

**PELÍCULA COMESTIBLE A PARTIR DE CÁSCARA DE PLÁTANO
MACHO (*MUSA PARADISIACA* L.)**

Augusta Jiménez^{1}, Kaima L. Hernández¹, Yádira Collahuazo-Reinoso², Radium Avilés¹,
Jorge A. Pino^{3,4} y Mario A. García⁵*

¹*Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química. Ciudadela Universitaria Salvador Allende, Av. Delta y Av. Kennedy, Guayaquil, Ecuador.*

²*Universidad Nacional de Loja, Centro de Biotecnología. Ciudad Universitaria Guillermo Falconí, Loja, Ecuador.*

³*Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. La Habana, Cuba.*

⁴*Instituto de Farmacia y Alimentos. Universidad de La Habana, Cuba.*

⁵*Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.*

E-mail: dolores.jimenezs@ug.edu.ec

Recibido: 22-05-2019 / Revisado: 13-06-2019 / Aceptado: 24-06-2019 / Publicado: 24-08-2019

RESUMEN

El objetivo fue elaborar una película comestible para alimentos a partir de la cáscara de plátano no utilizada en el mercado local. Las fibras de celulosa junto al almidón de la cáscara de plátano fueron aisladas mediante un tratamiento alcalino y blanqueados con hipoclorito de sodio. Ambas sustancias se analizaron a través de un microscopio óptico, barrido y de fuerza atómica, y por espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier. La película compuesta por ambas sustancias se elaboró por moldeo y se mejoró con la adición de 0,3 % de glicerina. El material conseguido presentó una gran barrera al agua, opacidad y menor peso, así como características apropiadas para el empaque de alimentos como baja permeabilidad.

Palabras clave: películas comestibles, plátano, almidón, celulosa, empaques.

ABSTRACT

Edible film from of plantain peel (*Musa paradisiaca* L.)

This work was carried out with the objective of elaborating an edible film to be used to wrap food stuff utilizing plantain peels as starting material. Cellulose fibers and starch obtained from plantain peels were isolated via an alkaline treatment and whitening using sodium hydrochloride. Both materials were examined with an optical microscope, scanning and atomic force microscope, and with Fourier Transform Infrared Spectroscopy. The film obtained from both materials plus 0.3% glycerin was molded. This film had a great waterproof characteristic, opacity and light weight, which are appropriate features to be used to wrap food stuff.

Keywords: edibles films, plantain, starch, cellulose, packing.

INTRODUCCIÓN

Existe interés mundial en disminuir el consumo de plásticos provenientes del petróleo debido a lentitud en degradarse (1), esto ha permitido buscar nuevas opciones para reemplazar el polímero sintético proveniente del petróleo por uno amigable con el ambiente. Una de las opciones es el bioplástico formado por los carbohidratos, tales como el almidón y la celulosa.

***Augusta Jiménez:** Ingeniera en Industrias Agropecuarias (UTPL, 1991). Especialista en Gestión de la calidad (UG, 2008), Magister en Manejo Integral de Laboratorios de Desarrollo (ESPOL, 2013). Docente Investigador. Sus principales líneas de trabajo han sido: auditor líder en BPM, ISO 9000, ISO 22000, validación de técnicas de análisis, análisis de alimentos, empaques, celulosa e hidrocoloides.

El almidón es un polímero natural existente en los vegetales con una presencia de aproximadamente 60 millones de toneladas anuales en el mundo (2), su aplicación mayoritaria es en los alimentos como espesantes, emulsificantes, gelificantes, entre otros. Sin embargo, la oferta aún no es satisfecha y es necesario buscar nuevas fuentes o aprovechar de mejor forma las existentes. La celulosa es el polímero más abundante en la naturaleza que se usa en la fabricación de diversos productos útiles (3). Estos dos productos, almidón y celulosa, se encuentran, en general, en las cáscaras de frutos como plátano y piña.

En Ecuador, los residuos de plátano macho (*Musa paradisiaca* L.), en estado verde, se producen en cantidades importantes debido a la elaboración de productos de exportación, consumo interno por productos tradicionales y alimentación animal. El país cuenta con 122 000 ha aproximadamente para una producción de seis millones de toneladas de plátano macho. Constituye una actividad de interés nacional debido a la generación de empleo, con 12 % de la población económicamente activa (4).

Al ser la cáscara el 30 % de la fruta (5, 6) se estima que se generan alrededor de 1 800 000 t de cáscaras, de las cuales la mayoría van a la basura sin ningún valor adicional, sino que al contrario son motivo de contaminación. La cáscara de plátano macho verde contiene mayormente 46,05 % de holocelulosa (hemicelulosa y celulosa), 12 % de almidón (7), entre otros, lo que la hace apropiada para la elaboración de bioplásticos (8).

El objetivo del presente trabajo fue elaborar una película comestible a partir de la celulosa y almidón, presentes en la cáscara de plátano previa eliminación de la lignina, y su caracterización física y química para la posterior aplicación en la conservación de alimentos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La cáscara de plátano macho, en estado verde, se recogió de un restaurante ubicado en la Universidad de Guayaquil. Se eliminó el material dañado y el resto se lavó con jabón neutro y solución de cloruro de sodio. Se secó a 105 °C por 4 h, se molió en un molino Corona (México) y se trató con etanol al 95 % v/v a 38 °C por 2 h (relación m/v 1:3), para eliminar el látex y parte de los pigmentos. El proceso de hidrólisis consistió en

colocar la muestra con hidróxido de sodio al 5 % durante 3 h a 103 Pa, seguido de lavado hasta pH neutro y posterior lavado con agua caliente. La muestra filtrada fue blanqueada con hipoclorito de sodio al 1 % durante 24 h y lavada con agua potable hasta que no decoloró el permanganato de potasio. Para romper las fibras, la muestra decolorada se agitó mecánicamente con un agitador Testing Equipment Humboldt modelo MFG (Alemania) a 7 000 min⁻¹ durante 10 min. A esta mezcla que, entre otras sustancias, contiene almidón-celulosa se le denominó mezcla almidón-celulosa (MAC) y se almacenó en refrigeración hasta su uso posterior.

Para la elaboración de las películas se mezclaron 25 % de la MAC con glicerina como plastificante en concentraciones del 0; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5 % de la solución de la película. Se aforó hasta 100 mL y se trasvasaron 25 mL a cajas de polipropileno de 10 cm de diámetro. Durante 24 h se secaron a 55 °C. Luego que se ambientaron, las películas se sacaron del molde, guardaron en medio de hojas de papel dentro de una funda plástica y ambiente de 55 % de HR. Cada prueba se hizo por triplicado.

Además, se usaron fibras de algodón comercial y los reactivos hipoclorito de sodio, hidróxido de sodio, ácido sulfúrico y glicerina (Merck, Alemania), así como etanol al 95 % v/v (Laboratorios Cevallos, Ecuador).

En la cáscara de plátano se determinaron los indicadores, humedad por el método gravimétrico 925.10 de AOAC (9), fibra cruda por el método 962.09 de AOAC (9), cenizas con INEN 520 (10), celulosa con el método de Kurshner y Hoffer (11), almidón con ISO 6493 (12) y ácidos carboxílicos con el método ISO 11214:1996 (13). La MAC, siguiendo las técnicas anteriores, fue analizada en contenido de humedad, celulosa, almidón y ácidos carboxílicos. Cada determinación fue realizada por triplicado.

Las películas colocadas en las cajas Petri, una vez secas con ayuda de una pinza y guantes de látex, fueron retiradas y ambientadas a 55 % HR. Estas fueron analizadas en contenido de humedad de acuerdo al método de Galaus y Lenart (14) con ligeras modificaciones. Permeabilidad de vapor de agua (PVA) y transmisión del vapor de agua (TVA) con la norma E96-80ASTM (15). El espesor se realizó según (16), opacidad según (17). La solubilidad se determinó de acuerdo con el método de Gontard (18) con ligeras

modificaciones. Para la prueba de la gota de agua con una pipeta Pasteur, se tomó como referencia el método del Kwok y Neumann (19), se dejó caer una gota de agua destilada y se tomó el tiempo en que se absorbió completamente en la película.

Las propiedades estructurales de la cáscara y de la MAC se realizaron a través de espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), se empleó un equipo Thermo modelo Nicolet (EE.UU.). Los almidones nativos y procesados fueron observados a través de microscopía óptica. La microestructura de la MAC y de las películas fue observada a través de un microscopio electrónico de barrido (MEB) marca JEOL modelo JSm-5310. La superficie de las películas fue observada a través de un microscopio de fuerza atómica denominado Nanosurf EasyScan 2 Controller (20).

Se efectuó un análisis de varianza para determinar las diferencias significativas entre las películas a efecto de la concentración del plastificante. La prueba de Tukey se usó para determinar la diferencia significativa entre medias a un nivel de confianza del 95 %. Se usó el programa SSPS ver. 21 (IBM Corp., EE.UU.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cáscara de plátano presentó una humedad del 89 % m/m ($S = 0,4$ %). Una vez seca, fue de 5,60 %, valor similar al 5,2 % (21) y 5,84 % (22) reportados. El contenido de ceniza fue similar a 9,8 % (23), proteína mayor a 5,0 % (22) y fibra menor al 7,65 % (22) informado en otros trabajos. La Tabla 1 muestra el contenido proximal de la cáscara de plátano seca y la Tabla 2 muestra el contenido de almidón y celulosa de la cáscara seca y del residuo de hidrólisis básica (MAC).

Tabla 1. Contenido proximal de la cáscara de plátano

Indicador	Contenido b.s. (% m/m)
Humedad	5,6 (0,6)
Grasa	6,5 (0,5)
Proteína	7,0 (0,4)
Fibra	3,0 (0,2)
Ceniza	9,3 (0,2)
Hidratos de carbono	68,6 (0,4)

(): desviación estándar. b.s.: base seca.

Tabla 2. Componentes de la cáscara y del residuo de hidrólisis (MAC)

Indicador	Contenido b.s. (% m/m)	
	Cáscara seca	MAC
Humedad	5,93 (0,6)	4,9 (0,2)
Almidón	20,8 (1,4)	21,0 (2,3)
Celulosa	17,8 (0,8)	57,4 (4,4)
Ácidos carboxílicos	2,3 (0,5)	3,7 (0,6)
Otros	ND	ND

ND: no determinados. b.s.: base seca.

El contenido de almidón fue de 20,83 %, valor diferente al 38 % reportado (16). El contenido de celulosa del presente trabajo (17,84 %) fue menor al 28 % indicado en la literatura (23). Sin embargo, a pesar de que los contenidos de almidón y de celulosa fueron menores, estos son suficientes para la elaboración de matrices compuestas aplicadas en empaques (8). El contenido de ácidos carboxílicos fue menor en la cáscara secada frente al valor de la muestra de la MAC. La presencia de estos ácidos mejoran las propiedades mecánicas y favorece la permeabilidad de la película (24). La humedad de la MAC fue alta, sin embargo, los contenidos de almidón y celulosa fueron 21 y 57 % en base seca, respectivamente. Estos valores son suficientes para la elaboración de las películas comestibles.

Las películas obtenidas a partir de la cáscara de plátano y glicerina fueron flexibles, delgadas, traslúcidas con partículas evidentes de celulosa. Todas las películas fueron removidas de la caja de moldeo, aunque las únicas que salieron completas y con facilidad fueron las películas con 0,3 % de glicerina. Las películas con 0,2 % de glicerina se quebraron fácilmente al despegarlas, mientras que con 0,4 y 0,5 % de glicerina permanecieron algo pegajosas y no muy fácil de despegar.

Todas las películas presentaron una superficie suave con un revés más brillante que el anverso. Estas presentaron una ligera apariencia amarilla con ciertos puntos blancos en la superficie, las cuales correspondieron a partículas de celulosa.

La Tabla 3 muestra las propiedades físicas de las películas. La película sin plastificante resultó ser la de menor masa y con 0,4 % de plastificante la de mayor masa.

Sin embargo, no existieron diferencias significativas entre las pruebas con 0,3; 0,4 y 0,5 % de plastificante. La densidad de 0,3277 g/mL correspondió a la película sin plastificante y 0,3196 g/mL para la película con 0,5 % de plastificante.

Los espesores de las películas de los cinco tratamientos no presentaron diferencia significativa. Películas elaboradas con almidón de plátano macho oxidado (24) presentaron un espesor de 0,118 mm, mientras que películas de cáscara de plátano presentaron un espesor de 0,11 mm (16), valores casi tres veces superiores al de las películas de este trabajo.

Las películas presentaron un rango de humedad de 4,6 a 5,0 % m/m y no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Estos valores son menores al 8 a 24 % reportados con almidón de plátano guayabo (25).

Las películas presentaron en la superficie ciertas partículas blancas correspondientes a la celulosa, lo cual influyó en la opacidad. De acuerdo con la Tabla 3, los valores de opacidad fueron desde 7,4 mm⁻¹ hasta 12,1 mm⁻¹. Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos. El valor menor correspondió a la muestra sin plastificante y el valor más alto de opacidad fue para la prueba con 0,5 % de plastificante. Otras películas elaboradas con almidón de cáscara de plátano presentaron opacidades de 5,47 a 9,72 mm⁻¹ (16).

La Tabla 4 muestra las solubilidades de las películas. No existieron diferencias significativas entre los tratamientos. Estos resultados están en el rango de 7,2 a 27,6 % reportado (16), mientras que fueron algo inferiores al 26 % mencionado para películas con 3 % de almidón (25).

Tabla 3. Propiedades físicas de las películas a partir de cáscara de plátano

Plastificante (%)	Peso (g)	Espesor (mm)	Humedad (%)	Opacidad (mm ⁻¹)
0	0,1029 ^a (0,0008)	0,040 ^a (0,005)	5,0 ^a (1,2)	7,4 ^a (0,9)
0,2	0,1122 ^{ab} (0,0084)	0,041 ^a (0,006)	4,6 ^a (1,2)	9,1 ^{ab} (1,4)
0,3	0,1181 ^{bc} (0,0012)	0,039 ^a (0,006)	5,4 ^a (1,4)	8,8 ^{ab} (1,9)
0,4	0,1223 ^c (0,0039)	0,036 ^a (0,003)	4,7 ^a (0,7)	11,2 ^{bc} (0,8)
0,5	0,1129 ^{abc} (0,0074)	0,045 ^a (0,004)	4,8 ^a (0,4)	12,1 ^a (1,3)

(): desviación estándar. Letras distintas indican diferencia significativa para $p \leq 0,05$.

Tabla 4. Solubilidad, transmisión de vapor de agua y permeabilidad

Plastificante (%)	Solubilidad (% m/m)	TVA (g/h m ²)	PVA (1 x 10 ⁻¹⁵ g/s m Pa)	Gota de agua (h)
0	19,5 ^a (6,6)	28,2 ^a (6,5)	1,56 ^a (0,3)	1,8 ^a (0,2)
0,2	17,2 ^a (4,4)	27,5 ^a (1,3)	1,3 ^a (0,1)	2,0 ^a (0,2)
0,3	17,5 ^a (2,2)	22,5 ^a (3,5)	1,2 ^a (0,2)	2,0 ^a (0,2)
0,4	16,1 ^a (3,3)	25,4 ^a (3,8)	1,56 ^a (0,3)	2,0 ^a (0,2)
0,5	19,0 ^a (4,4)	24,2 ^a (5,6)	1,6 ^a (0,3)	2,1 ^a (0,2)

(): desviación estándar. Letras distintas indican diferencia significativa para $p \leq 0,05$.

Las permeabilidades fueron menores al $2,41$ a $4,03 \times 10^{-11}$ g/s m Pa (16) informadas. Esta importante propiedad es ampliamente estudiada y permite definir el tipo de alimento a conservar. Mientras menor es la permeabilidad mejores posibilidades de conservación se ofrece al alimento (26). Por otra parte, las velocidades de transmisión de agua no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Los resultados (Tabla 4) están cercanos a 28 g/h m² reportado en películas de quitosano de caparazón de cangrejo (27).

En la prueba de gota de agua no hubo diferencias significativas entre los tratamientos. La Fig. 1 muestra la forma de la gota de agua, donde puede apreciarse que existe cierta hidrofobicidad por la película. El ángulo de contacto que se forma es un indicativo de ello (28). Como referencia se tomó una lámina de papel y se observó que el agua fue absorbida al cabo de 5 s.

La cáscara de plátano contiene lignina, celulosa, almidón entre otros componentes. La Fig. 2a muestra el espectro FTIR de la cáscara de plátano. En ella se observa una banda ancha en la región de los $3\ 336$ cm⁻¹ característico de los grupos OH (29, 30), a los $2\ 899$ cm⁻¹ se observa una banda atribuida a los grupos C-H por vibraciones de estiramiento por enlaces C-H debido a grupos CH₂ y CH₃, y en la región de $1\ 700$ a $1\ 100$ cm⁻¹ se atribuyen a las vibraciones de los grupos acetil unidos a hemicelulosa. En la región de $1\ 613$ cm⁻¹ se le asigna a una banda de absorción de agua (31), la cual se observa en todos los espectros casi con la misma intensidad.

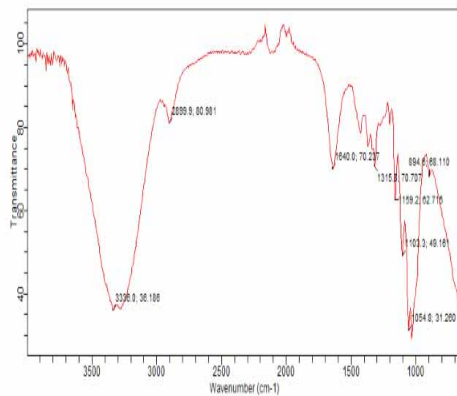
En la región de la huella dactilar entre $1\ 500$ y $1\ 100$ cm⁻¹ las bandas pequeñas constituyen las frecuencias de flexión o estiramiento de los enlaces C-H y C-O. Mientras que, entre $1\ 125$ y $1\ 000$ cm⁻¹ bandas de



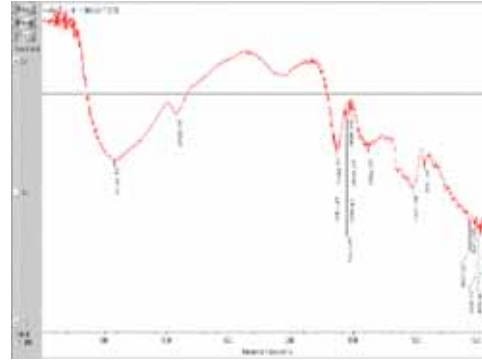
Película

Gota de agua sobre la película

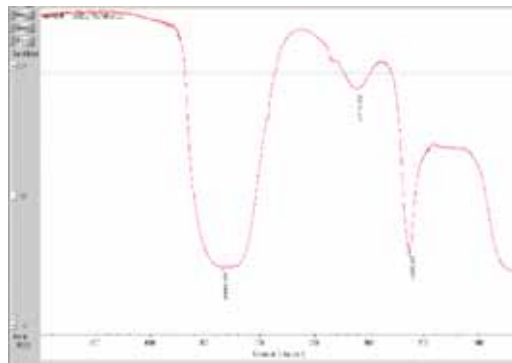
Fig. 1. Películas sin y con una gota de agua.



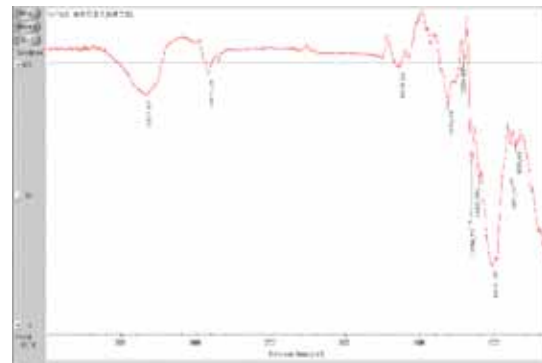
a. Cáscara de plátano



b. Almidón de plátano



c. MAC



d. Película

Fig. 2. Espectrogramas FTIR: a) Cáscara de plátano, b) Almidón de plátano, c) MAC y d) Película.

absorción son características debido a la presencia de xilanos, indica el estiramiento de C-O y C-C y la contribución del enlace glucosídico (30). La presencia de la lignina se observa por una banda característica en 1 525 a 1 510 cm^{-1} . En 1054 cm^{-1} se observan vibraciones y estiramientos que corresponden al grupo C-O-C (32).

El almidón es un polisacárido formado por amilosa y amilopectina. En la Fig. 2b del almidón en la región de 2 922 cm^{-1} se observa un pico que corresponde al estiramiento C-H asociado con el anillo de la molécula glucopiranososa (33). La Fig. 2c de la MAC presenta una banda ancha en la región de 3 346 cm^{-1} por la tensión del grupo O-H; en la región de 2 900 cm^{-1} apenas se observa un pico debido a la vibración de tensión del grupo C-H. La intensidad de la señal en la región de 3 346 cm^{-1} y 1 635 cm^{-1} se observa que ha disminuido con respecto a la muestra inicial o de la cáscara, esto podría deberse a la acción del hipoclorito de sodio

usado para el blanqueamiento de la muestra (34). La película con glicerol (Fig. 2d) exhibe las mismas bandas en los números de onda típicos con una ligera variación en la intensidad.

Mediante el microscopio óptico (Fig. 3) se pudo apreciar que el almidón extraído presentó una forma ovalada, lenticular con tamaños variados entre 20 a 80 μm aproximadamente, de forma similar a la descrita (35) y tamaño mayor a 40 μm , mientras que el almidón de la MAC mostró tamaños entre 500 a 600 μm con una forma casi circular.

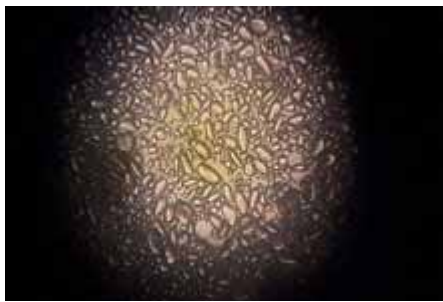
De acuerdo con la microscopía electrónica de barrido (Fig. 4), los gránulos de almidón de la MAC se presentaron hinchados con forma ovalada hasta circular. El tamaño se observó que variaba desde los 500 hasta 600 μm aproximadamente.

Por otra parte, la película presentó el anverso y reverso de forma distinta (Fig. 5). El anverso que está en contacto a la caja Petri se mostró con más brillo, mientras que el reverso fue más opaco. En este lado se observan al almidón y las fibras de celulosa que provocan la rugosidad de la superficie y por lo tanto, la disminución del brillo, según plantearon otros autores (33, 36).

La topografía superficial de la película que se observa a través del microscopio de fuerza atómica (Fig. 6) indica que existe diferente rugosidad en cada lado de la película, lo cual se comprueba por la diferencia de brillo entre las dos caras de la película (37).

CONCLUSIONES

La hidrólisis básica de la cáscara de plátano macho permitió extraer la celulosa y el almidón contenidos en ella y constituyen una fuente prometedora para la elaboración de bioplásticos con características competitivas a otros polímeros. Las características físicas de las películas demostraron que es posible obtener bioplástico a partir del almidón y celulosa extraídos de la cáscara de plátano. La mejor fórmula de película corresponde a la que contiene 0,3 % de glicerina, debido a su presentación física. Las características de las películas están dentro de los rangos reportados por otros estudios; no obstante, el valor del peso y permeabilidad fueron menores, lo que significa que aporta menos carga y mayores posibilidades de uso en alimentos. El almidón, al ser sometido a calentamiento y bajo los efectos de químicos como hidróxido de sodio e hipoclorito, sufre una oxidación provocando la integración de los grupos carboxilos, modificando con ello la respuesta de las películas en comparación con un almidón nativo.

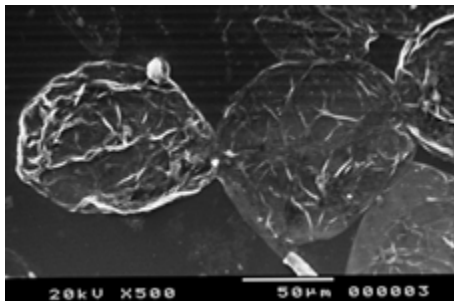


Almidón nativo. 40 X

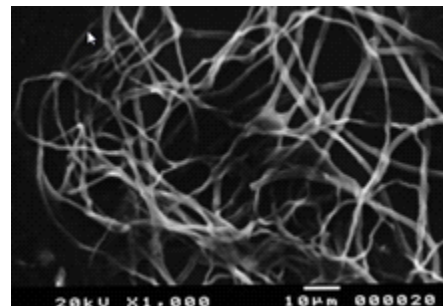


Almidón procesado. 40 X

Fig. 3. Imágenes por microscopía óptica de los almidones nativo y procesado.

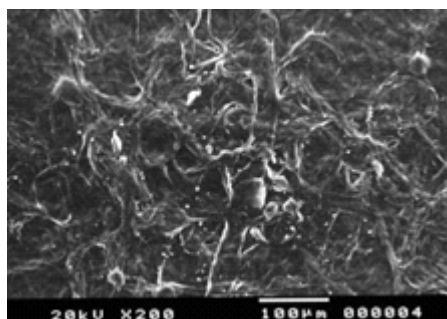


Gránulos de almidón

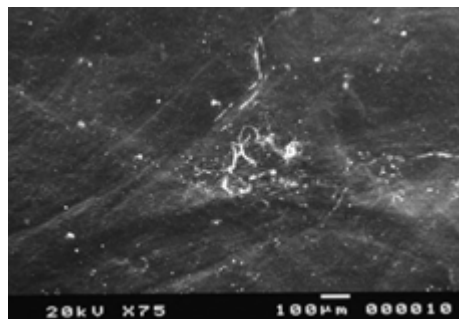


Fibras de celulosa

Fig. 4. Imágenes por microscopía electrónica de barrido del almidón y celulosa.

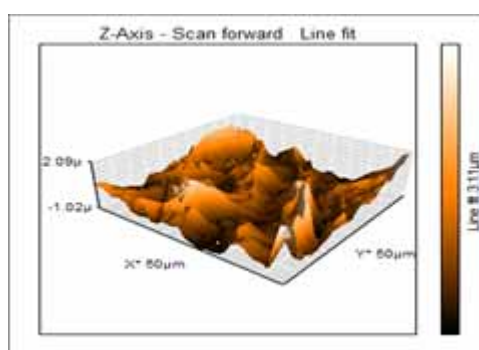


Reverso

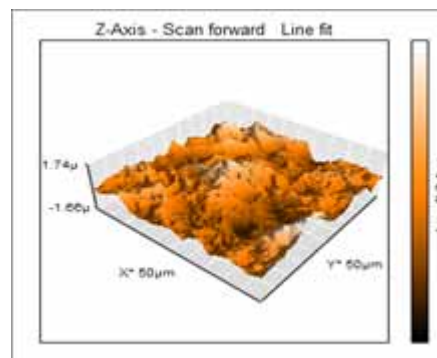


Anverso

Fig. 5. Imágenes por microscopía electrónica de barrido del almidón y celulosa.



Reverso



Anverso

Fig. 6. Imágenes por microscopía de fuerza atómica.

REFERENCIAS

1. Tibolla H, Pelissari FM, Martins JT, Vicente AA, Menegalli FC. Cellulose nanofibers produced from banana peel by chemical and mechanical treatments: Characterization and cytotoxicity assessment. *Food Hydrocoll* 2018; 75:192-201.
2. FAO. El mercado de almidón añade valor a la yuca (Internet). España; 2006. Disponible en: www.fao.org/ag/esp
3. Ochica A, Muñoz E, Vera R, Gómez E, Maciel A, Rivera F. Obtention of Cellulose Acetate Nanofibers from Sugar Cane Bagasse. *Cienc Desarr* 2017; 8(2):69-77.
4. ESPAC. Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua. Ecuador: Instituto Ecuatoriano de estadística y censos (INEC); 2016.
5. Yusufu PA, Mosiko TB, Ojuko OO. Effect of firm ripe platin fruit flour addition on the chemical sensory and microbial quality of fura powder. *Niger Food J* 2014; 32(1):38-44.
6. Wachirasiri P, Siripan J, Sorada W. The effects of banana peel preparations on the properties of banana peel dietary fibre concentrate (Internet). Bangkok Prince Songkla Univ; 2008. Disponible en: <http://rdo.psu.ac.th/sjstweb/journal/31-6/0125-3395-31-6-605-611.pdf>. Accedidos 5 marzo 2019.
7. López-Giraldo J, Cuarán-Cuarán JC, Arenas-García LV, Flóres-Pardo LM. Usos potenciales de la cáscara de banano: elaboración de un bioplástico. *Rev Colomb Investig Agroind* 2014; 1:7-21.
8. Remar R. Bioplásticos. Fundación Moderna (Internet). Disponible en: www.modernanavarra.com/wp-content/uploads/Bioplasticos.pdf. 2011.
9. AOAC. Official Methods of Analysis. 21th ed. Vol. 1, Association of officials Analytical Chemists; 2012. pp. 141-4.
10. NTE INEN 520. Harinas de origen vegetal. Determinación de la ceniza. Vol. 0520. Ecuador: INEN; 1980. p. 7.
11. Hessler LE, Merola GV. Determination of cellulose in cotton and cordage fiber. *Anal Chem* 1949; 21(6):4-7.

12. ISO. Animal feeding stuffs - Determination of starch content- Polarimetric method. 2000.
13. NTE INEN-ISO 11214. Almidón modificado. Valoración de los grupos carboxílicos en el almidón oxidado (ISO 11214:1996, IDT). Norma Técnica Ecuatoria. 2014.
14. Galus S, Kadzińska J. Food applications of emulsion-based edible films and coatings. Trends Food Sci Technol 2015, doi: 10.1016/j.tifs.2015.07.011.
15. Standard A. E96/E96M-05 Standard test methods for water vapor transmission of materials. West Conshohocken ASTM Int. 2005;04:1–8.
16. Anchundia K, Santacruz S, Coloma J. Caracterización Física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*). Rev Chil Nutr 2016; 43(4):394-9
17. Han JH, Floros JD. Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial activity. J Plast Film Sheeting 1997; 13(4):287-98.
18. Gontard N, Guilbert S, Cuq JL. Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. J Food Sci 1992; 57(1):190-5.
19. Kwok DY, Neumann W. Contact angle measurement and contact angle interpretation. Adv Colloid Interfac 1999; 81:167-249.
20. Villalobos R, Chanona J, Hernández P, Gutiérrez G, Chiralt A. Gloss and transparency of hydroxypropylmethylcellulose films containing surfactants as affected by their microstructure. Food Hydrocoll 2005; 19:53-61.
21. Pelissari FM, Andrade-Mahecha MM, Sobral PJDA, Menegalli FC. Isolation and characterization of the flour and starch of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). Starch/Staerke 2012; 64(5):382-91.
22. Arun KB, Persia F, Aswathy PS, Chandran J, Sajeev MS, Jayamurthy P, Nisha P. Plantain peel - a potential source of antioxidant dietary fibre for developing functional cookies. J Food Sci Technol 2015; 52:6355-64
23. Monsalve JF, Medina VI, Ruiz AA. Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca. Dyna 2006; 150:21-27.
24. Zamudio-Flores PB, Vargas-Torres A, Gutiérrez-Meraz, Bello-Pérez LA. Caracterización fisicoquímica de almidones doblemente modificados de plátano. Agrociencia 2010; 44:283-95.
25. García O, Pinzón M, Lucas J. Propiedades físicas y ópticas de películas a base de almidón de plátano guayabo (*Musa paradisiaca* L.). Aliment Hoy 2015; 23(36):127-32.
26. Hosseini SF, Rezaei M, Zandi M, Ghavi FF. Preparation and functional properties of fish gelatin-chitosan blend edible film. Food Chem 2013; 136:1490-5.
27. Cárcamo C. Preparación de films de quitosano-alginato y comparación de sus propiedades mecánicas y biológicas con films de quitosano. Universidad de Chile; 2005.
28. Phan TD, Debeaufort F, Luu D, Voilley A. Functional properties of edible agar-based and starch-based films for food quality preservation. J Agric Food Chem 2005; 53:973-81.
29. Silverstein RM, Webster FX, J-Kiemle D. Identificacao espectrofotométrica de compostos orgánicos. Río de Janeiro: LTC E; 2007.
30. Sun XF, XU F, Sun RC, Fowler P, Baird MS. Characteristics of degraded cellulose obtained from steam-exploded wheat straw. Carbohydr 2005; 340:97-106.
31. Troedec M, Sedan D, Peyratout C, Bonnet J, Smith A, Guinebretiere R. Influence of varios chemical treatments on the composition and structure of hemp fibres. Appl Sci Manuf 2008; 39(3):514-22.
32. Pulido-Barragan E, Morales-Cepeda B, Zamudio-Aguilar M, Lugo-Del-Angel F. Obtención y caracterización de nanocelulosa a partir de tule (*Typha domingensis*). Química y Física 2017; 3(6):31-8.
33. Zamudio-Flores PB, Vargas-Torres A, Pérez-González J, Bosquez-Molina E, Bello-Pérez LA. Films prepared with oxidized banana starch: Mechanical and barrier properties. Starch/Staerke 2006; 58(6):274-82.
34. Guerra-Della D, Bello-Perez LA, Gonzalez-Soto RA, Solorza-Feria J, Arámbula-Villa G. Rev Mex Ing Quím 2008; 7(3):283-91.
35. Espinosa-Solis V, Jane JL, Bello-Perez LA. Physicochemical characteristics of starches from unripe fruits of mango and banana. Starch/Staerke 2009; 61(5):291-9.
36. Joaqui D, Villada H. Propiedades ópticas y permeabilidad producidas a partir de almidón. Biotecnol Sector Agropec Agroind 2013; 2(2):59-68.
37. Acosta S. Propiedades de films de almidón de yuca y gelatina. Incorporación de aceites esenciales con efecto antifúngico. Universidad Politécnica de Valencia; 2014.