

Recubrimiento a base de almidón de plátano (*Musa ABB*) para la protección del plátano de exportación

Plantain-starch-based coating (*Musa ABB*) for the protection of export plantain

Uriás Montiel Álvarez ^{1,2}, Natalia Andrea Gómez ^{1,3}, Diana Marcela Escobar ^{1,4}.

¹Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. ² ✉ urias.montiel@udea.edu.co; Natalia Andrea Gómez. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. ³ ✉ andrea.gomez@udea.edu.co; Diana Marcela Escobar. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. ⁴ ✉ marcela.escobar@udea.edu.co



<https://doi.org/10.15446/acag.v71n4.106827>

2022 | 71-4 p 357-368 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2023-18-01 Acep.: 2023-05-10

Resumen

En el presente trabajo se evaluó la posibilidad de desarrollar un recubrimiento a base de almidón, que permita extender la vida útil de plátanos tipo exportación, además se estudió su potencial aplicación como protección en frutos en poscosecha. En el desarrollo experimental se extrajo almidón desde la pulpa del plátano, se caracterizó y se usó como biopolímero base para la fabricación de películas, en las cuales se varió el porcentaje de almidón (3 y 4 % p/v), y se utilizó glicerol (2 y 3 % p/v) como plastificante y extracto de tomillo (0.05 % v/v) como agente antimicrobiano. Cada película fabricada se caracterizó por FTIR y SEM y se evaluó mediante pruebas mecánicas, permeabilidad al vapor de agua y espesor. Los resultados mostraron películas con espesor promedio de 0.25 mm con adecuada flexibilidad otorgada por la adición de glicerol, además de estabilidad, evidenciada en el FTIR. Las imágenes SEM mostraron superficies homogéneas que permiten tener una permeabilidad al vapor de agua adecuada para el intercambio de oxígeno en el fruto. De acuerdo con los resultados se estableció que la formulación que presentó mejores características en la protección de plátanos fue la que contenía 3 % p/v de almidón, 3 % v/v de glicerol y 0.05 % v/v de extracto de tomillo.

Palabras claves: almidón, biopolímero, película, plátano, protección.

Abstract

In the present work, the possibility of developing a starch-based coating to extend the useful life of export-type bananas was evaluated, and its potential application as protection for postharvest fruit was studied. In the experimental development, starch was extracted from banana pulp. It was characterized and used as a base biopolymer for the manufacture of films, in which the starch percentage varied (3 and 4 % p/v), glycerol (2 and 3 % p/v) and thyme extract (0.05 % v/v) were used as plasticizer and antimicrobial agent, respectively. Each film produced was characterized by FTIR and SEM, and their water vapor permeability and thickness were evaluated by mechanical tests. The results showed films with an average thickness of 0.25 mm, with adequate flexibility provided by the added glycerol, as well as stability, evidenced in the FTIR. The SEM images showed homogeneous surfaces that allow adequate water vapor permeability for oxygen exchange in the fruit. According to the results, it was established that the formulation that presented the best characteristics for the protection of banana fruit was the one containing 3 % p/v starch, 3 % v/v glycerol and 0.05 % v/v thyme extract.

Keywords: starch, biopolymer, film, banana, protection.

Introducción

El plátano (*Musa ABB*) es un fruto tropical perteneciente a la familia de las musáceas que se cultiva en diferentes zonas del territorio colombiano, es comercializado a nivel nacional y también es exportado, principalmente a Europa y América del Norte. En el proceso de cosecha no todos los frutos cumplen con los parámetros exigidos para la exportación; hasta un 25 % del total a exportar es rechazado, motivo por el cual se generan pérdidas. Sumando a esto, se tienen las pérdidas por maduración prematura durante el transporte, como consecuencia de un mal manejo en la cadena de frío y los malos procedimientos en los procesos de cosecha, poscosecha, empaque y los factores ambientales y microbiológicos (Cenibanano, 2022).

Entre los factores microbiológicos se encuentra la maduración por pudrición de la corona (*crown rot*) del plátano, ocasionada por hongos como *Fusarium semitectum*, *Colletotrichum musae*, *C. gloeosporioides*, *Fusarium spp.*, o *Penicillium corylophilum*, los cuales pueden penetrar la pulpa del fruto y originar daños graves (Scribano y Garcete, 2016). Para mitigar las pérdidas originadas por este tipo de enfermedades, se desarrolló un recubrimiento a partir de almidón de plátano residual complementado con agentes antimicrobianos, que logra proteger el fruto de agentes patógenos y retrasa el tiempo de maduración, consiguiendo no solo un proceso de poscosecha ambientalmente amigable sin residuos que contaminen las fuentes hídricas, sino que también se logra ofrecer al consumidor una fruta de mejor aspecto y calidad (Mazzeo *et al.*, 2008).

Materiales y métodos

Extracción y caracterización del almidón de pulpa de plátano

Los plátanos empleados fueron de la variedad *Musa ABB*, los cuales fueron cortados a las 10 semanas de edad y fueron rechazados por la empresa exportadora en la finca la Ury, del municipio de Turbo, Antioquia. Para la extracción del almidón a partir de ellos, se utilizó el método húmedo propuesto por Mazzeo *et al.* con algunas modificaciones (Mazzeo *et al.*, 2008). Se tomaron 1154 gramos de pulpa de plátano previamente lavados y desinfectados con solución de hipoclorito de sodio al 1%; los plátanos pelados fueron pesados e inmersos en ácido cítrico (Natupharma) al 3% y posteriormente rallados; la masa obtenida del rallado de plátano fue depositada en una tela y sumergida en agua destilada para obtener el almidón soluble; dicho procedimiento se repitió hasta que la masa dejó de desprender almidón; finalmente se dejó precipitar la solución obtenida y el precipitado se llevó a estufa para su secado a 40 °C por 24 horas.

Una vez obtenido el almidón fue caracterizado con espectroscopía de infrarrojo por transformadas de Furrier (FTIR), para lo cual se empleó un equipo PerkinElmer Spectrum IR, modelo Spectrum Two, serie 112801, en un rango de barrido entre 4000 y 450 cm⁻¹, en el cual se hicieron medidas de porcentaje de transmitancia.

La determinación de los contenidos de cenizas y de humedad se realizó siguiendo los métodos de la AOAC 923.03 y AOAC 925.10 respectivamente (TorresRapelo *et al.*, 2013), empleando un horno de convección marca BINDER, una balanza analítica PRECISA XB220A y una mufla LAB TECH LEF-105S-2.

Elaboración y evaluación de los recubrimientos

Se desarrollaron 6 recubrimientos variando la concentración de almidón, glicerol y extracto de tomillo. Las concentraciones de cada formulado se presentan en la Tabla 1.

La fabricación de las películas se hizo de acuerdo con el método propuesto por Vázquez *et al.* (VázquezLuna *et al.*, 2018). Para ello se prepararon dos soluciones de almidón; una con almidón al 3% p/v y otra al 4% p/v en agua destilada, bajo agitación constante / 70 °C/ 30 min y evitando la gelatinización del almidón, posteriormente a cada solución se le adicionó 2 y 3% (v/v) de glicerol y se continuó la agitación por 15 min; seguidamente se adicionó a cada una de las formulaciones 0.05% v/v de extracto de tomillo (Phitoter [1 kg/l]) para lograr una concentración de 500 mg de tomillo/l equivalente a 150 mg timol/l, según la concentración de timol en tomillo reportada por (Muñoz-Acevedo *et al.*, 2007) y se agitó hasta alcanzar temperatura ambiente. Cada formulación se sirvió en moldes de vidrio con capacidad de 15 ml y se llevaron a estufa por 24 h/50 °C.

Las películas fueron analizadas por infrarrojo bajo las mismas condiciones de la etapa de extracción del almidón, con el fin de evaluar las interacciones entre los componentes de las películas, y también se analizaron por microscopía electrónica de barrido SEM para evaluar la morfología de estas, para lo cual se empleó un microscopio electrónico marca JSM-6490. A cada película obtenida se le midió el espesor empleando un tornillo micrométrico marca KEX con margen de error de 0.01 mm; se realizaron 5 medidas.

Tabla 1. Composición de los formulados

Formulado	Almidón % p/v	Glicerol % v/v	Tomillo % v/v
R1	4	3	0.05
R2	4	2	0.05
R3	3	3	0.05
R4	3	2	0.05
R5	4	0	0.05
R6	3	0	0.05

La evaluación de la permeabilidad al vapor de agua (WVP) se llevó a cabo siguiendo la norma ASTM E96/E96M-22 (ASTM E96/96-22). Para ello se tomaron cajas Petri de vidrio de 4.9 cm de diámetro aproximadamente, a cada caja se le adicionaron 5 ml de agua destilada y se selló con la película fabricada, fijándola con una banda elástica. Cada sistema fue pesado y llevado a desecador con condiciones de humedad y temperatura estandarizadas.

La humedad relativa (%HR) fue medida con un termohigrómetro modelo Htc-2. Los análisis se hicieron por 5 días, registrando la masa del sistema cada 24 horas. Cada ensayo se realizó por triplicado.

Las pruebas mecánicas de resistencia a la tracción (MPa) y elongación (%E) se realizaron de acuerdo con lo establecido en la norma ASTM D882-10 (ASTM D882-10), empleando probetas de 1.6 cm de ancho por 12 cm de largo, las cuales fueron evaluadas a una velocidad de avance de 5 mm/min y una longitud entre mordazas de 8 cm en maquina universal de doble columna, marca Shimadzu con capacidad de carga de 5 toneladas. El efecto de las concentraciones de glicerol y almidón sobre las propiedades mecánicas, resistencia a la tracción y elongación se estableció mediante el análisis de varianza ANOVA, con un nivel de significancia $P \leq 0.05$, usando el programa estadístico Statgraphics Centurion18-X64.

Evaluación de los formulados sobre fruto

El formulado seleccionado se aplicó sobre plátanos cortados a las 10 semanas de edad; para ello, inicialmente se separaron los plátanos del racimo evitando desgarres en la corana, y se lavaron por inmersión en soluciones consecutivas de alumbre y hipoclorito al 2 % por 10 min cada una.

Finalmente, los frutos fueron recubiertos por inmersión de manera individual (cada plátano por separado) en 300 mL de la solución formadora del recubrimiento durante 1 min, se colgaron del pedicelo para evaluar la maduración en el tiempo y se compararon los frutos que tenían recubrimiento y con el no recubierto, que fue usado como patrón.

Evaluación del efecto antifúngico

El poder antimicrobiano de los recubrimientos se evaluó usando los hongos de género *Penicillium* y *Aspergillus*, que están relacionados con la maduración prematura en banano y plátano (Kumlachew, 2014). Estas cepas fueron aportadas por el laboratorio de docencia de la sede de Estudios Ecológicos y Agroambientales Tulenapa, de la Universidad de Antioquia. Los hongos fueron sembrados en medio PDA para su crecimiento y posterior utilización. Para esta prueba se utilizaron las formulaciones que presentaron las mejores características en la

formación de las membranas y se utilizó la técnica de disco-placa propuesta por Domenico & Dorta con algunas modificaciones (Domenico & Dorta, 2010).

Resultados y discusión

Caracterización del almidón

En la Figura 1 se muestra el almidón sólido extraído. El método de extracción de almidón por vía húmeda permitió obtener un rendimiento del 45.32 %. Este valor está en el rango de los reportados por otros autores como Mazzeo *et al.* (2008), que obtuvieron rendimientos de 56.76 % en extracción de almidón por método húmedo a partir de plátano dominico hartón (*Musa ABB* Simmonds), y como Valerio Dávila, que obtuvo un rendimiento de 23.54 % en extracción de almidón de plátano bellaco (*Musa Paradisiaca*) (Valerio-Dávila, 2014). El rendimiento obtenido demuestra que el proceso de extracción húmedo de almidón a nivel de laboratorio puede considerarse adecuado y, al compararse con otros estudios, sus resultados son similares.

El contenido de cenizas fue de 0.20 ± 0.02 ; este resultado concuerda con lo reportado por otras investigaciones, aunque es menor al reportado por Lucas *et al.* (2013), quienes obtuvieron porcentajes de 0.61 % en la caracterización de almidón obtenido de plátano guineo AAAea (*Musa Sapientum* L), y por García *et al.* (2011), quienes obtuvieron 0.27 % de cenizas en almidón nativo de plátano.

Por otro lado, el porcentaje de humedad de almidón de plátano fue de 11.86 %, valor que fue mayor a los reportados por Contreras *et al.* (2018), que obtuvieron 9.28 % de humedad en almidón de plátano cuadrado y a los reportados por Alvis *et al.* (2008), quienes reportaron porcentajes entre 8.66 a 10.22 % para almidón de ñame y entre 7.80 a 8.47 % para almidón de yuca. Se ha sabido que un porcentaje de humedad alto implica complicaciones en la conservación y almacenamiento del almidón, además

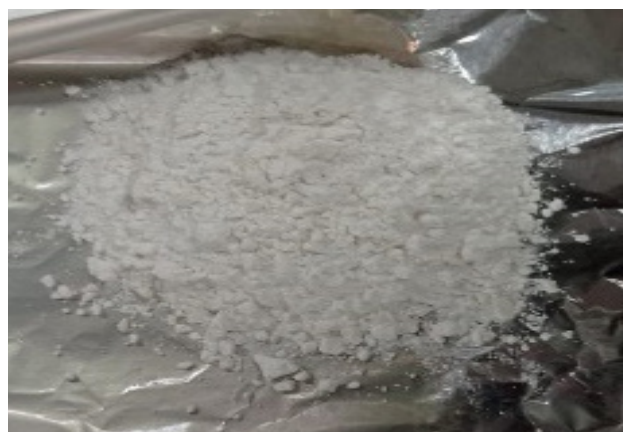


Figura 1. Almidón extraído.

presenta condiciones idóneas para el crecimiento de hongos, por tanto, es necesario aumentar el tiempo de secado en el proceso para disminuir el contenido de humedad.

En la Figura 2 se presenta el espectro FTIR de almidón extraído del plátano, en ella se observan las bandas características para este tipo de compuesto. En una longitud de onda de 3272.09 cm^{-1} se observa una banda ancha, la cual se debe a los estiramientos de los enlaces OH^- de los grupos hidroxilos presentes en la molécula del almidón; la señal que se observa en 2922.35 cm^{-1} corresponde a las vibraciones de los enlaces C-H de los grupos metilos. Además, se observa un pico en una banda de 1644.89 cm^{-1} , que corresponde a las vibraciones por flexión del grupo O-H que proviene del agua intramolecular contenida en el almidón. También se observan señales a números de onda de 1078.08 , 993.38 , 860.76 cm^{-1} , que corresponden o son atribuidos a los estiramientos de los enlaces carboxílicos C-O; estos resultados concuerdan con lo reportado por Torres-Becerril *et al.* (2015).

Caracterización y evaluación de los recubrimientos.

En la Figura 3 se presenta una imagen de un recubrimiento logrado en las diferentes formulaciones. La Figura 4 muestra los espectros de absorción de los recubrimientos fabricados con el almidón extraído. En ellos se pueden observar las bandas características del almidón, además se observa un pico en una longitud de onda alrededor de los 3200 cm^{-1} que corresponde a los estiramientos de los enlaces OH^- de los grupos hidroxilos; en 2900 cm^{-1} se observa otro pico que corresponde a las vibraciones de los enlaces C-H de los grupos metilos. También se presentó un pico característico alrededor de 1000 cm^{-1} , que corresponde a las vibraciones por flexiones de los grupos O-H. Los aumentos de intensidad de los picos observados en los recubrimientos que contenía glicerol, en comparación con los que no contenían, reflejan las interacciones químicas que se presentaron en las formulaciones (Zhong y Xia, 2008).

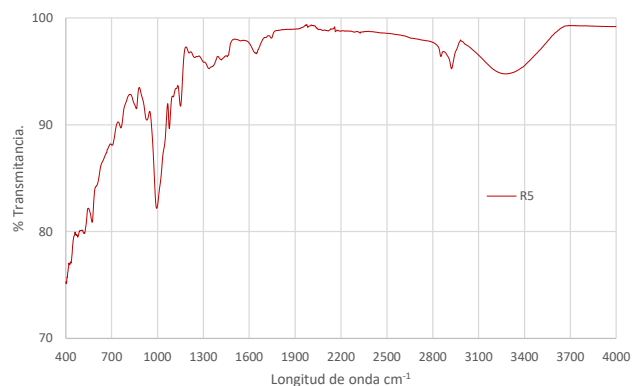


Figura 2. FTIR de almidón extraído de plátano.

Según Arrieta-Almario *et al.* (2018), el aumento en la intensidad de las bandas principales indica mayor movilidad de sus moléculas, fenómeno que puede estar relacionado con una mayor flexibilidad en las películas.

En la Figura 5 se presentan las micrografías de los recubrimientos fabricados.

En las micrografías se logra observar la matriz polimérica donde se acoplaron muy bien las moléculas de almidón, y donde no se evidenció presencia de poros o fracturas, resultado que concuerda con lo reportado por Chávez *et al.* (2012). Además, se observan estructuras amorfas blanquecinas de diferentes tamaños entre 1.41 a $47.87\text{ }\mu\text{m}$; estas estructuras pueden deberse a la presencia de azúcares



Figura 3. Membranas obtenidas con almidón de plátano extraído.

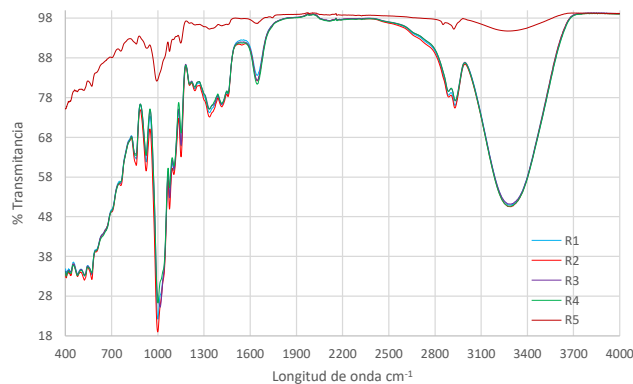


Figura 4. FTIR de las películas fabricadas.

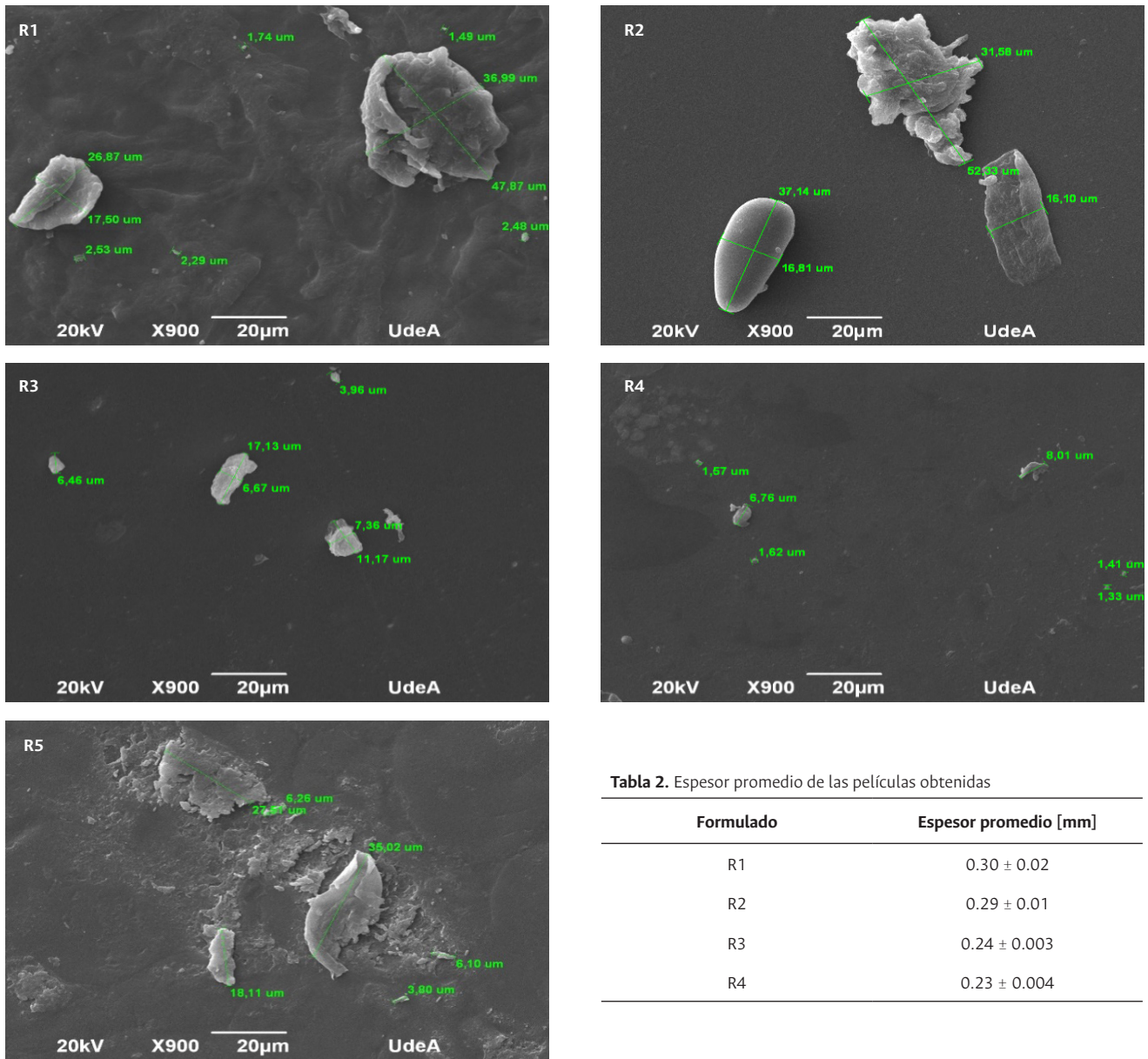


Figura 5. SEM de las películas fabricadas.

o compuestos de bajo peso molecular que pudieron haber sido desplazados en el recubrimiento por la pérdida de agua en el proceso de secado.

La mayor cantidad de estructuras amorfas se presentó en los recubrimientos con mayor concentración de almidón (R1 y R2), lo que también puede sugerir parte no disueltas de este. Por su parte, el recubrimiento R5, que no contenía glicerol, mostró gran cantidad de partículas, las cuales corresponden a fragmentos no solubilizados de almidón, lo que origina el rompimiento de la película a la hora de su manipulación. En el recubrimiento R3 se observan partículas de 8.79 μm de diámetro aproximadamente, además, presentó una textura más homogénea, lisa y con pocas rugosidades, lo que indica una mejor interacción entre los componentes.

Tabla 2. Espesor promedio de las películas obtenidas

Formulado	Espesor promedio [mm]
R1	0.30 \pm 0.02
R2	0.29 \pm 0.01
R3	0.24 \pm 0.003
R4	0.23 \pm 0.004

En la Tabla 2 se presenta el espesor promedio de los recubrimientos obtenidos; en ella se observa que los tratamientos que contenían una concentración de almidón de 4 % p/v (R1 y R2) obtuvieron un mayor espesor en comparación con los que contenían un 3 % p/v (R3 y R4), lo que indica que la concentración de almidón tuvo un efecto sobre el espesor de los recubrimientos. Los valores de espesor concuerdan con lo reportado por Vázquez-Luna *et al.* (2018), quienes obtuvieron espesores de 0.04 y 0.05 mm en películas a base de almidón nanoestructurado.

En la Figura 6 se muestra el comportamiento de la pérdida de masa de agua a través del tiempo para las películas evaluadas. De manera general, se puede decir que los recubrimientos se comportaron muy similar entre ellos, y perdieron la totalidad de masa al 4° día de prueba, con una disminución por etapas para las muestras R1, R2 y R4; mientras que la pérdida

en la muestra R3 fue gradual, lo que da a entender que el comportamiento de esta formulación es más estable a la pérdida de masa o que tiene un mejor comportamiento a la permeabilidad de vapor de agua.

De esta manera, se puede decir que los recubrimientos son aptos para ser utilizados en la protección de frutas debido a que permiten el intercambio de agua y gas entre esta y el ambiente. El recubrimiento R3 (3 % almidón y 3 % glicerol) mostró un comportamiento más uniforme en la pérdida de masa a través del tiempo en comparación con las otras formulaciones, las cuales presentaron pequeñas fluctuaciones entre los días 3 y 4; este comportamiento se puede atribuir a que los recubrimientos no presentan un espesor uniforme a nivel microscópico y que se pudieron presentar pequeñas fugas de agua en el recipiente de ensayo. La importancia de esta figura radica en que permite determinar el cambio de masa en el tiempo, necesaria para calcular el índice de permeabilidad del recubrimiento y su posterior permeabilidad, reportados en la Figura 7.

Una de las cualidades más importantes en el diseño de recubrimientos es la permeabilidad al vapor de agua, ya que de esto depende que en los frutos se controle la pérdida de agua, y se evite la pérdida de dureza y la ganancia de humedad que puede originar proliferación de microorganismos que afectan la calidad de los frutos. En ese aspecto, el

recubrimiento que mejor controló la pérdida de agua fue R2 (4 % almidón y 2 % glicerol), el cual presentó una permeabilidad de $4.7 \times 10^{-3} \text{ g}^* \text{ mm/h}^* \text{ Pa}^* \text{ m}^2$ seguido por R3 (3 % almidón y 3 % glicerol) con $5.04 \times 10^{-3} \text{ g}^* \text{ mm/h}^* \text{ Pa}^* \text{ m}^2$. La permeabilidad al vapor de agua puede ser afectada por la concentración de glicerol (plastificante), debido a que disminuye la fuerza intermolecular en la matriz polimérica, lo cual otorga una mayor movilidad molecular y aumenta su permeabilidad (Joaqui y Villada, 2013).

En esta investigación se observó un comportamiento similar, pues el recubrimiento R1 que contenía la concentración más alta de glicerol obtuvo un valor de permeabilidad superior frente a los demás. La permeabilidad al vapor de agua puede ser afectada por los componentes de la mezcla, la adherencia al fruto, y el espesor de las películas entre otros. Según Romero *et al.* (2011), la concentración de almidón y la fuente botánica de la cual se extrae puede afectar esta característica, ellos obtuvieron valores de permeabilidad al vapor de agua de $6.6 \times 10^{-6} \text{ g/h}^* \text{ Pa}^* \text{ m}$ en películas de almidón modificado de plátano.

En cuanto a las pruebas mecánicas, en la Figura 8 se presentan los porcentajes de elongación obtenidos para cada uno de los recubrimientos evaluados. Mediante la manipulación de los recubrimientos se pudo evidenciar que estos presentaban características de elasticidad y flexibilidad. Durante la evaluación

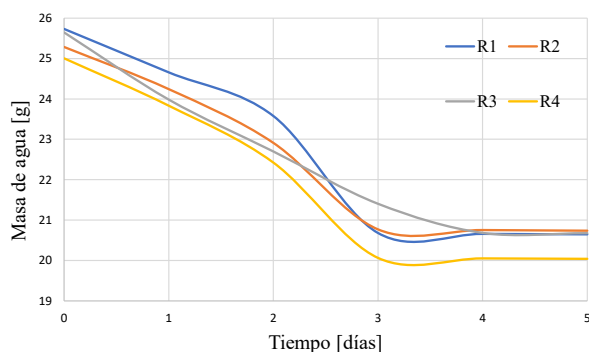


Figura 6. Pérdida de masa de agua a través del tiempo.

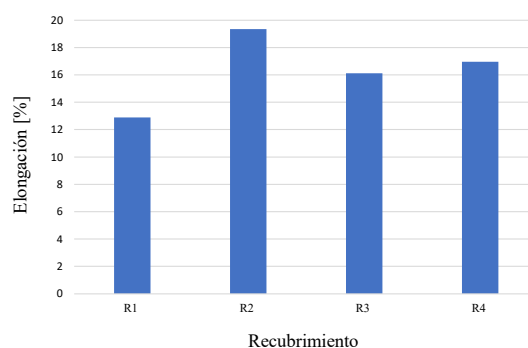


Figura 7. Permeabilidad al vapor de agua.

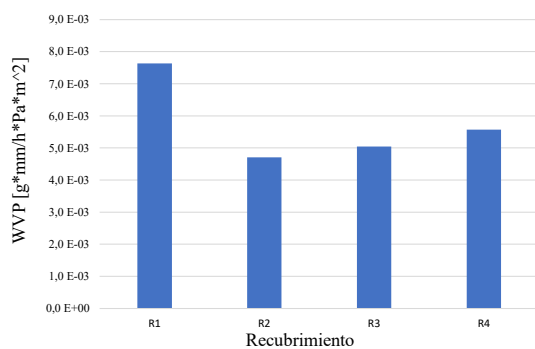


Figura 8. Porcentaje de elongación de los recubrimientos.

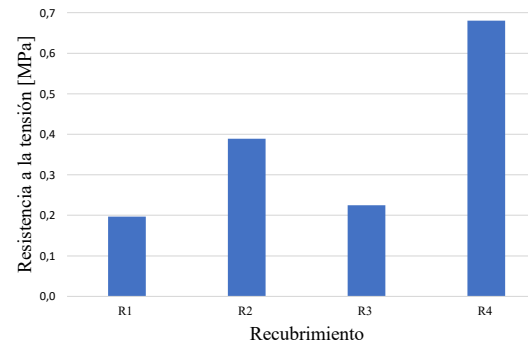


Figura 9. Resistencia a la tensión de los recubrimientos.

de los porcentajes de elongación todos los recubrimientos presentaron un comportamiento elástico semejante. No obstante, el recubrimiento R2 presentó una elongación de 19.350 %, la cual corresponde al valor más alto en comparación con los recubrimientos evaluados. Se evidenció que los formulados R2 y R4, que contenían una concentración de 2 % de glicerol, formaron los recubrimientos con mayores porcentajes de elongación; este efecto puede atribuirse a que el glicerol mejora las propiedades de elasticidad y flexibilidad en los recubrimientos, no obstante, el incremento en los valores de elongación implica una mayor deformación del recubrimiento debido a que el glicerol disminuye la atracción molecular entre las cadenas poliméricas, lo que incrementa su flexibilidad; este dato concordó con lo reportado por Chang (Jun, 2000). Los resultados obtenidos con estas formulaciones son similares a los presentados por Romero- Bastida *et al.* (2011), quienes obtuvieron porcentajes de elongación de 16.88 ± 1.93 % en películas de almidón de plátano.

Se observó que los valores más altos de resistencia a la tensión fueron los obtenidos con las formulaciones R2 y R4, con valores de 0.389 y 0.681 MPa respectivamente (figura 9). Los recubrimientos que contenían 2 % de glicerol en su formulación presentaron mayor resistencia a la tensión en comparación con los que contenían 3 %; además se observó que un aumento en la concentración de glicerol produce una disminución en la resistencia a la tensión, es decir, se requiere una fuerza menor para romper el recubrimiento. No

obstante, al aumentar la concentración de almidón no se evidenció un aumento en la resistencia a la tensión debido a que los recubrimientos que presentaron mayor resistencia fueron R2 y R4, los cuales contenían una concentración de 3 y 4 % de almidón respectivamente. La elongación no se ve afectada por las concentraciones de almidón y glicerol evaluadas: de acuerdo con el análisis estadístico el almidón presenta un $p=0.8274$ y el glicerol un $p=0.3451$.

Los valores de resistencia a la tensión obtenidos en este análisis son similares a los presentados por Romero-Bastida *et al.* (2011), quienes reportaron valores entre 0.31 ± 0.04 y 3.61 ± 1.31 MPa en películas de almidón de plátano, y por Contreras *et al.* (2021), quienes reportaron que la adición de glicerol sobre una matriz polimérica otorgó elasticidad a películas de almidón, además de otorgar una mayor capacidad de absorción de agua. Sin embargo, se encontró que la adición de glicerol provocó valores menores de resistencia a la tensión, lo que está en concordancia con lo reportado por (Contreras Chávez, y otros, 2021), y por Anchundia *et al.* (2016), que reportaron valores entre 4.43 y 12.28 MPa de resistencia a la tensión en películas a base de cascara de plátano. Las pruebas estadísticas indican que, para los porcentajes evaluados, el almidón no presenta efecto significativo sobre la resistencia a la tensión ($p=0.2262$), mientras que el glicerol sí ejerce efecto significativo sobre dicha propiedad ($p=0.0140$). Las mayores resistencias a la tensión se logran en las concentraciones más bajas de almidón y glicerol, que corresponden con la formulación R4.

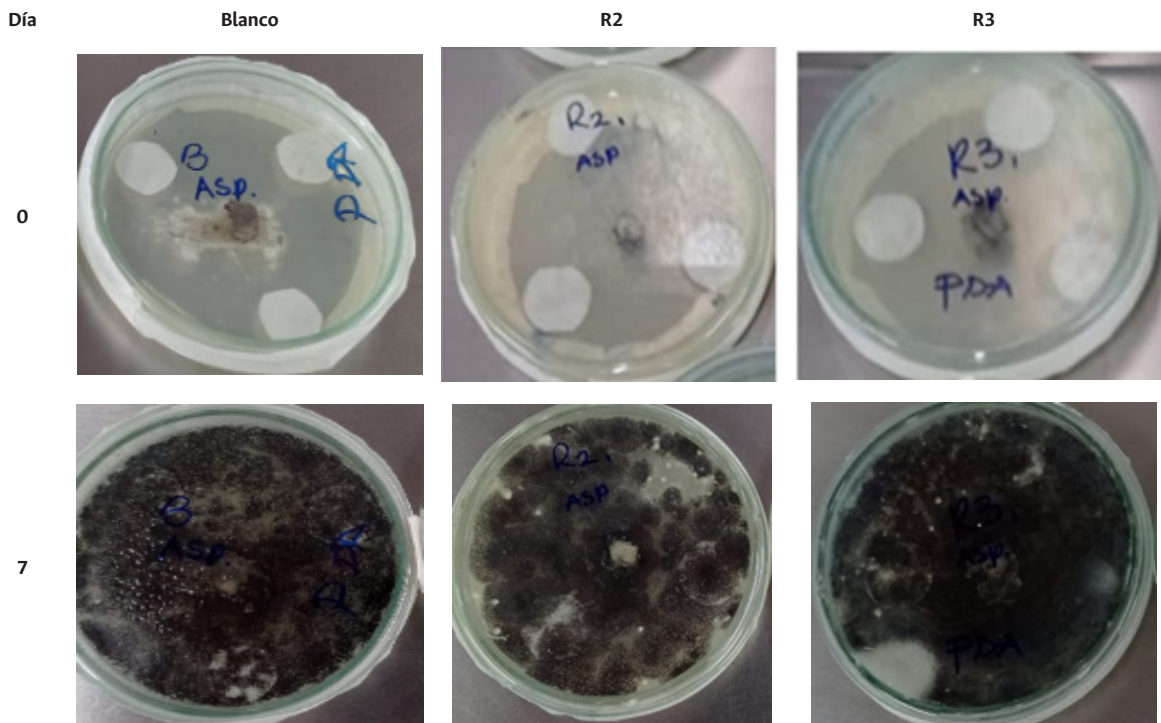


Figura 10. Resultados de los antibiogramas para *Aspergillus*.

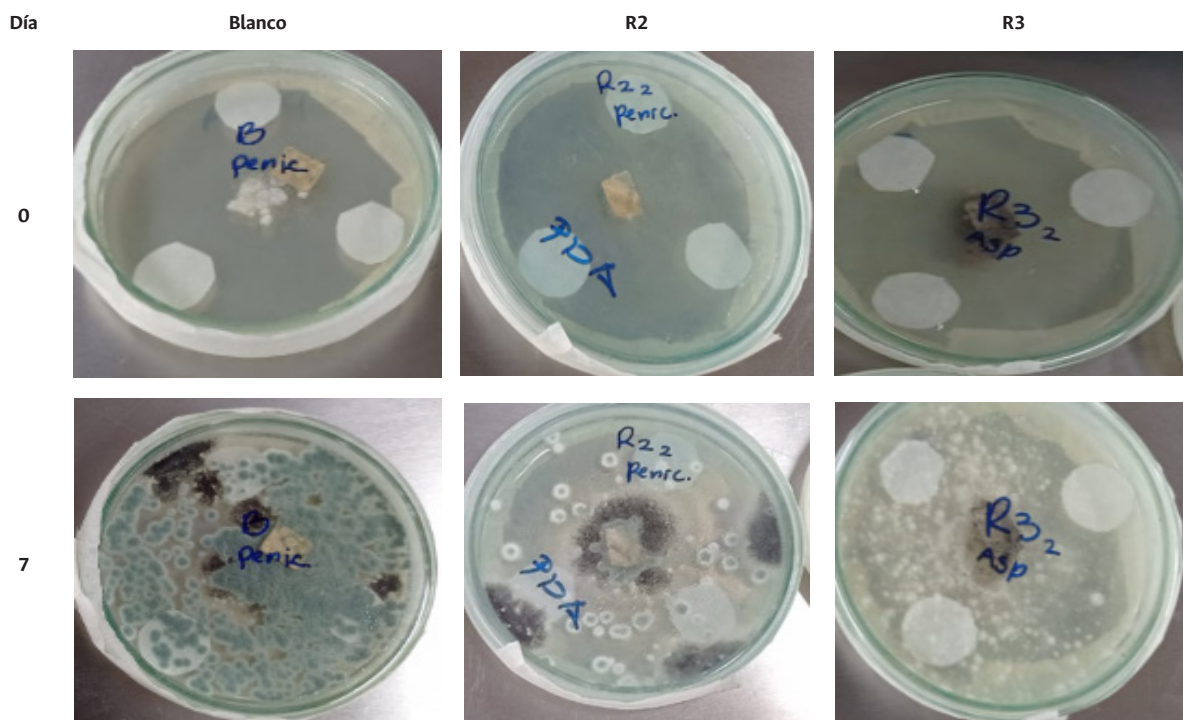


Figura 11. Resultados de los antibiogramas para *Penicillium*.

En cuanto a la evaluación antifúngica de los recubrimientos evaluados, las Figuras 10 y 11 muestran los resultados obtenidos, tanto para *Aspergillus* como para *Penicillium*. Las pruebas antimicrobianas se hicieron con las formulaciones R2 y R3 ya que presentaron mejor característica en la formación de recubrimiento. Cabe aclarar que todas las formulaciones contenían la misma concentración de extracto de tomillo (0.05% v/v). Las figuras presentan los cultivos y el blanco a día cero, y luego de 7 días de cultivo.

Después de 7 días desde el cultivo se observó el crecimiento del hongo *Aspergillus* en todas las muestras evaluadas, incluyendo el blanco, por tanto, las formulaciones no ejercieron un efecto inhibitorio ni fungistático sobre este hongo, lo que hizo necesario recalcular la concentración del aceite de tomillo en la formulación, dado que durante los últimos años se han reportado los efectos antifúngicos de extractos y aceites esenciales de plantas sobre *Aspergillus* (Dikbas *et al.*, 2008).

En la Figura 11 se puede observar una disminución del crecimiento de *Penicillium* en cada uno de los medios tratados, donde la formulación R3 generó una disminución mayor en comparación con la formulación R2. Estos resultados dejan en evidencia el poder protector del formulado potencializado con el extracto de tomillo sobre *Penicillium*. En otros estudios en los que se aplicaron directamente los extractos de tomillo se alcanzaron inhibiciones en los crecimientos microbianos, sobre otras especies de hongos. Tabora-Andrade *et al.* (2015) reportaron

100 % de inhibición del moho gris *Botrytis Cinerea* sobre fresas usando 125 mg timol/l. En estudios sobre tomate árbol se reportó inhibición en la germinación de esporas de *Colletotrichum acutatum* cuando se usó aceite esencial de tomillo directamente (Alzate *et al.*, 2009).

La aplicación de extracto de tomillo sobre el fruto en laboratorio generó una disminución en el porcentaje de pérdida de peso, como se puede observar en la Tabla 3. Los plátanos que fueron recubiertos presentaron un porcentaje de pérdida de peso de 13.24 ± 2.72 , valor inferior al de los controles (19.12 ± 4.30), lo que indica que el recubrimiento fue eficiente en controlar la pérdida de agua y compuestos volátiles que generan la maduración del plátano. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Baldwin *et al.* (1966), quienes afirman que los recubrimientos previenen la pérdida de peso debido

Tabla 3. Pérdida de peso de plátanos con y sin recubrimiento

Formulado	Peso inicial [g]	Peso final [g]	Peso perdido [g]	% de pérdida de peso	% de pérdida de peso promedio
R3	263	220	43	16.35	13.24 ± 2.72
	249	219	30	12.05	
	327	290	37	11.31	
Control	293	224	69	23.55	19.12 ± 4.30
	334	284	50	14.97	
	244	198	46	18.85	



Plátano sin recubrimiento

Plátano con recubrimiento

Figura 12. Proceso de maduración de plátanos con y sin recubrimiento.

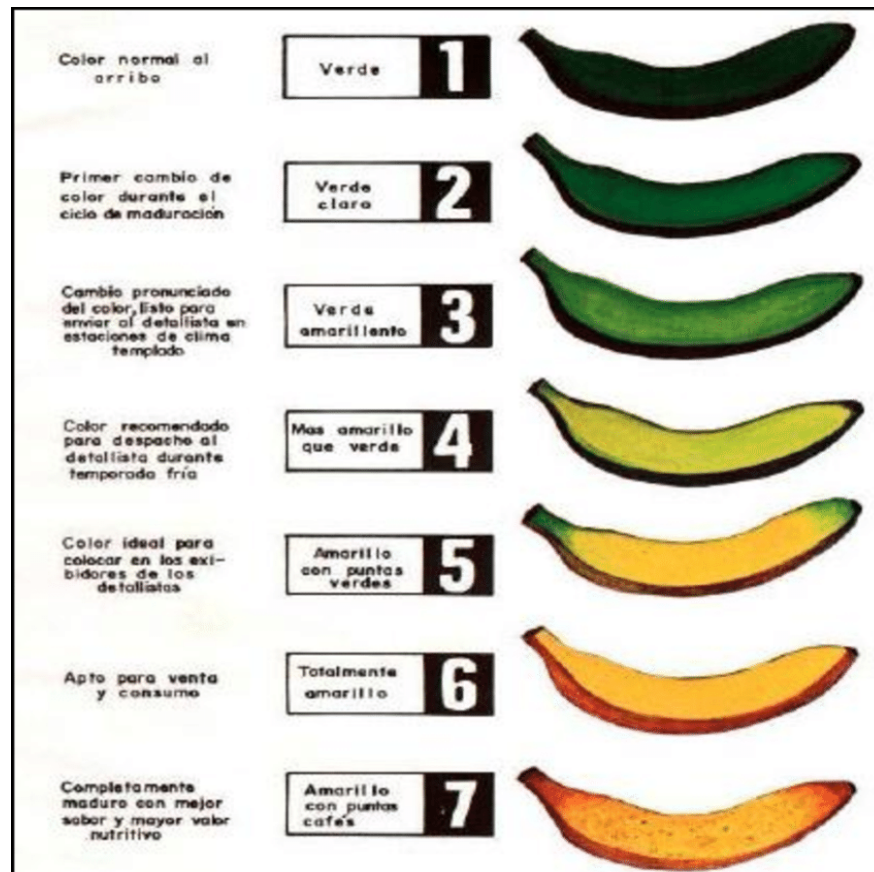


Figura 13. Escala de maduración de banano, Von Loesecke (Soto 2008).



Figura 14. Evaluación de los recubrimientos sobre plátano en campo.

a que crean una barrera semipermeable al oxígeno, al dióxido de carbono, a la humedad y al movimiento de solutos, y generan reducción en la tasa de respiración.

En la Figura 12 se presentan los frutos sin y con recubrimiento: en ella se puede observar que los frutos recubiertos con el formulado R3 no presentaron cambio en la coloración después de haber transcurrido 8 días de prueba, en cambio, los frutos que no fueron recubiertos presentaron cambio de coloración a partir del día 6, y al cabo del día 8 ya se encontraban completamente amarillos, color que indica que habían alcanzado un grado de madurez 6 según la escala de maduración de 1 a 7 de Von Loesecke propuesta por Soto (2008) (Figura 13). Adicionalmente, los plátanos recubiertos presentaron una apariencia más brillante, lo que les da un mejor aspecto a los frutos. Igualmente, se evidenció cualitativamente que el recubrimiento retrasó el proceso de maduración de los plátanos hasta el día 3 en la escala de maduración reportada por Soto (2008), posiblemente por la limitación en la producción de etileno.

En cuanto a las pruebas de campo, los frutos recubiertos presentaron características similares a las observadas en las pruebas de laboratorio, como se observa en la Figura 14. Al transcurrir 8 días de prueba no se evidenció maduración en los plátanos recubiertos, tampoco se observó crecimiento de microorganismos que afectan los frutos y conservaron el brillo presentado en el día de la impregnación. Los plátanos que no fueron recubiertos presentaron maduración y amarillamiento de la cáscara, además presentaron una apariencia más desgastada. Estos resultados permitieron evidenciar que la aplicación de los recubrimientos sobre los frutos, cortados a las 10 semanas bajo las condiciones experimentales, tiene un efecto positivo en retardar la maduración por al menos 2 días en plátanos expuestos al ambiente. Lo encontrado concuerda con lo reportado por diferentes autores que lograron alargar la vida útil de los frutos conservando la calidad de estos a través de recubrimientos a base de almidón, como es el caso de Amaiz *et al.* (2016), quienes emplearon 7 % de almidón, o como García y Pinzón (2018), que usaron 4 % de almidón de plátano.

Conclusiones

Se logró extraer almidón de pulpa de plátano residual con una eficiencia del 45.32 % y con resultados adecuados, lo cual lo hace una interesante fuente para la elaboración de recubrimientos que sirvan de protección química y biológica para los frutos de exportación.

Se logró desarrollar recubrimientos a partir de almidón con buenas propiedades físicas y mecánicas, apropiadas para la protección de los frutos.

Los recubrimientos permitieron evidenciar la potencialización del carácter antifúngico con el extracto de tomillo mediante la disminución en la velocidad de crecimiento de *Penicillium*.

El proceso de maduración de los frutos se redujo, tanto a escala de laboratorio como en campo, mediante la aplicación de recubrimiento a base de almidón; la mejor formulación fue la que contenía 3 % de almidón, 3 % de glicerol y 0.05 % de extracto de tomillo (R3).

Agradecimientos

Los autores desean expresar sus agradecimientos a la Universidad de Antioquia, y en especial a la convocatoria de apoyos a trabajos de grado del Comité para el Desarrollo de la Investigación (CODI) por la financiación de esta investigación.

Referencias

Alvis, A.; Vélez, C.; Villada, H. y Rada-Mendoza, M. (2008). Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas, *Información Tecnológica*, 19(1), 19-28. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642008000100004>

Alzate, D.; Mier, G.; Afanador, L.; Durango, D. y García, C. (2009). Evaluación de la fitotoxicidad y la actividad antifúngica contra *Colletotrichum acutatum* de los aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris*), limoncillo (*Cymbopogon citratus*) y sus componentes mayoritarios, *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 16(1), 116-125. <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169815393013.pdf>

Amaz-Mota, S.; Colivet, J. y Cañizares, A. (2018). Efecto del recubrimiento comestible a base de almidón de yuca sobre los parámetros químicos y sensoriales de cascos de guayaba, *Revista Cumbres*, 5(1), 137-154. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7210413>

Anchundia, K.; Santacruz, S. y Coloma, J. (2016). Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (*Musa paradisica*), *Revista Chilena de Nutrición*, 43(4). <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182016000400009>

Arrieta-Almario, Á.; Durango, L. y Arizal, E. (2018). Estudio de las propiedades absorbentes de un biopolímero a base de almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), *Espacios*, 39(53). <http://www.revistaespacios.com/cited2017/cited2017-15.pdf>

ASTM D882-10. (s.f.). Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. ASTM Internacional.

ASTM E96/96-22. (s.f.). Gravimetric determination of water vapor transmission rate of materials.

Baldwin, E.; Nisperos, M.; Chen, X. y Hagenmaier, R. (1966). Improving storage life of cut apple and potato with edible coating, *Postharvest Biology and Technology*, 9(2), 151-163. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(96\)00044-0](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(96)00044-0)

Cenibanano. (2022). Centro de Investigaciones del Banano - Informe anual, abril 2022. https://augura.com.co/wp-content/uploads/2023/04/Informe-anual-CENIBANANO-2022_VF.pdf

Chávez-Huerta, A.; Colina-Rincón, M.; Valbuena-Inciarte, A. C. y López, A. (2012). Obtención y caracterización de películas de quitosano elaborado a partir de los desechos de la industria cangrejera, *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 13(3). <https://www.researchgate.net/publication/267725601>

Contreras-Chávez, R.; Garnica-Romo, G.; Martínez-Flores, H. E.; Figueroa-Cárdenas, J.; Rodrigues-Anjos, C. A. y Topete-Betancourt, A. (2021). Optimization of Acetylated starch films from purple sweet potato: Effect of glycerol, carboxymethylcellulose, and stearic acid, *Science*, 8(11). [doi:10.1088/2053-1591/ac36fa](https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac36fa)

Contreras-Pérez, R. K.; Torre-Gutiérrez, L.; González-Cortés, N. y Jiménez-Vera, R. (2018). Caracterización funcional de almidones de plátano cuadrado (*Musa balbisiana* Colla), *European Scientific Journal*, 14(30). [doi:10.19044/esj.2018.v14n30p82](https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n30p82)

Dikbas, N.; Kotan, R.; Dadasoglu, F. y Sahin, F. (2008). Control of *Aspergillus flavus* with essential oil and methanol extract of *Satureja hortensis*, *International Journal of Food Microbiology*, 124(2), 179-182. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.03.034>

Domenico, p., & Dorta, B. (2010). Efecto de agroquímicos sobre el desarrollo del hongo entomopatógeno *Nomuraea rileyi* y su virulencia sobre *Spodoptera frugiperda*. *Bioagro*, 22(2). http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_rttexpid=S1316-33612010000200003

Scribano, F. R. y Garcete, V. (2016). Eficiencia de fungicidas de síntesis y orgánicos sobre la pudrición de corona del fruto de banano *Musa acuminata* Colla en la provincia de Formosa, Argentina, *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 42(2). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86447075013>

García, O. y Pinzón, M. (2016). Efectos de recubrimientos de almidón de plátano guayabo (*Musa paradisica* L.) en la calidad de fresas, *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 24(39). <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/407>

García-Tejada, Y. V.; Zamudio-Flores, P. B.; Bello-Pérez, L. A.; Romero-Bastida, C. A. y Solorza-Feria, J. (2011). Oxidación del almidón nativo de plátano para su uso potencial en la fabricación de materiales de empaque biodegradables: caracterización física, química, térmica y morfológica, *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 12(3).

Joaquí, D. F. y Villada, H. S. (2013). Propiedades ópticas y permeabilidad de vapor de agua en películas producidas a partir de almidón, *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_ext&pid=S1692-35612013000300007

Jun, C. L. (2000). Reactive blending of biodegradable polymers: PLA and starch, *Journal of Polymers and the Environment*, 8(1). Jun, C. L. (2000). Reactive blending of biodegradable polymers: PLA and starch, *Journal of Polymers and the Environment*, 8(1), 33-37. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010172112118>

Kumlachew, A. (2014). Importance and pathogen spectrum of crown rot of banana in Jimma Town, Southwestern Ethiopia,

- Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 4(23). <https://core.ac.uk/download/pdf/234660227.pdf>
- Lucas, J. C.; Quintero, V. y Cárdenas-Valencia, C. A. (2013). Caracterización de harina y almidón obtenidos a partir de plátano guineo AAAea (*Musa sapientum* L.), *Acta Agronómica*, 62(2). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122013000200001
- Mazzeo, M.; Alzate, A. y Marín, M. (2008). Obtención de almidón a partir de residuos poscosecha del pátano dominico Hartón (*Musa AAB Simonds*), *Revista Vector*, http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector3_6.pdf
- Muñoz-Acevedo, A.; Castañeda, M.; Blanco, K.; Cardenas, C.; Reyes, J.; Kouznetsov, V. y Stashenko, E. (2007). Composición y capacidad antioxidante de especies aromáticas y medicinales con alto contenido de timol y carvacrol, *Scientia et Technica*, 13(33). <https://www.redalyc.org/pdf/849/84903329.pdf>
- Romero-Bastida, C. A.; Zamudio-Flores, P. B. y Bello-Pérez, L. A. (2011). Antimicrobianos en películas de almidón oxidado de plátano: efecto sobre la actividad antibacteriana microestructura, propiedades mecánicas y de barrera, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(3). https://www.scielo.org.mx/scielo/pi665-27382011000300010&script=sci_arttext
- Soto-Ballesteros, M. (2008). *Bananos: técnicas de producción, manejo poscosecha y comercialización*. Tercera edición. San José, Costa Rica: Litografía LLL.
- Taborda-Andrade, L. A.; Sánchez-Orozco, M. S.; Bonilla-Correa, C. R. y Huertas-Davey, C. (2015). Efecto fungistático de extractos y aceites esenciales de *Lippia origanoides* HBK y *Thymus vulgaris* L. como alternativas de manejo de *Botrytis cinerea* en fresa, *Acta Agronómica*, 64(1). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169932884011>
- Torres-Becerril, M.; Carmona-García, R. y Aguirre-Cruz, A. (2015). Obtención y caracterización estructural y funcional de almidón acetilado de malanga (*Colocasia esculenta* Schott), *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 93-99. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000400019
- Torres-Rapelo, A.; Montero-Castillo, P. y Duran-Lengua, M. (2013). Propiedades fisicoquímicas, morfológicas y funcionales del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*), *Revista Lasallista de Investigación*, 10(2). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492013000200007
- Valerio-Dávila, F. (2014). Determinación de los parámetros para la extracción de almidón de plátano bellaco (*Musa paradisiaca*), *Investigación Universitaria*, 3(2), 23-28. doi:<https://doi.org/10.17162/riu.v3i2.517>
- Vázquez-Luna, A.; Santiago, M.; Rivadeneyra-Domínguez, E. y Díaz-Sobac, R. (2018). Películas comestibles a base de almidón nanoestructurado como material de barrera a la humedad, *Biotecnología y Ciencias Agropecuarias*, 152.
- Zhong, Q. P. y Xia, W. S. (2008). Physicochemical properties of edible and preservative films from chitosan/cassava starch/gelatin blend plasticized with glycerol, *Food Technology and Biotechnology*, 46(3), 262-269. <https://hrcak.srce.hr/26375>