

Elaboración de películas biodegradables con policaprolactona y almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde (*Musa paradisiaca*).

Elaboration of biodegradable films with polycaprolactone and starch-cellulose of the green banana peel (*Musa paradisiaca*).

Fátima Gómez Sierra^{*}, Augusta Jiménez-Sánchez^{*}.

Universidad de Guayaquil, 090514, Guayaquil, Ecuador,

^{*} email: fatima.gomezs@ug.edu.ec

Recibido: 31 de octubre de 2021

Aceptado: 02 de enero de 2022

Resumen

El presente trabajo buscó elaborar películas biodegradables con policaprolactona y almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde (*Musa paradisiaca*) como posible alternativa para la sustitución de fundas plásticas. Para esto, se extrajo el almidón-celulosa mediante hidrólisis básica. Se usó una fórmula base para las películas de almidón-celulosa y se plantearon 12 formulaciones en las que se modificó la cantidad de glicerina y policaprolactona. Las películas se caracterizaron en sus propiedades físicas, mecánicas, ópticas, funcional y biodegradabilidad. Las películas presentaron diferentes resultados. Las formulaciones 1, 5 y 9 presentaron diferencias significativas en la solubilidad, pero no en la opacidad y absorción de agua; la tensión y permeabilidad dependen del tipo de formulación. Se proyecta una degradación en un máximo de 30 días. Se concluye que las películas con mayor cantidad de PCL presentan una mejora en las propiedades mecánicas, funcionales, físicas y biodegradables y presentan una biodegradabilidad superior en comparación a los plásticos convencionales.

Palabras clave: películas biodegradables, almidón-celulosa, PCL, caracterización.

Abstract

The present paper sought to produce biodegradable films with polyaprolactone and starch-cellulose from the green banana shell (*Musa paradisiaca*) as a possible alternative for the replacement of plastic sleeves. For this purpose, starch-cellulose was extracted by basic hydrolysis. A base formula was used for starch-cellulose films and 12 formulations were proposed modifying the amount of glycerin and polyaprolactone. The films were characterized in their physical, mechanical, optical, functional and biodegradable properties. The films presented different results. Formulations 1, 5 and 9 showed significant differences in solubility, but not in water opacity and absorption; tension and permeability depend on the type of formulation. Degradation is projected to be up to 30 days. It is concluded that films with the highest quantity of PCL have an improvement in mechanical, functional, physical and biodegradable properties and have superior biodegradability compared to conventional plastics.

Keywords: biodegradable films, starch-cellulose, PCL, characterization.

1. Introducción

Ecuador es considerado uno de los mayores países exportadores de plátano verde a nivel mundial, liderando con un 29 % lo que a su vez produce un residuo que fluctúa entre el 8 % a 20 %. La mayoría de estos residuos lignocelulósicos originados por este fruto son en ciertos casos, destinados como alimento para animales; en otras ocasiones son arrojados a vertederos a cielo abierto generando gases que contribuyen al tal nombrado efecto invernadero [1].

La policaprolactona o PCL es un polímero que se adquiere de fuentes petroquímicas con propiedades atractivas como su biodegradabilidad, resultando ventajoso al combinarlo con fibras naturales [2]. Entre las tantas aplicaciones del PCL es conocido por formar parte en la composición de bolsas plásticas biodegradables y en el campo biomédico por intervenir como matriz en liberación de medicinas; el origen de su degradabilidad está dado por el grupo éster, que al ser apto para hidrolizarse y transformarse en oligómeros de bajo peso promoviendo su fácil biodegradación [3]. Cabe destacar que entre las propiedades del PCL se encuentra su temperatura de transición vítrea (-60°C), su cristalinidad (50°C), fácil miscibilidad y su punto bajo de fusión (60°C) que al combinarse con otros polímeros degradables tiene como finalidad mejorar sus propiedades [2].

Actualmente es innovador el uso de biopolímeros con PCL por ser considerado alifático, sintético y biodegradable [4] teniendo afinidad con formulaciones de almidón-celulosa mejorando así sus propiedades físicas, mecánicas, funcionales, biodegradables y que adicionando sustancias con cualidades

antimicrobianas y antioxidativas, dan lugar a la elaboración de recubrimientos comestibles o películas biodegradables proyectando suplir a los polímeros sintéticos para una mejora continua en la industria alimenticia [5].

Tomando en cuenta lo expuesto, en este trabajo se busca elaborar películas biodegradables con PCL y almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde a través de la evaluación de 12 formulaciones con PCL y glicerina, y evaluar cómo influyen estos cambios en el biopolímero. Adicional, se realizarán pruebas físicas, mecánicas, ópticas, funcionales y biodegradables a escala de laboratorio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación

Los plátanos verdes (*Musa paradisiaca*) se adquirieron en un mercado al sur-oeste de la ciudad de Guayaquil; el PCL fue adquirido por la empresa Perstorp Holding AB UK Limited de Inglaterra. La gran mayoría de los análisis se realizaron en la Universidad de Guayaquil- Ecuador en el Laboratorio de Química Analítica en la Facultad de Ingeniería Química. El análisis FTIR en la Escuela Superior Politécnica del Litoral y las pruebas de tensión se realizaron en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero en la ciudad de Ambato. Adicional a esto, se estableció un diseño de experimentación factorial de dos factores entre la glicerina y el PCL de 3 y 4 niveles respectivamente. Para esto, se usó el software estadístico Minitab Inc 2016 y se expusieron los criterios de respuesta para las pruebas físicas (espesor y solubilidad), mecánicas (permeabilidad y fuerza de tracción), ópticas (FTIR y opacidad), biodegradable (pérdida de peso) y funcionales (absorción

de agua y prueba de la gota de agua).

2.2. Elaboración de la película a base de almidón-celulosa

2.2.1. Procedimiento para la extracción del almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde

El almidón-celulosa se obtuvo a través del método de Jiménez y col [11] mediante hidrólisis alcalina. Los plátanos (*Musa paradisiaca*) se lavaron con una salvauñas para cocina y 200 mL de jabón líquido neutro. Posterior se pesaron en una balanza digital CAMRY modelo EI-02H/EI-02HS y cortaron en tres partes quitando los extremos denominados pedúnculos. Las cáscaras de la fruta se separaron y molieron (molino Corona). La masa obtenida se sumergió en una solución de NaOH al 5% en una relación (m/v) 1 a 1 durante 24 h para la extracción de la lignina. Luego se lavó y separó con un lienzo el almidón-celulosa y seguidamente esta masa se blanqueó con una solución acuosa de hipoclorito de sodio al 2% durante 48 h. Se lavó con abundante agua eliminando por completo los residuos de NaClO. Para finalizar el procedimiento, la masa blanca se filtró, pesó, licuó, secó (a 35°C), envasó en un recipiente herméticamente cerrado y almacenó en un lugar fresco y seco hasta su uso.

2.2.2. Determinación de las formulaciones para la película biodegradable.

Las formulaciones se establecieron de acuerdo con la Tabla 1. Cada una de estas se repitieron 6 veces, mientras que para los análisis, por triplicado.

2.2.3. Procedimiento para la elaboración de la película biodegradable (Método de moldeo) con recubrimiento de PCL

La película se elaboró a través del método de moldeo, se consideraron diferentes aportes de autores como Jiménez y col., Contreras y col., Navarro, Averous y col., Anchundia y col., Collazo y col. [11-16]. Para ello, se pesó el almidón-celulosa y la glicerina en las proporciones indicadas. Se añadió agua y mezcló con un agitador magnético durante 4 min a una temperatura de ± 70 °C y 300 rpm. Posterior, se enfrió a ± 40 °C, se añadió glicerina y la mezcla se emulsionó con un agitador vertical durante 1 min y se trasladó en cajas Petri plásticas (1,5 cm x 8,5 cm). Estas se colocaron en una estufa de aire forzado a 50 °C durante 7 h. Después, se desmoldaron las películas y almacenaron en un desecador durante 72 h para estabilizarlas.

El recubrimiento de las películas consistió en la disolución y adición del PCL sobre las películas de almidón-celulosa. Para ello, según la formulación indicada en la Tabla 1, en un Erlenmeyer con tapón de vidrio se disolvió manualmente la PCL con cloroformo, esta disolución se vertió homogéneamente sobre la película de almidón-celulosa colocada en una caja Petri de vidrio (1,5 cm x 8,5 cm); se secó a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) durante 48 h, se desmoldó y almacenó en un desecador con sílica gel para estabilizarlas durante 72 h.

2.2.4. Pruebas físicas

Espesor

La medición se realizó con un micrómetro digital marca Mitutoyo modelo TPM-H-2781 un total de 10 veces entre superficies lisas y rugosas, a continuación calcular un promedio entre las mismas [11].

Solubilidad

Empleando un agitador magnético se añadió 80 mL de agua en un vaso de precipitación y se colocó el film en dimensiones de 2 cm x 2 cm previamente pesados a 100 rpm durante 1 h. Posterior, se filtró en un tamiz N° 200 y el residuo se secó en una estufa a 60 °C durante 24 h. Se registró este nuevo peso para comprobar el porcentaje de solubilidad [17].

$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{P - P_0}{P} * 100\%$$

Donde:

P = Peso inicial seco de la película biodegradable.

P₀ = peso seco final de la película biodegradable.

2.2.5. Pruebas mecánicas

Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

La PVA se realizó a partir de la norma E96-80ASTM con algunas modificaciones. Se recortó las películas en forma circular hasta obtener un diámetro de 4 cm, se adaptó un recipiente plástico como celda; en la parte superior (tapa) se formó un agujero el mismo que será cerrado con la película. Dentro del recipiente se colocaron 10 mL de agua y se lo ubicó en un desecador con un higrómetro y sílica gel con la finalidad de mantener la humedad controlada durante 24 h [18].

$$PVA = \frac{\Delta m - I}{A - \Delta t - \Delta p}$$

Donde:

$\Delta m / (\Delta t)$ = pérdida de humedad por unidad de tiempo (gs^{-1})

I = espesor de la película (m)

A = Área de la película que está expuesta a la humedad.

Para el cálculo de la variación de PVA entre las caras de la película se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta p = \Delta RH / 100 * PVAP_{SAT}$$

Donde:

ΔRH = gradiente de humedad relativa entre el entorno y la celda.

$PVAP_{SAT}$ = presión del vapor de agua pura saturada que a 25 °C es de 3160 Pa.

Fuerza de tracción

Estas condiciones corresponden a la norma ASTM-D882-18. Para este procedimiento se recortó películas de 2,5 cm de ancho x 20 cm de largo colocándolas en una probeta y situándolas en una máquina universal marca Metrotec modelo MTE-50 aplicando una fuerza de 200 N y velocidad de 5 mm min^{-1} .

2.2.6. Pruebas ópticas

Análisis FTIR

La caracterización estructural de la película biodegradable se realizó utilizando un espectrofotómetro infrarrojo FTIR de la marca PerkinElmer modelo Spectrum 100, manejando una espectroscopia de absorción ATR de diamante en un ancho de banda de 3800 a 1000 cm^{-1} con una configuración de barrido con una resolución de 4 cm^{-1} . Estos valores fueron comparados para posterior lectura de los espectros obtenidos y así establecer los grupos funcionales presentes en la película [11].

Opacidad

Se recortó tiras rectangulares de la película biodegradable de 0,7 cm de ancho x 3,5 cm de largo y se determinó la absorbancia a 600 nm en un espectrofotómetro visible GENESYS™ 20, Thermo Scientific [16].

Opacidad = A/E

Donde:

A= absorbancia.

E= espesor de la película en milímetros (mm).

2.2.7. Pruebas funcionales

Absorción de agua

Se cortó pedazos con dimensiones de 2 cm x 2 cm, se pesó cada una de las muestras de la película (M1) y se las colocó en un vaso de precipitación añadiendo 50 mL de agua y mediante un agitador magnético a 100 rpm durante 30 min. Posterior, se sacó la muestra y se la colocó en una luna de reloj y se anotó el nuevo peso (M2) [19].

Capacidad de absorción de agua= $(M2-M1)/M1*100\%$

Donde:

M1: Peso de la muestra seca.

M2: Peso de la muestra húmeda.

Prueba de la gota de agua

Se preparó una solución con agua y colorante alimenticio (con la finalidad de notar el ángulo a formarse) y con una micro pipeta y micro jeringa se dejó caer a la altura de 40 cm 10 μ L sobre la película. Al pasar 5 s con un goniómetro se observa el ángulo que se forma entre la gota y la superficie de la película [11].

2.2.8. Prueba de biodegradación mediante pérdida de peso

Para este procedimiento se adaptó un espacio con condiciones aerobias y se tomó tres muestras de las formulaciones de la Tabla 1. Para esto se seccionó y colocó tiras de 0,7 cm x 3,5 cm (previamente pesadas) un recipiente de una capacidad de 200 mL; se añadió 150 g de compost húmedo y a 5 cm se colocó la muestra, registrando el peso

cada 5 días y comparando con el peso inicial. Se evaluó su degradación durante 15 días [20].

% pérdida por degradación= $(P-P_0)/P*100\%$

Donde:

P = Peso inicial húmedo de la película biodegradable.

P₀= peso seco final de la película biodegradable.

3. RESULTADOS

3.1. Análisis y discusión de resultados de las pruebas físicas de las películas biodegradables

Espesor

De acuerdo con la Norma 2636 (2012), menciona que las láminas delgadas o películas son aquellas que tienen un espesor inferior a 0,25 mm, por lo que todas las formulaciones cumplen con el espesor adecuado. En la Figura 1 se muestra como en las formulaciones F6, F7 y F11, presentan la misma respuesta, al igual que la F4, F9, F10 y F12 poseen valores similares, lo mismo ocurre con F3 y F8 por lo que no existe diferencia significativa entre estas formulaciones; por otra parte, entre F1, F2, F5 sí existe diferencia significativa por que la dosificación del PCL aplicada a en cada película fue variada.

Solubilidad

Para determinar estadísticamente los factores que tienen un efecto significativo en la solubilidad. Se elaboró un diagrama de Pareto de efectos estandarizados, tomando un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$), como variable de respuesta los resultados del análisis de solubilidad obtenidos en el laboratorio, y como factores a estudiar la glicerina (A), PCL (B), y la combinación de ambos (AB). En la figura 2 se obser-

va que todos los factores exceden la línea de significancia, lo cual indica estadísticamente que los 3 factores afectan de manera significativa a la solubilidad de la película.

3.2. Análisis de resultados de las pruebas mecánicas de las películas biodegradables

Permeabilidad



Figura 1: Espesor promedio con respecto al número de formulaciones [21].

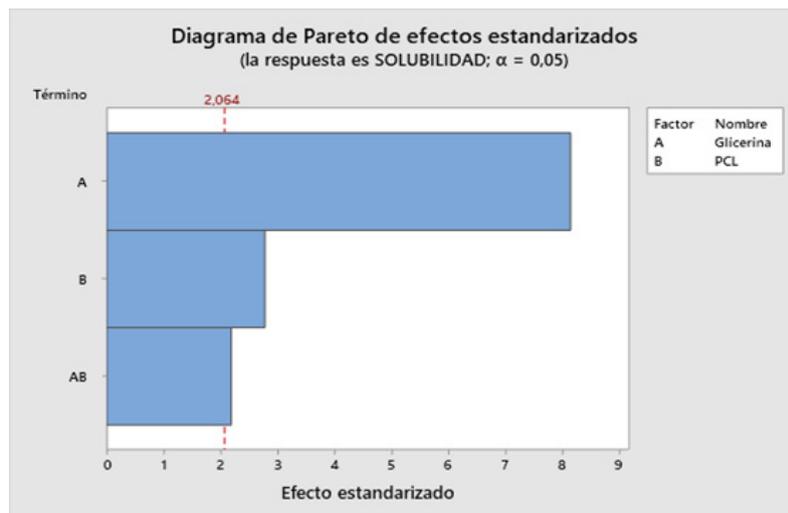


Figura 2: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la solubilidad.

Para determinar estadísticamente los factores que tienen un efecto significativo en la permeabilidad de vapor de agua (PVA). Se elaboró un diagrama de Pareto de efectos estandarizados, tomando un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$), como variable de respuesta los resultados de los análisis realizados en el laboratorio, y como factores a estudiar la glicerina (A), PCL (B), y la combinación de ambos (AB). En la Figura 3 se observa que los factores de glicerina y PCL exceden la línea de

significancia, lo cual indica estadísticamente que solo estos 2 factores afectan de manera representativa a la PVA de la película, más no su combinación.

Tensión

Para las formulaciones F4, F8 y F12 se encontró una capacidad máxima de rotura de 7,15; 8,24; 9,26 MPa respectivamente aplicándose una fuerza máxima a cada una de las probetas de 42N. Datos que coinciden con Granda y col., [22]. La Figura 4 muestra la mayor

respuesta a la tensión dentro de las formulaciones evaluadas coincidiendo con la mayor cantidad de PCL aplicada a la película; donde la máxima fue de 9,26 MPa y 34% de alargamiento respectivamente.

3.3. Análisis de resultados de las pruebas funcionales de las películas biodegradables

Prueba de la gota de agua

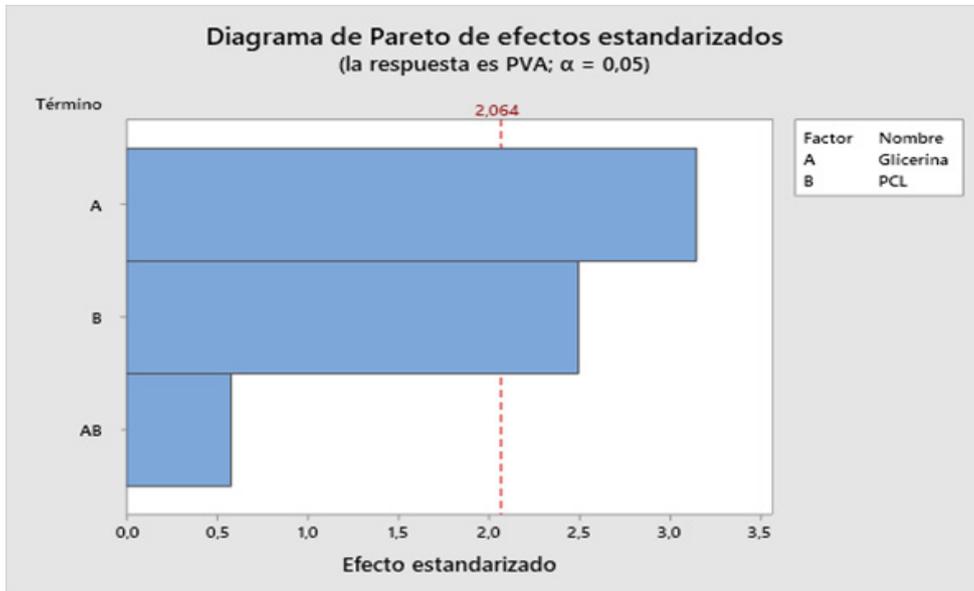


Figura 3: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para PVA.

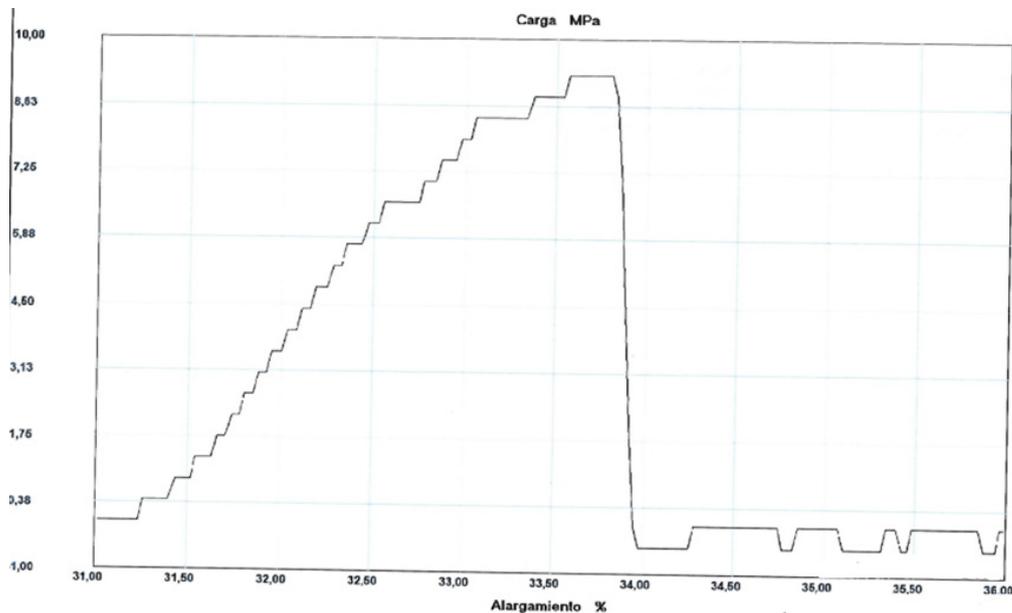


Figura 4: Prueba de tensión de la película biodegradable.

En el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, tomando un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$), como variable de respuesta se tuvo los resultados de los análisis realizados en el laboratorio, y como factores

a estudiar la glicerina (A), PCL (B), y la combinación de ambos (AB). En la Figura 5 se observa que los factores de glicerina y PCL exceden la línea de significancia, lo cual indica estadísticamente que solo

estos 2 factores afectan de manera representativa a la hidrofobicidad de la película, más no su combinación.

Prueba de absorción de agua

En el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, tomando un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$), como variable de respuesta los resultados de

los análisis realizados en el laboratorio los factores a estudiar fueron: glicerina (A), PCL (B), y la combinación de ambos (AB). En la Figura 6 se observa que ninguno de los factores excede la línea de significancia, lo cual indica estadísticamente que ninguno de los factores afecta de manera representativa a la absorción de agua de la película

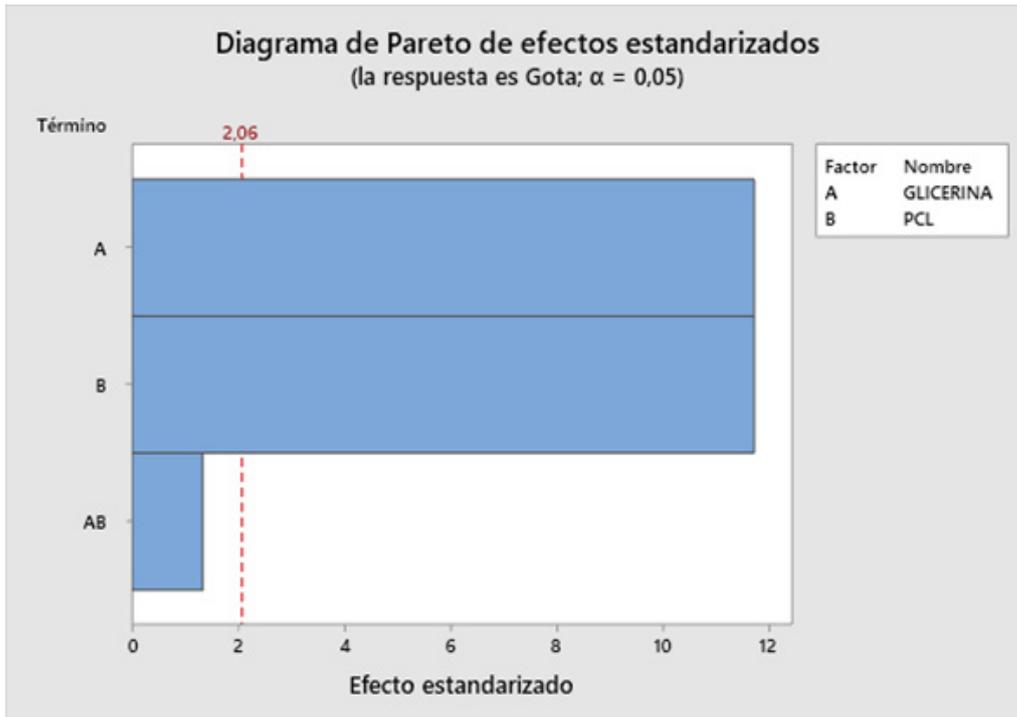


Figura 5: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la prueba de la gota de agua

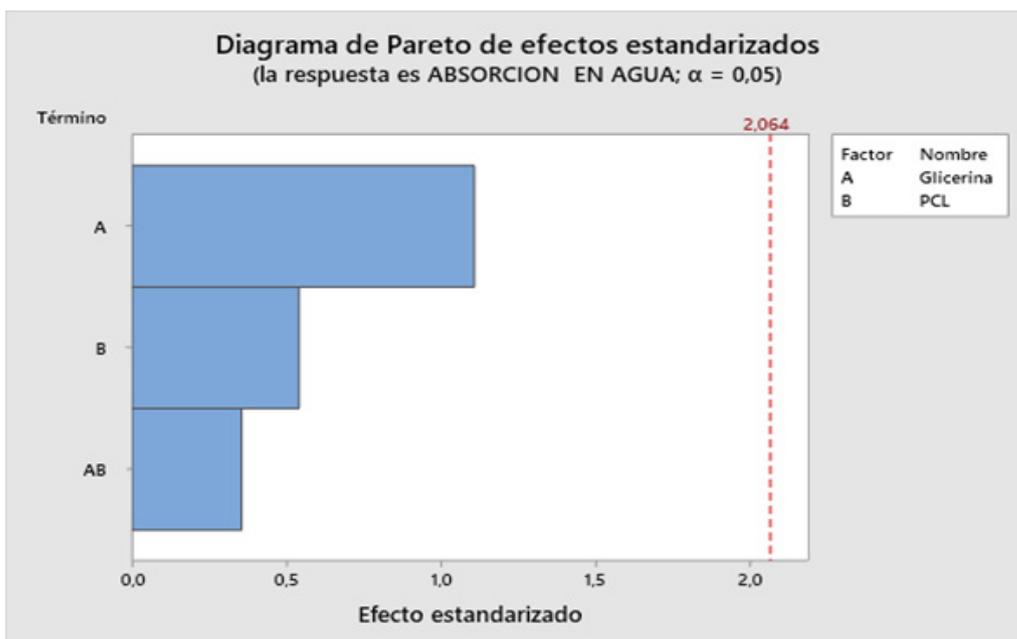


Figura 6: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para Absorción en agua

3.4. Análisis de resultados de las pruebas ópticas de la película biodegradable

Análisis de espectroscopia infrarroja

En la posición $2940,6\text{cm}^{-1}$ presenta un estiramiento asimétrico del CH_2 ; en la banda $2869,5\text{ cm}^{-1}$ existe un estiramiento simétrico del CH_2 . En la posición $1745,9\text{cm}^{-1}$ está presente el cloroformo, a lado de esta banda está ubicada la $1724,3\text{ cm}^{-1}$ donde muestra un estiramiento carbonílico propio del almidón-celulosa, así como en la posición $1243,6\text{ cm}^{-1}$ un enlace C-O y C-C en la fase cristalina y $1193,0\text{ cm}^{-1}$ un estiramiento asimétrico de COC en la posición $1143,9\text{ cm}^{-1}$ y un estiramiento OC-C en el pico $1171,7\text{ cm}^{-1}$. Adicional a esto, se observó un pico de $3382,5\text{ cm}^{-1}$ que corresponde a una tensión ejercida por un grupo hidroxilo y en la posición $1641,6\text{ cm}^{-1}$ que concierne a agua retenida en el proceso de obtención del almidón-celulosa. [23,24].

Opacidad

Para determinar estadísticamente los factores que tienen un efecto significativo en la opacidad de la película. Se elaboró un diagrama de Pareto de efectos

estandarizados, tomando un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$), como variable de respuesta los resultados del análisis con espectrofotómetro obtenidos en el laboratorio, y como factores a estudiar la glicerina (A), PCL (B), y la combinación de ambos (AB). En la Figura 8 se observa que ninguno de los factores excede la línea de significancia, lo cual indica estadísticamente que ningún factor afecta de manera significativa a la opacidad de la película.

3.5. Análisis de resultados de las pruebas biodegradables de las películas biodegradables.

En la Figura 9 se observa la gráfica que relaciona el peso en gramos que tuvieron las 12 formulaciones en un periodo de 15 días. Se evidencia que existe una tendencia de degradación ya que pierde peso a medida que pasa el tiempo. Tomando en cuenta estos resultados, podemos suponer que la biodegradación continuará hasta llegar al punto de una descomposición completa de las películas.

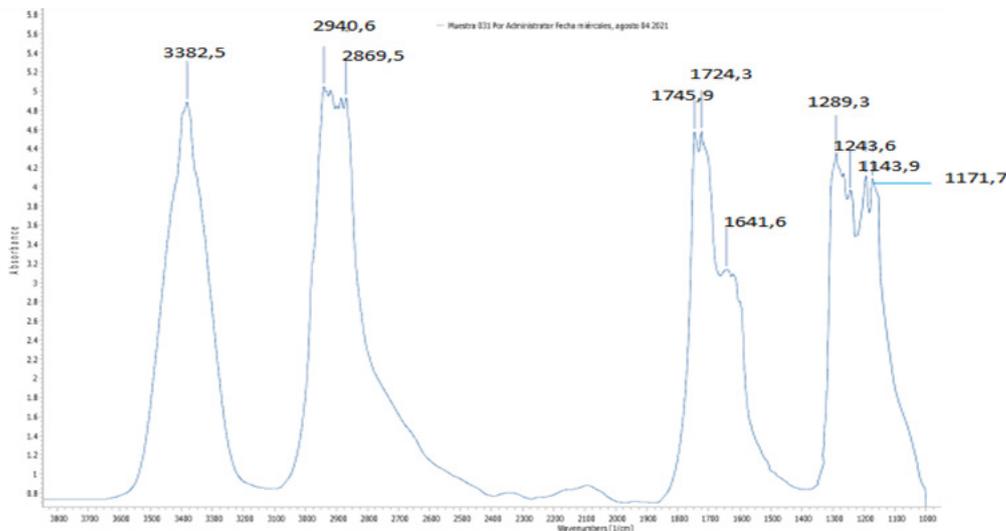


Figura 7: Análisis FTIR de la película biodegradable

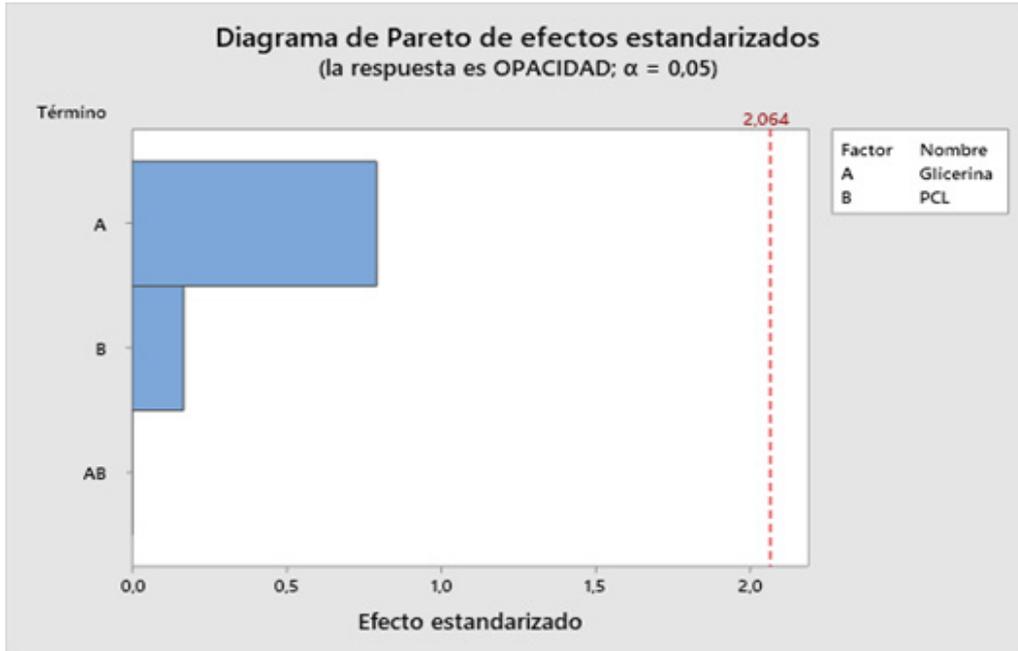


Figura 8: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de la opacidad.

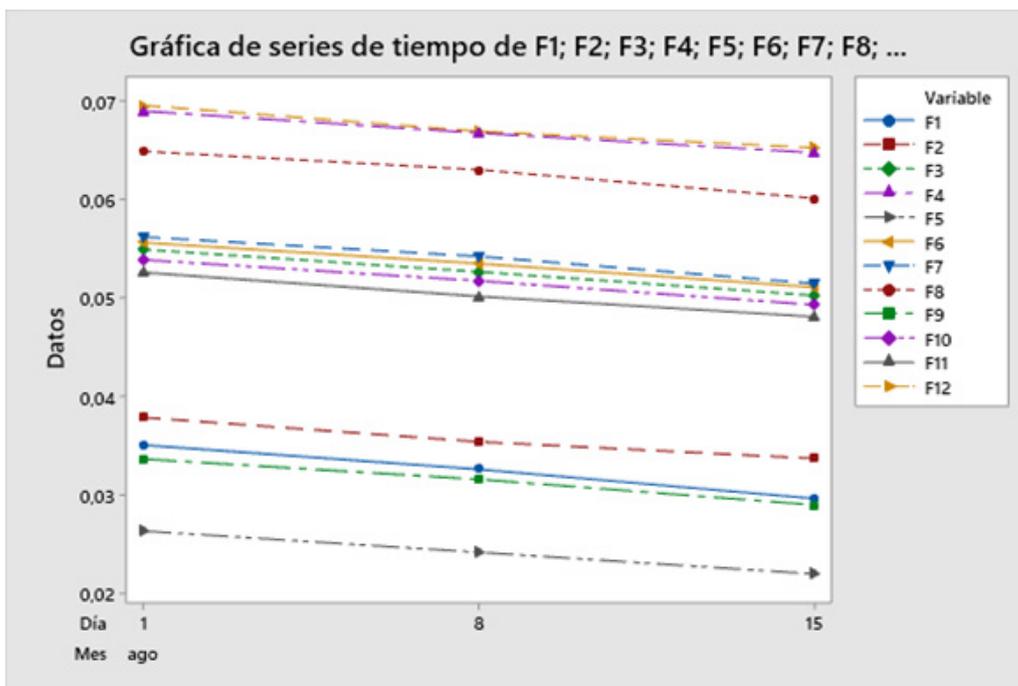


Figura 9: Análisis de degradación de la película biodegradable.

4. DISCUSIÓN

Los espesores de las muestras, en la gran mayoría, correspondientes a las 12 formulaciones, no mostraron diferencias significativas en comparación al plátano macho [25] y a su vez se encuentra cierta similitud con respecto a las respuestas cuantitativas con todas las formulaciones a excepción de la F5

[15]. Por otro lado la solubilidad también muestra similitud con los obtenidos durante esta investigación García y col., [26] ya que a medida que aumenta la cantidad de glicerina se convierte en un factor decisivo en la solubilidad de la muestra y que afecta de manera significativa influyendo simultáneamente en la biodegradabilidad, señalando una

ventajosa oportunidad cuando se requiere como materiales de empaque [15].

La permeabilidad al vapor de agua o PVA en la gran mayoría de formulaciones en la que contenían la menor cantidad de PCL fueron mayores convirtiendo a la glicerina y PCL en factores determinantes para esta propiedad [15], sin embargo, las muestras que solamente tenían glicerina, fueron similares a las reportadas por Jiménez y col., [11]. Cabe recalcar que esta propiedad es de suma importancia en la elaboración de biopolímeros puesto que se busca avances significativos en las propiedades mecánicas por que permiten conservar en mejor forma cualquier tipo de alimento [26]. Teniendo presente como indicativo su hidrofobicidad, se realizó la prueba en las todas las formulaciones, observando así la cantidad de agua absorbida durante un periodo de tiempo de 5 s, dichos datos mostraron cierta similitud en cuanto a las formulaciones que contenían glicerina y PCL, por lo que se complementa que la cantidad de glicerina y PCL afecta en la hidrofobicidad reflejada por la prueba de la gota de agua [11]. Por otro lado, los datos referentes a la absorción en agua indican similitud, exponiendo que a medida que se incrementa el PCL la absorción en agua disminuye, sin embargo también interfiere en esta disminución la composición de la cáscara de plátano verde donde se ve involucrada la amilosa, por su capacidad de crear estructuras cristalinas y compactas y capas externas capaces de restringir el paso de agua [28]. Adicional, en cada una de las películas mostraron partículas de color blanco en su superficie lo que corresponde a la presencia de celulosa en la muestra, comprobando que interfiere

con la opacidad al igual que el PCL, siendo similares a los reportados en las películas biodegradables con almidón de plátano macho [11]. Con respecto a la biodegradabilidad, en cada una de las formulaciones, se observa la tendencia a la descomposición, siendo esta progresiva y en aumento mostrando similitud con Abarca y col., [17] y reconociendo que el hecho de poseer almidón-celulosa y PCL es un indicativo de biodegradabilidad [5].

5. CONCLUSIONES

Debido a la gran cantidad de residuos de plátanos generados en Ecuador, se propuso un método para la extracción del almidón-celulosa como lo es la hidrólisis básica dando apertura a la elaboración de biopolímeros a partir de residuos no aprovechados y por ende convirtiéndose en una atrayente alternativa en la elaboración de bioplásticos.

En cuanto a las propiedades físicas, se cumplió con el espesor requerido por la norma NTE INEN 2636:2012 para considerarse película biodegradable y la solubilidad mostró efectos significativos en cada uno de sus factores. En las pruebas mecánicas, la PVA mostró un nivel de significancia en sus dos factores pero no en la combinación de ambos y la mejor tensión fue en la formulación 12 con 9,26 MPa. En las pruebas ópticas, la opacidad no reveló diferencias significativas en cada uno de los factores y en el análisis FTIR se observó la presencia de PCL, cloroformo y almidón-celulosa en los picos 1289; 1724,3 y 1745 cm^{-1} respectivamente. En las pruebas funcionales, la prueba de la gota de agua mostró un nivel de significancia en sus dos factores pero no en la combinación de ambos y la absorción de agua no refleja

muestras significativas en cuanto a sus factores; y en cuanto a su degradación se reflejó una pérdida de peso progresiva en un lapso de 15 días.

La mejor formulación dependerá de la aplicación a darse. En el caso de fundas plásticas conviene utilizar las formulaciones que más cantidad de PCL posean como lo son F4, F8 y F12 porque se comprobó un incremento significativo en alguna de sus propiedades mecánicas, funcionales y físicas.

Referencias bibliográficas

- Guerrero, A., Aguado, P., Sánchez, J., & Curt, M. (2016). Los residuos del cultivo de plátano en Ecuador podrían cubrir el 10% de su demanda de bioetanol. *Revista Técnica de Medio Ambiente RETEMA*, 2
- Amaya, J. B. (2019). Estudio de la dosificación del almidón extraído del banano en un polímero de tipo termoplástico. *Rev. Colomb. Quim.*, pp. 43-51. doi:<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n1.74469>
- Báez, J. (2006). Poli (e-caprolactona), un polímero degradable: síntesis por triisopropóxido de aluminio Al(OiPr)₃ como iniciador. *Educ. Quím.* pp. 458-463. doi:<https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2006.4.66028>.
- De Campos, A., Teodoro, K., Marconini, J., Mattoso, L., & Martins, S. (2011). Efecto del tratamiento de fibras sobre las propiedades del biocompuesto termoplástico de almidón / policaprolactona / sisal. Efeito do tratamento das fibras nas propriedades do biocompósito de amido termoplástico/policaprolactona/sisal. *Laboratorio Nacional de Nanotecnología para Agronegocios, Embrapa - São Carlos, Brasil*. Obtenido de <https://www.scielo.br/j/po/a/47Z49d-VxKqJTwxDSxsFbjHM/?lang=pt>
- Chapuel, Y., & Reyes, X. (2019). OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE LOS ALMIDONES DE SEMILLA DE AGUACATE (*Persea americana* Mill) Y BANANO (*Musa acuminata* AAA) PARA EL RECUBRIMIENTO DE PAPAYA. OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE LOS ALMIDONES DE SEMILLA DE AGUACATE (*Persea americana* Mill) Y BANANO (*Musa acuminata* AAA) PARA EL RECUBRIMIENTO DE PAPAYA. *UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL, GUAYAQUIL.. Cancer Res*, 70(6), 2406-2414. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-09-3929.
- Montoya, J., Dumar, Q., & Lucas, J. (2013). Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata* AAA). *Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ciencias Agroindustriales, Universidad del Quindío, Colombia.*, 11-21. doi:<http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n1.38814>
- Cárdenas, M. (2018). EXTRACCIÓN DE ALMIDON A PARTIR DE RESIDUOS DE BANANO (MUSA PARADISIACA) PARA LA ELABORACIÓN DE UN BIOPOLÍMERO. EXTRACCIÓN DE ALMIDON A PARTIR DE RESIDUOS DE BANANO (MUSA PARADISIACA) PARA LA ELABORACIÓN DE UN BIOPOLÍMERO. *UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA, Cuenca*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16241/1/UPS-CT007893.pdf>
- Santander, K. (2018). "INTRODUCCIÓN DE UN HIDROLIZADO

- LÍQUIDO DE GALLINAZA COMO FERTILIZANTE EDÁFICO Y ESTIMULADOR DEL CRECIMIENTO RADICULAR”. “INTRODUCCIÓN DE UN HIDROLIZADO LÍQUIDO DE GALLINAZA COMO FERTILIZANTE EDÁFICO Y ESTIMULADOR DEL CRECIMIENTO RADICULAR”. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, Lima. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3549/santander-hidalgo-candia-kharolyn-elizabeth.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guerrón, M. (2016). EVALUACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE UN BIOPOLIMERO A PARTIR DEL HONGO *Ganoderma australe*. EVALUACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE UN BIOPOLIMERO A PARTIR DEL HONGO *Ganoderma australe*. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, Quito. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6860/1/TUCE-0017-0017-2016.pdf>
- Pozo, L. (2019). “Extracción y caracterización del almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca*) producido en el sector Untal, parroquia El Chical, y su potencial uso como aditivo en la elaboración de pan blanco”. “Extracción y caracterización del almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca*) producido en el sector Untal, parroquia El Chical, y su potencial uso como aditivo en la elaboración de pan blanco”. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI, Tulcán. Obtenido de <http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/869/1/001%20Extracci%20c%20b%20y%20caracterizaci%20c%20b%20del%20almid%20c%20b%20de%20pl%20c%20al%20tano.pdf>
- Jiménez, A., Hernández, K., Collahuazo, Y., Avilés, R., Pino, J., & García, M. (2019). PELÍCULA COMESTIBLE A PARTIR DE CÁSCARA DE PLÁTANO MACHO (*MUSA PARADISIACA* L.). *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 49-57. Obtenido de <https://www.revcitecal.iiiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/76/64>
- Contreras, J., & al., e. (2013). MEJORAS DE LAS PROPIEDADES DE FILMS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALMIDÓN POR MEZCLA CON POLICAPROLACTONA (PCL). MEJORAS DE LAS PROPIEDADES DE FILMS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALMIDÓN POR MEZCLA CON POLICAPROLACTONA (PCL). Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33913/Tesina%20Jessica%20final.pdf;jsessionid=F5E12E0CC0631041F7B9B9D231DDF20B?sequence=1>
- Navarro, A. (2018). DESARROLLO DE PELÍCULAS BICAPA A BASE DE ALMIDÓN TERMOPLÁSTICO (TPS) Y POLÍMEROS HIDROFÓBICOS CON SORBATO DE POTASIO COMO AGENTE INTERFACIAL. DESARROLLO DE PELÍCULAS BICAPA A BASE DE ALMIDÓN TERMOPLÁSTICO (TPS) Y POLÍMEROS

- HIDROFÓBICOS CON SORBATO DE POTASIO COMO AGENTE INTERFACIAL. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá D.C. Obtenido de <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/4132/ESTUDIO%20DE%20PEL%C3%8DCULAS%20BICAPA%20CON%20ADHERENTE.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Averous, L., Moro, L., Dole, P., & Fringant, C. (2013). Properties of thermoplastic blends: starch-polycaprolactone. *Plastics Design Library*, 109-128. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-2834-3.00006-9>
- Anchundia, K., Santacruz, S., & Coloma, J. (2016). Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (*Musa Paradisiaca*). *Revista Chilena de Nutrición*. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182016000400009>
- Collazo, S., & et, a. (2013). FILMS BIODEGRADABLES A BASE DE ALMIDÓN DE MAÍZ Y POLICAPROLACTONA: EFECTO DEL ÁCIDO CÍTRICO COMO AGENTE DE ENTRECruzAMIENTO. FILMS BIODEGRADABLES A BASE DE ALMIDÓN DE MAÍZ Y POLICAPROLACTONA: EFECTO DEL ÁCIDO CÍTRICO COMO AGENTE DE ENTRECruzAMIENTO. Departamento Tecnología de Alimentos-Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n 46022, Valencia, Spain, Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33929/TFM%20Sofia%20Collazo.pdf;sequence=1>
- Abarca, F., & Hidalgo, D. (2021). OBTENCIÓN DE PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE COLÁGENO (*Gallus gallus domesticus*) Y ALMIDÓN (*Musa balbisiana*) PARA EL RECUBRIMIENTO DE FRUTAS. OBTENCIÓN DE PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE COLÁGENO (*Gallus gallus domesticus*) Y ALMIDÓN (*Musa balbisiana*) PARA EL RECUBRIMIENTO DE FRUTAS. Universidad de Guayaquil, Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/re-dug/53887/1/BINGQ-IQ-21P03.pdf>
- Debeaufort, F., Quezada-Gallo, J., & Voilley, A. (1998). Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr.*, 299-313.
- Joaqui, D., & Villada, H. (2013). PROPIEDADES ÓPTICAS Y PERMEABILIDAD. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustria*, 59-68. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11nspe/v11nespa07.pdf>
- Núñez, A. (2014). OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL COLÁGENO DE LAS PATAS DE POLLO. OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL COLÁGENO DE LAS PATAS DE POLLO. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, Quito. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2879/1/T-UC E - 0 0 1 7 - 9 0 . p d f>
- Ponce, R. (2015). ELABORACIÓN DE PLACAS RÍGIDAS BIODEGRADABLES, POR MOLDEO EN PRENSA, A PARTIR DE CORTEZAS DE PALMITO (*BACTRIS GASIPAES*), CON ALMIDÓN ACETILADO DE YUCA (*Manihotesculenta*) IMPREGNADO. ELABORACIÓN DE PLACAS RÍGIDAS BIODEGRADABLES, POR MOLDEO EN PRENSA, A PARTIR

- DE CORTEZAS DE PALMITO (BACTRIS GASIPAES), CON ALMIDÓN ACETILADO DE YUCA (Manihotesculenta) IMPREGNADO. Escuela Politécnica Nacional, Quito DM. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11956/1/CD-6603.pdf>
- Granda, J., & Ramos, Y. (2019). "ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y DEFORMACIÓN DE BIOPLÁSTICOS OBTENIDOS A PARTIR DE ALMIDÓN DE SOLANUM TUBEROSUM A DIFERENTES PORCENTAJES DE PLASTIFICANTE". "ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y DEFORMACIÓN DE BIOPLÁSTICOS OBTENIDOS A PARTIR DE ALMIDÓN DE SOLANUM TUBEROSUM A DIFERENTES PORCENTAJES DE PLASTIFICANTE". UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO, Trujillo. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/13393/GRANDA%20S%20C%20Jorge%20Jeyson%20RAMOS%20CONTRERAS%20Yenny%20Merly.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Elzein, T., Nasser, M., Delaite, C., Bistac, S., & Dumas, P. (2003). FTIR study of polycaprolactone chain organization at interfaces. *Journal of Colloid and Interface Science*, 381–387. doi:10.1016/j.jcis.2004.02.001
- Nishida, J., Shigeto, S., Yabumoto, S., & Hamaguchi, H. (2012). Acoplamiento anarmónico de las vibraciones de CH-stretch y CH-bend del cloroformo según lo estudiado por espectroscopia de electroabsorción de infrarrojo cercano. *La Revista de Física Química*, 137. doi:DOI: 10.1063 / 1.4770264
- Zamudio-Flores, Vargas-Torres, Gutiérrez-Meraz, & Bello-Pérez. (2010). CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE ALMIDONES DOBLEMENTE MODIFICADOS DE PLÁTANO. *Agrociencia*, 283-295. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/302/30215552004.pdf>
- García, A., Pinzón, F., & Lucas, A. (2015). PROPIEDADES FÍSICAS Y ÓPTICAS DE PELÍCULAS A BASE DE ALMIDÓN DE PLÁTANO GUAYABO (Musa paradisiaca L.). *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 127- 132. Obtenido de <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/350/300>
- Seyed, H., Masoud, R., Mojgan, Z., & Farhid, G. (2013). Preparation and functional properties of fish gelatin-chitosan blend edible films. *pubmed.gov*. doi:10.1016/j.foodchem.2012.09.081.
- ARRIETA, A., DURANGO, L., & ARIZAL, E. (2018). Estudio de las propiedades absorbentes de un biopolímero a base de almidón de yuca (Manihot esculenta Crantz). *Espacios*, 15. Obtenido de <http://www.revistaespacios.com/cited2017/cited2017-15.pdf>