842, Perú, renny.nazario@autonoma.pe

² Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad César Vallejo, Trujillo 13001, Perú; mmgallozzo@ucvvirtual.edu.pe

³ Grupo de Investigación de Ciencias Aplicadas y Nuevas Tecnologías, Universidad Privada del Norte, Trujillo 13007, Perú; luisa.juarez@upn.edu.pe

⁴ Laboratorio de Investigación Multidisciplinario, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo 13008, Perú; langelatss@upao.edu.pe

⁵ Departamento de Ciencias, Universidad Privada del Norte, Lima 13011, Perú; mmartinezjulca@gmail.com

Resumen— El objetivo de la siguiente investigación fue estudiar el efecto del extracto alcohólico de cáscara de mango al incorporarlo a películas biodegradables activas fabricadas a partir de almidón de semilla de mango. Residuos de cáscara de mango de la variedad Kent fueron utilizados en un proceso de secado y maceración para obtener el extracto (EM). El extracto se añadió en el proceso de gelatinización de las películas en concentraciones de 5% y 10% v/v. Las propiedades ópticas del extracto de mango se caracterizaron mediante espectrofotometría UV-Vis, mientras que la identificación de los grupos funcionales se realizó mediante espectroscopía FTIR. Se estudió la morfología de las películas, mientras que las propiedades activas se caracterizaron mediante cinéticas de absorción de agua y biodegradación por enterramiento en suelo. También se estudiaron las propiedades mecánicas, encontrando efecto sobre la elasticidad de las películas. Finalmente, se estudiaron las propiedades antimicrobianas mediante la técnica de halo de inhibición, observándose buenos resultados frente a las bacterias *S. aureus* y *E. coli*. Los resultados muestran una buena incorporación del extracto de cáscara de mango a la matriz polimérica, reflejada en la mejora de las propiedades mecánicas y activas de las películas.

Keywords— material activo, biodegradación, extracto de mango, almidón de mango

I. INTRODUCCIÓN

El mango es una de las frutas preferidas por la población debido a su carnosidad, dulzura y su capacidad de prepararse en diferentes platos y postres. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) la producción mundial al 2020 fue de aproximadamente 50 millones de toneladas, siendo la India el mayor productor. En el Perú, el mango representa una de las frutas con mayor expansión de cultivo en el territorio, con cerca de 30 mil hectáreas, siendo la variedad Kent la que predomina. El

cultivo sigue en constante crecimiento, según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego el mango es uno de los principales productos de agroexportación, llegando en el 2020 a una producción de 481,653.11 toneladas [1]. Este crecimiento trae consigo una mayor cantidad de desperdicio de semillas y cáscara durante su procesamiento y consumo, representando entre el 35% y 60% del peso total de la fruta [2]. Aprovechar estos subproductos agrícolas no sólo contribuiría a mitigar el creciente problema ambiental, sino que también podría ayudar a paliar la falta de políticas adecuadas para su manejo. Las semillas contienen una cantidad significativa de almidón con abundantes macromoléculas (amilasa y amilopectina) lo suficientemente alto, lo que las convierte en una opción viable para la fabricación de bioplásticos [3]. Además, las cáscaras de mango son ricas en valiosos componentes como pectina y compuestos fenólicos [4,5], por lo que representan una fuente valiosa de compuestos bioactivos [2,6]. Según Ref. [6], el potencial antioxidante de las cáscaras de mango podría derivar de la interacción sinérgica entre varios compuestos bioactivos presentes en ellas, como polifenoles, carotenoides, fitoquímicos, enzimas, vitamina C y vitamina E. Aunque las cáscaras de mango son reconocidas por su alto contenido antioxidante en comparación con otras frutas, son pocos los estudios que se han centrado en desarrollar este subproducto como un elemento activo en el material de envasado. Además, Ref. [7] presentó una revisión que demuestra que los subproductos del procesamiento industrial del mango, como las cáscaras y las semillas, presentan un contenido total más elevado de fenoles y flavonoides en comparación con los productos finales.

Los productos orgánicos con alto contenido de antioxidantes son muy requeridos en las investigaciones de materiales activos para su uso en la industria del envasado de alimentos mediante la extracción de los antioxidantes y su incorporación como componentes activos, con el fin de

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

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

DO NOT REMOVE

prolongar la vida útil de los productos y garantizar la seguridad y salud de los consumidores [8,9]. La integración de antioxidantes en el envasado activo se ha vuelto sumamente popular debido a que 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 [10]. Por otro lado, los materiales basados en polímeros naturales son cada vez más populares, estos materiales tienen la capacidad de transportar compuestos activos. Sin embargo, 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 polimérica mediante la incorporación de componentes activos 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 [11,12].

Investigaciones previas han demostrado que la inclusión de extractos naturales en películas basadas en fuentes renovables puede mejorar las propiedades de estas películas hechas de biopolímeros. Ref. [13] discutió el desarrollo de empaques de alimentos activos utilizando películas de almidón de guisante y goma guar incorporadas con extractos de plantas naturales como antioxidantes, los resultados mostraron que la adición de extractos naturales mejoró la actividad antioxidante de las películas y la barrera contra la humedad. Ref. [14] exploró el uso de aditivos como extractos de plantas, aceites esenciales y nanopartículas para mejorar las propiedades antibacterianas, antioxidantes y de barrera de las películas de almidón; los autores destacan su potencial en el envasado de alimentos y otras áreas. Ref. [15] fabricó una película antibacteriana/antioxidante a base de almidón modificado y albúmina, con la adición de nanopartículas de óxido de magnesio, la adición de nanopartículas mejoró las propiedades físicas y térmicas de la película y su actividad antibacteriana. Ref. [16] estudió las propiedades antimicrobianas y antioxidantes de una película compuesta hecha de almidón comestible y quitosano, que contiene aceite esencial de *Thymus kotschyanus*; el estudio encontró que la película tenía efectos inhibidores sobre varias bacterias y aumentaba la actividad antioxidante. Ref. [17] estudió la incorporación de extractos de compuestos fenólicos solubles en agua de residuos de paja de arroz en películas bioactivas a base de almidón. La adición del extracto antioxidante mejoró las propiedades de barrera al oxígeno; sin embargo, las películas se volvieron más quebradizas. Ref. [18] desarrolló películas bionanocompuestas de almidón de maíz, nanopartículas de quitosano y timol como posibles materiales de envasado de alimentos que puedan mejorar la vida útil de los alimentos, las películas de bio-nanocompuestos demostraron el potencial de alargar la vida útil de los tomates cherry envasados con las

películas. Por otro lado, se ha investigado la adición de extracto de cáscara de mango para aprovechar sus propiedades antioxidantes, como por ejemplo en películas de gelatina de pescado [5], en películas de almidón de yuca [7]. En estos casos, se ha encontrado que las películas resultantes presentan no sólo mejores propiedades mecánicas, sino también una mayor resistencia al vapor de agua en comparación con las películas que carecen de los extractos. Además, Ref. [19] discutió el desarrollo y caracterización de películas comestibles a base de gelatina de almidón de maíz incorporadas con extractos de mango y piña para empaque activo, las películas mostraron propiedades fisicoquímicas mejoradas con la incorporación de los extractos. Ref. [20] estudió la incorporación de extracto de cáscara de mango en películas desintegrantes orales a base de almidón de maíz como vehículo para liberar compuestos fenólicos en la cavidad bucal, las formulaciones de las películas mostraron tiempos de desintegración rápidos, pH superficial neutro y actividad antioxidante. Ref. [21] analizó diferentes formulaciones poliméricas de quitosano, almidón y sus mezclas, con la adición de extracto de hoja de mango para evaluar su eficiencia en la conservación de alimentos, la formulación redujo la solubilidad en agua y la permeabilidad al vapor de agua al tiempo que aumentó la protección UV. Una mezcla de quitosano/almidón con un 3% de extracto demostró tener una mayor capacidad antimicrobiana y antioxidante. Ref. [22] fabricó películas antioxidantes para envases de alimentos incorporando pulpa de mango y extracto de yerba mate en una matriz de almidón de yuca, el aceite de palma envasado en estas películas mostró una disminución de la tasa del proceso de oxidación; las propiedades mecánicas, físicas y de barrera de las películas fabricadas fueron modificadas significativamente con la adición de estos compuestos bioactivos [22].

En este contexto, el objetivo de esta investigación se centra en producir películas bioactivas basadas en almidón de semillas de mango incorporando extracto de cáscara de mango en diversas concentraciones, con el fin de evaluar sus propiedades activas, mecánicas y actividad antimicrobiana.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Extracción de almidón

Se recolectó residuos de mango (*Mangifera indica*) de la variedad Kent de un mercado local de la ciudad de Trujillo, Perú. Se retiraron las semillas de la pulpa, se les retiró la capa externa dejando libre el endospermo para ser lavadas con agua limpia, secadas superficialmente y cortadas en trozos pequeños, luego fueron triturados en una licuadora añadiendo agua destilada. 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 5 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 del extracto de cáscara de mango (EM)

Se recolectó cáscaras de mango (*Mangifera indica*) de la variedad Kent de un mercado local. Estas fueron lavadas con agua limpia y enjuagadas con agua destilada, se retiró el mesocarpio usando solo el epicarpio. Las cáscaras fueron secadas al sol por 48 horas para luego ser trituradas hasta convertirlas en polvo. El polvo (10 g) fue colocado en suspensión en 50 mL de alcohol comercial 96% de Alkofarma, Perú. La suspensión fue llevada a ultrasonido durante un tiempo de 30 minutos para luego dejarse en un proceso de maceración por 48 horas. Al término, el extracto fue llevado nuevamente al ultrasonido por un tiempo de 30 minutos, para finalmente separar el sobrenadante y restos sólidos mediante filtración usando un filtro Whatman de 42/125 mm. El extracto obtenido se mantuvo en almacenamiento a 4 °C.

C. Fabricación de las películas

Los elementos usados para la síntesis fueron el almidón de semilla de mango, ácido acético de Merck (99 %), agua destilada, glicerol de la marca Merck (99 %) como plastificante e Hidróxido de Sodio de la marca Merck (98 %). 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 extracto de cáscara de mango en proporciones de 0, 5, y 10 % 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 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.

D. Técnicas de caracterización

Para la caracterización del extracto de mango se usó espectrofotometría UV-Vis (Shimadzu, UV 1900, Tokyo, Japan). Se analizó los grupos de funciones de las películas bioplásticas mediante espectroscopía infrarroja de transformación de Fourier (FTIR), se utilizó un espectrofotómetro Thermo Scientific IS50 Fourier Transform. El espectro para cada muestra se realizó con 20 escaneos en un rango de frecuencia de 4000 a 700 cm^{-1} con una resolución de 4 cm^{-1} . El análisis morfológico de las películas bioplásticas se realizó utilizando un microscopio electrónico de barrido (Tescan Vega 3 LMU). Las muestras 1x1 cm^2 se recubrieron

con una capa delgada de carbono para mejorar la resolución de la imagen y se observaron usando un voltaje acelerado de 5 kV. Por otro lado, la cinética de absorción de agua se determinó usando el método descrito por [23]. 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 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 peso de la película. 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 comparando la relación del peso húmedo y el peso seco. Los ensayos de esfuerzo y deformación 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. Las muestras fueron moldeadas en probetas halterio tipo V con un ancho de 3.18 ± 0.5 mm. Se realizaron cuatro repeticiones de la prueba para cada película. El espesor de las películas se determinó mediante un promedio de cinco medidas en distintos lugares de las películas usando un vernier calibrador digital con ± 0.01 mm de precisión. La biodegradación se determinó siguiendo una metodología similar a la reportada por [19,24]. Películas de 2x2 cm^2 fueron colocadas en suelo de cultivo a una profundidad de 10 cm, la tasa de degradación se calculó a partir de la pérdida de peso de las muestras a través del tiempo, considerando el peso seco de la película antes de ser colocada bajo tierra, y 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. Finalmente, se evaluó la actividad antimicrobiana de los biopolímeros, se usó el método de sensibilidad por difusión de agar o también llamado difusión en placa. La metodología aplicada consistió en colocar fracciones de 1 cm^2 del polímero con diferente % de EM a evaluar sobre una placa petri que contiene agar Müeller-Hinton que fue previamente inoculado con una carga microbiana equivalente a 108 UFC (unidades formadoras de colonia)/mL cuando se enfrentó a las Cepas de referencia ATCC 25922 de *Escherichia coli* y ATCC 29213 de *Staphylococcus aureus*; mientras que para la cepa ATCC 10231 de *Candida albicans* la carga microbiana fue equivalente a 106 UFC/mL. Las placas inoculadas se incubaron a 37 °C por 24 a 48 horas y pasado el tiempo de incubación se evaluó la presencia o ausencia del halo de inhibición de crecimiento alrededor del biopolímero.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características ópticas del extracto de cáscara de mango se llevaron a cabo utilizando un espectrofotómetro

UV-vis para determinar la absorción de la luz por los fitoquímicos como los compuestos fenólicos, flavonoides y carotenoides. Este comportamiento se muestra en la Figura 1. Se puede ver que el espectro de absorción está en el rango de longitud de onda de 350-500 nm con pico de absorción en 426 nm, lo que concuerda con los encontrado en otros estudios [25,26].

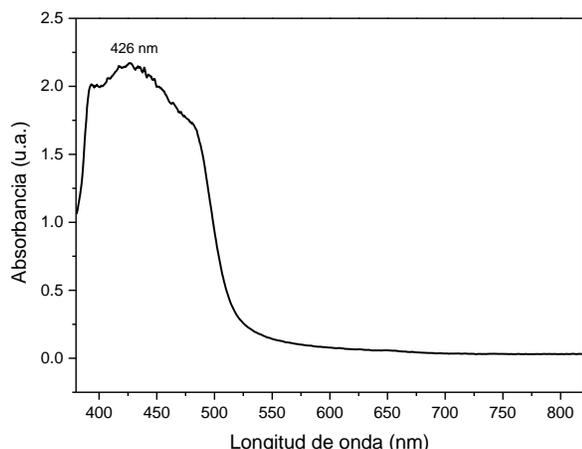


Fig. 1 Espectro de absorción UV-Vis del extracto de cáscara de mango.

La Figura 2 muestra los espectros FTIR de almidón de semillas de mango, extracto de cáscara de mango (EM), y las películas incorporadas con 0, 5 y 10 % EM que confirma la buena integración de los extractos en la matriz polimérica de las películas. Los resultados muestran los grupos funcionales específicos como C-H, O-H, C-O, C = O, C = C y O = H típico de las películas bioplásticas basadas en almidón. Se observa un pico alrededor de 3355 cm^{-1} que corresponde a la absorción causada por el enlace C-H (componente de tipo alcano) y el estiramiento O-H (tipo de compuesto fenólico) [3]. Otro pico se observa a 2920 cm^{-1} correspondiente al estiramiento C-H (tipo de compuesto de aldehído) [27]. Estos grupos funcionales también están presentes en las muestras de almidón de semillas de mango y extracto de cáscara de mango. Se encuentra un pico a 1744 cm^{-1} que indica la presencia del grupo carbonilo en el extracto de cáscara y almidón de mango, este pico muestra un ligero cambio a la derecha en las películas de bioplástico, esto posiblemente se deba al hecho de que existe un proceso para la creación de nuevos enlaces en la matriz polimérica debido a la gelatinización del almidón [28]. Además, la absorción causada por el estiramiento del enlace C = O (amida I, carbonilo) y C = C (tipo de compuesto de alcano) está indicada por los picos cercanos a 1417 cm^{-1} . Finalmente, se observa un pico muy intenso a 1042 cm^{-1} , que corresponde al estiramiento del enlace C-O [23].

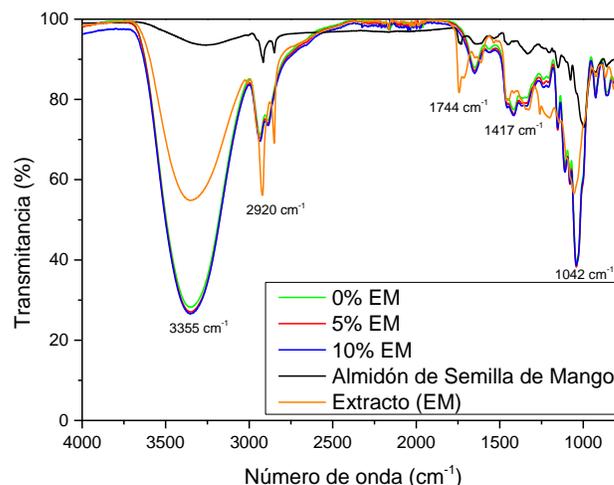


Fig. 2 Espectros FTIR de almidón de semillas de mango, de extracto de cáscara de mango (EM), y de las películas incorporadas con 0, 5 y 10 % EM.

En la Figura 3 se muestran las micrografías de microscopía electrónica de barrido de las películas. En la Figura 3a se observa una superficie con cierta rugosidad, con ciertas grietas, sin embargo, también se pueden observar partículas de almidón que no gelatinizaron (0% EM). Estas imperfecciones se reducen gradualmente al añadir extracto. La muestra con 10% EM (Figura 3c) presenta una superficie más granular, posiblemente debido a los cambios en la disposición de las moléculas durante el proceso de gelatinización de las películas, no hay grietas o vacíos en la superficie porque las fuerzas intermoleculares de la cadena de proteínas contribuyeron a la formación de una estructura más compacta [21]. 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 la interacción con el agua.

La Figura 4 muestra los resultados del experimento de cinética absorción de agua que evidencia el transporte y almacenamiento de agua en las películas. Estos revelan que la película de control absorbe más agua que las que contienen extracto de mango, el aumento en la hidrofobicidad de la película se atribuye a la inclusión de los componentes del extracto en la matriz de polímeros [29, 30]. La rapidez de la absorción de agua de la película de control hace que se hinche a medida que absorbe agua, lo que hace que se abran más poros dentro, permitiendo que ingrese agua; mientras que la adición de extracto en la matriz polimérica reduce significativamente la capacidad de absorción de las películas [27]. La presencia de extracto de mango reduce la cinética de la absorción. Estos resultados sugieren que las partículas que contienen extracto de mango podrían usarse para aislar los alimentos de la humedad como se requiere en materiales activos.

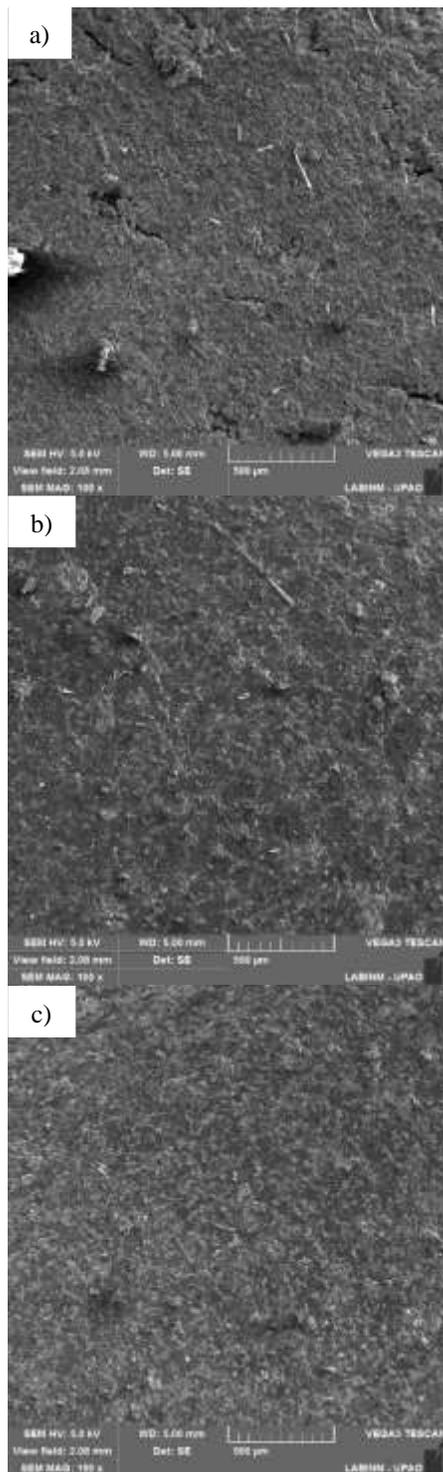


Fig. 3 Micrografía de microscopía electrónica de barrido de las películas fabricadas de a) 0%, b) 5% y c) 10% EM.

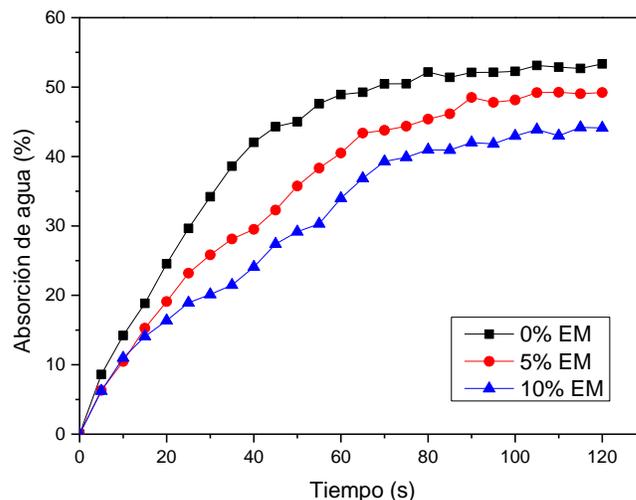


Fig. 4 Curvas de la cinética de absorción de agua.

Las propiedades mecánicas de las láminas bioplásticas con diferentes porcentajes de EM (0, 5, 10 %) se muestran en las Figura 5. En esta se muestra los resultados del comportamiento de las curvas de tensión-deformación. En todos los casos, las curvas indican un comportamiento elástico seguido de una fase de deformación plástica caracterizada por una disminución en la pendiente después de alcanzar el límite elástico hasta llegar a la ruptura de las películas. La distribución uniforme de los componentes EM en la matriz polimérica puede fortalecer la red aumentando el enlace de hidrógeno e interacciones con moléculas de almidón [10]. Por otro lado, la adición de EM aumenta el número de enlaces de hidrógeno en la matriz polimérica de una manera que los hace más fuertes y más resistentes a la rotura, porque ahora se necesita más energía para romperlos [3].

Las mediciones del esfuerzo máximo, esfuerzo de ruptura y el módulo de Young se muestran en la Tabla 1. Se observa que, al aumentar el porcentaje de EM, el esfuerzo máximo aumenta notablemente de 1.7 MPa para las películas de control a 3.45 MPa para las películas con 10 % de EM, se observa la misma tendencia con los valores del módulo de Young, las pendientes de las zonas elásticas aumentan a medida que aumenta el porcentaje de EM hasta alcanzar 3.13 MPa con 10 %. Se observa que la elasticidad aumenta aproximadamente en un 60 % para las películas con un 5% de EM en comparación con las de control; sin embargo, con 10 %, la elasticidad el aumento es sólo de un 20 %. Ref. [3] sugiere que esto se debe a la reducción en la distancia de los enlaces intermoleculares. Por otro lado, Ref. [31] postula que la disminución de la elasticidad en la ruptura se debe a la densidad y al orden estructural de la matriz polimérica. Las interacciones moleculares entre los componentes de almidón y

EM causan rigidez, interfiriendo con la rotación libre de las moléculas y reduciendo la extensibilidad de la película [32].

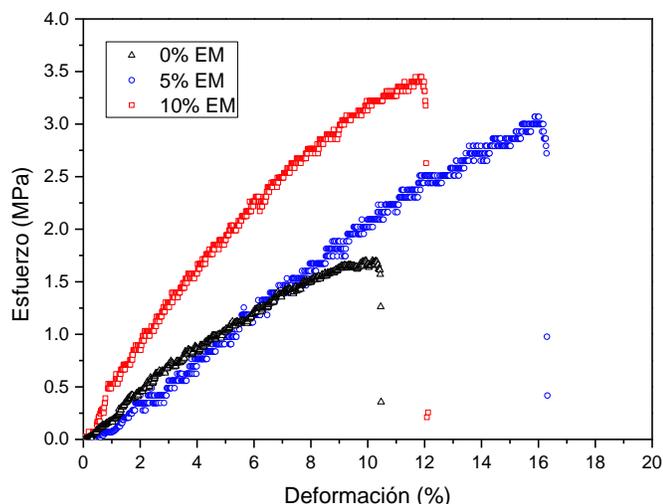


Fig. 5 Curvas de esfuerzo-deformación de películas de bioplástico incorporadas con EM (0, 5 y 10%).

TABLA I
ESFUERZO MÁXIMO, DEFORMACIÓN EN ROTURA Y MÓDULO DE YOUNG DE PELÍCULAS DE BIOPLÁSTICO INCORPORADAS CON EM (0, 5 Y 10%)

Contenido de EM	Esfuerzo máximo (MPa)	Deformación en rotura (%)	Módulo de Young (MPa)
0%	1.7	10.47	1.74
5%	3.07	16.32	2.06
10%	3.45	12.12	3.13

En la Figura 6 se muestra el proceso de degradación de las películas de bioplástico incorporadas con EM (0, 5, 10 %) durante un periodo de 28 días. Se puede observar la descomposición de las películas debido a la acción de microorganismos presentes en el suelo. El contenido de almidón consumido por los microorganismos del suelo fractura y debilita las cadenas de polímeros provocando su biodegradación [31]. De acuerdo al porcentaje de pérdida de peso mostrado en la Tabla 2, se observa que la pérdida de masa se incrementa de acuerdo al tiempo, indicando que las muestras se degradan continuamente. No obstante, el incremento de EM produce una reducción en el porcentaje de pérdida de masa, pasando de un 79% en la película control a un 43% en la película con 10 % de EM en un periodo de 28 días. Ref. [33], 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 [24].

TABLA II
PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE PESO EN EL PROCESO DE DEGRADACIÓN DE PELÍCULAS DE BIOPLÁSTICO INCORPORADAS CON AGNP (0, 5, Y 10%)

Contenido de EM	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28
0%	0%	13%	31%	59%	79%
5%	0%	11%	29%	54%	64%
10%	0%	12%	26%	37%	43%

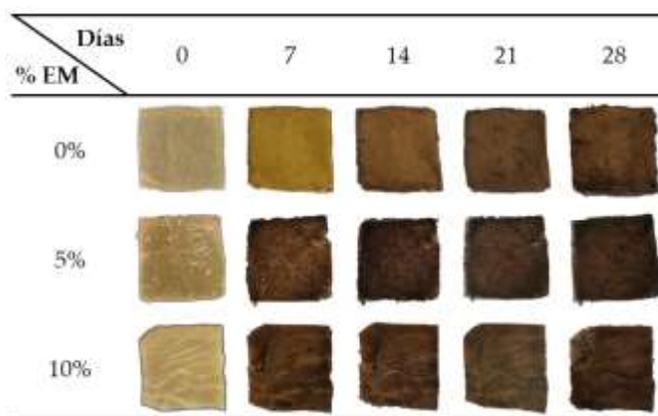


Fig. 6 Ensayo de Biodegradabilidad sobre Películas bioactivas con % EM.

Las propiedades antimicrobianas de las películas que contenían 0, 5 y 10 % de EM se evaluaron mediante un método de difusión de agar frente a *E. coli*, *S. aureus*, y *C. albicans*. La Figura 7 muestra las fotografías después de la incubación a 37 °C durante 48 h. Los resultados revelaron que las películas presentaron actividad antimicrobiana en el área de contacto debajo de las películas expuestas a todos los microorganismos. La inhibición del crecimiento de *S. aureus* fue apreciable para películas con concentraciones de extracto de 5 y 10 %, incrementándose el radio de inhibición con el aumento del porcentaje de EM, con 0.7 cm y 1.1 cm para 5 % y 10 % respectivamente. Se observó la ausencia de halo de inhibición contra la bacteria *E. coli*, pero no se observa un crecimiento de estos microorganismos. Con respecto a *Candida albicans*, se observó una reducción del crecimiento fúngico para películas incorporadas con EM, notándose una mayor inhibición con la mayor concentración de extracto. Estos resultados pueden estar asociados con las diferencias en las estructuras de la membrana externa, a la matriz polimérica (quitosano, almidón, gelatina, etc) a los tipos de plantas, y al tipo de solvente usado en la obtención de los extractos, siendo

así en este caso más sensibles las bacterias Gram positivas (*S. aureus*), que las Gram negativas (*E. coli*) [34-37]. Dimayuga et al., encontraron que los extractos etanólicos de ajenojo son más efectivos contra *S. aureus* que contra *E. coli* o *C. albicans* [38]. El mecanismo de inhibición del crecimiento de microorganismos por parte de los extractos aún no está claro. Cierta evidencia sugiere que la actividad antimicrobiana de los extractos de material orgánico puede deberse a las diferencias fitoquímicas, a la interacción con los componentes de la membrana bacteriana que causan daños y cambios estructurales que conducen a la muerte celular [39,40].



Fig. 7 Análisis antimicrobiano sobre Películas bioactivas con % EM.

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se fabricaron películas basadas en almidón de semilla de mango incorporadas con extracto alcohólico de cáscara de mango con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas, activas y antimicrobianas. El estudio demuestra una buena integración del extracto de cáscara de mango en las películas, además de producir un efecto positivo en la cinética de absorción de agua en función del porcentaje de EM, logrando una desaceleración y una saturación más tardía. Por otro lado, las propiedades mecánicas se ven mejoradas, el esfuerzo máximo alcanzado es de 3.45 MPa y un módulo de Young de 3.13 MPa para las muestras con 10 % de EM, mientras que la deformación unitaria máxima se alcanzó con las muestras con 5 % de EM. Se comprobó su comportamiento biodegradable y su efecto antimicrobiano, siendo más efectiva contra bacterias del tipo *S. aureus*. Estas características destacan los beneficios de usar los residuos del mango como una excelente alternativa para la fabricación de bioplásticos reforzados para su uso como material activo.

REFERENCIAS

[1] Aragón Mendieta, D. F. Estudio de tendencias de mercado-Mango, 2022.
 [2] Marcillo-Parra, V., Anaguano, M., Molina, M., Tupuna-Yerovi, D. S., & Ruales, J. "Characterization and quantification of bioactive compounds and antioxidant activity in three different varieties of mango (*Mangifera indica* L.) peel from the Ecuadorian region using HPLC-UV/VIS and UPLC-PDA". *NFS Journal*, vol. 23, pp. 1-7, 2021.
 [3] Maulida, Kartika, T., Harahap, M. B., & Ginting, M. H. S. "Utilization of mango seed starch in manufacture of bioplastic reinforced with microparticle clay using glycerol as plasticizer". En *IOP Conference*

Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, vol. 309, pp. 012068, 2018.
 [4] Ajila, C. M., Naidu, K. A., Bhat, S. G., & Rao, U. P. "Bioactive compounds and antioxidant potential of mango peel extract". *Food chemistry*, vol. 105, no. 3, pp. 982-988, 2007.
 [5] Adilah, A. N., Jamilah, B., Noranizan, M. A., & Hanani, Z. N. "Utilization of mango peel extracts on the biodegradable films for active packaging". *Food packaging and shelf life*, vol. 16, pp. 1-7, 2018.
 [6] Ayala-Zavala, J. F., Rosas-Domínguez, C., Vega-Vega, V., & González-Aguilar, G. A. "Antioxidant enrichment and antimicrobial protection of fresh-cut fruits using their own byproducts: Looking for integral exploitation". *Journal of food science*, vol. 75, no. 8, pp. R175-R181, 2010.
 [7] Souza, C. O., Silva, L. T., Silva, J. R., López, J. A., Veiga-Santos, P., & Druzian, J. I. "Mango and acerola pulps as antioxidant additives in cassava starch bio-based film". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 59, no. 6, pp. 2248-2254, 2011.
 [8] Engels, C., Knodler, M., Zhao, Y. Y., Carle, R., Ganzle, M. G., & Schieber, A. "Antimicrobial activity of gallotannins isolated from mango (*Mangifera indica* L.) kernels". *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 57, no. 17, pp. 7712-7718, 2009.
 [9] Valdés, A., Mellinas, A. C., Ramos, M., Garrigós, M. C., & Jiménez, A. "Natural additives and agricultural wastes in biopolymer formulations for food packaging". *Frontiers in chemistry*, vol. 2, pp. 6, 2014.
 [10] Wu, J., Chen, S., Ge, S., Miao, J., Li, J., & Zhang, Q. "Preparation, properties and antioxidant activity of an active film from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) skin gelatin incorporated with green tea extract". *Food Hydrocolloids*, vol. 32, no. 1, pp. 42-51, 2013.
 [11] Sachdeva, A., Vashist, S., Chopra, R., & Puri, D. "Antimicrobial activity of active packaging film to prevent bread spoilage". *Int. J. Food Sci. Nutr.*, vol. 2, pp. 29-37, 2017.
 [12] Zia, F., Zia, K. M., Zuber, M., Kamal, S., & Aslam, N. "Starch based polyurethanes: A critical review updating recent literature". *Carbohydrate polymers*, vol. 134, pp. 784-798, 2015.
 [13] Saberi, B., Vuong, Q. V., Chockchaisawasdee, S., Golding, J. B., Scarlett, C. J., & Stathopoulos, C. E. "Physical, barrier, and antioxidant properties of pea starch-guar gum biocomposite edible films by incorporation of natural plant extracts". *Food and Bioprocess Technology*, vol. 10, pp. 2240-2250, 2017.
 [14] Cui, C., Ji, N., Wang, Y., Xiong, L., & Sun, Q. "Bioactive and intelligent starch-based films: A review". *Trends in Food Science & Technology*, vol. 116, pp. 854-869, 2021.
 [15] Hosseini, S. N., Pirsá, S., & Farzi, J. "Biodegradable nano composite film based on modified starch-albumin/MgO; antibacterial, antioxidant and structural properties". *Polymer Testing*, vol. 97, pp. 107182, 2021.
 [16] Mehdizadeh, T., Tajik, H., Rohani, S. M. R., & Oromiehie, A. R. "Antibacterial, antioxidant and optical properties of edible starch-chitosan composite film containing *Thymus kotschyuan* essential oil". En *Veterinary Research Forum*, Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University, Urmia, Iran, vol. 3, no. 3, pp. 167, 2012.
 [17] Menzel, C., González-Martínez, C., Vilaplana, F., Diretto, G., & Chiralt, A. "Incorporation of natural antioxidants from rice straw into renewable starch films". *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 146, pp. 976-986, 2020.
 [18] Othman, S. H., Othman, N. F. L., Shapi'i, R. A., Ariffin, S. H., & Yunus, K. F. M. "Corn starch/chitosan nanoparticles/thymol bio-nanocomposite films for potential food packaging applications". *Polymers*, vol. 13, no. 3, pp. 390, 2021.
 [19] Susmitha, A., Sasikumar, K., Rajan, D., & Nampoothiri, K. M. "Development and characterization of corn starch-gelatin based edible films incorporated with mango and pineapple for active packaging". *Food Bioscience*, vol. 41, pp. 100977, 2021.
 [20] Guerra, A., Cervi, C. B., GARCIA, V., & Da Silva, C. "Incorporation of active compounds from mango peel (*Mangifera indica* L. Cv. "Tommy

- Atkins”) into corn starch-based oral disintegrating films”. *Latin American Applied Research*, vol. 49, no. 2, pp. 93-97, 2019.
- [21] Cejudo, C., Ferreira, M., Romera, I., Casas, L., & Mantell, C. “Functional, Physical, and Volatile Characterization of Chitosan/Starch Food Films Functionalized with Mango Leaf Extract”. *Foods*, vol. 12, no. 15, pp. 2977, 2023.
- [22] Reis, L. C. B., de Souza, C. O., da Silva, J. B. A., Martins, A. C., Nunes, I. L., & Druzian, J. I. “Active biocomposites of cassava starch: The effect of yerba mate extract and mango pulp as antioxidant additives on the properties and the stability of a packaged product”. *Food and Bioprocess Technology*, vol. 94, pp. 382-391, 2015.
- [23] Oluwasina, O. O., Olaleye, F. K., Olusegun, S. J., Oluwasina, O. O., & Mohallem, N. D. “Influence of oxidized starch on physicomechanical, thermal properties, and atomic force micrographs of cassava starch bioplastic film”. *International journal of biological macromolecules*, vol. 135, pp. 282-293, 2019.
- [24] Amin, M. R., Chowdhury, M. A., & Kowser, M. A. “Characterization and performance analysis of composite bioplastics synthesized using titanium dioxide nanoparticles with corn starch”. *Heliyon*, vol. 5, no. 8, pp. e02009, 2019.
- [25] Raul, P. K., Santra, P., Goswami, D., Tyagi, V., Yellappa, C., Mauka, V., ... & Dwivedi, S. K. “Green synthesis of carbon dot silver nano hybrids from fruits and vegetable’s peel waste: Applications as potent mosquito larvicide”. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, vol. 4, pp. 100158, 2021.
- [26] Gebishu, M., Fikadu, B., Bekele, B., Tesfaye Jule, L., N, N., & Ramaswamy, K. “Fluorescence and UV/visible spectroscopic investigation of orange and mango fruit juice quality in case of Adama Town”. *Scientific Reports*, vol. 12, no. 1, pp. 7345, 2022.
- [27] Galus, S., & Kadzińska, J. “Moisture sensitivity, optical, mechanical and structural properties of whey protein-based edible films incorporated with rapeseed oil”. *Food technology and biotechnology*, vol. 54, no. 1, pp. 78-89, 2016.
- [28] Alashwal, B. Y., Bala, M. S., Gupta, A., Sharma, S., & Mishra, P. “Improved properties of keratin-based bioplastic film blended with microcrystalline cellulose: A comparative analysis”. *Journal of King Saud University-Science*, vol. 32, no. 1, pp. 853-857, 2020.
- [29] Kanmani, P., & Rhim, J. W. “Physicochemical properties of gelatin/silver nanoparticle antimicrobial composite films”. *Food chemistry*, vol. 148, pp. 162-169, 2014.
- [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. “Antioxidant and antimicrobial methylcellulose films containing Lippia alba extract and silver nanoparticles”. *Carbohydrate polymers*, vol. 192, pp. 37-43, 2018.
- [31] Ismail, N. A., Mohd Tahir, S., Yahya, N., Wahid, A., Firdaus, M., Khairuddin, N. E., ... & Abdullah, M. A. “Synthesis and characterization of biodegradable starch-based bioplastics”. En *Materials Science Forum*, Trans Tech Publications Ltd, vol. 846, pp. 673-678, 2016.
- [32] Shakila, R. J., Jeevithan, E., Varatharajakumar, A., Jeyasekaran, G., & Sukumar, D. Comparison of the properties of multi-composite fish gelatin films with that of mammalian gelatin films. *Food chemistry*, vol. 135, no. 4, pp. 2260-2267, 2012.
- [33] Maiti, M., Kaith, B. S., Jindal, R., & Jana, A. K. “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*, vol. 95, no. 9, pp. 1694-1703, 2010.
- [34] Schaefer, E. W., Pavoni, J. M. F., Luchese, C. L., Faccin, D. J. L., & Tessaro, I. C. “Influence of turmeric incorporation on physicochemical, antimicrobial and mechanical properties of the cornstarch and chitosan films”. *International journal of biological macromolecules*, vol. 148, pp. 342-350, 2020.
- [35] Iturriaga, L., Olabarrieta, I., & de Marañón, I. M. “Antimicrobial assays of natural extracts and their inhibitory effect against *Listeria innocua* and fish spoilage bacteria, after incorporation into biopolymer edible films”. *International journal of food microbiology*, vol. 158, no. 1, pp. 58-64, 2012.
- [36] Ghosh, A., Das, B. K., Roy, A., Mandal, B., & Chandra, G. “Antibacterial activity of some medicinal plant extracts”. *Journal of natural medicines*, vol. 62, pp. 259-262, 2008.
- [37] Bustamante-Torres, M., Arcentales-Vera, B., Estrella-Nuñez, J., Yáñez-Vega, H., & Bucio, E. “Antimicrobial activity of composites-based on biopolymers”. *Macromol*, vol. 2, no. 3, pp. 258-283, 2022.
- [38] Encarnacion Dimayuga, R., Virgen, M., & Ochoa, N. “Antimicrobial activity of medicinal plants from Baja California Sur (Mexico)”. *Pharmaceutical biology*, vol. 36, no. 1, pp. 33-43, 1998.
- [39] Alotaibi, M. A., Tayel, A. A., Zidan, N. S., & El Rabey, H. A. “Bioactive coatings from nano-biopolymers/plant extract composites for complete protection from mycotoxigenic fungi in dates”. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 99, no. 9, pp. 4338-4343, 2019.
- [40] Erdogru, Ö. T. “Antibacterial activities of some plant extracts used in folk medicine”. *Pharmaceutical Biology*, vol. 40, no. 4, pp. 269-273, 2002.