

Obtaining biodegradable films through the management of organic waste containing starch and chitosan

Jonathan Almirón, Mg.¹, Belinda Chavez, Ing.¹ y Francine Roudet, Dr.²

¹Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, jalmiron@unsa.edu.pe, bchavezcr@unsa.edu.pe

²University of Lille, France, francine.roudet@univ-lille1.fr

Abstract– In this research work a biodegradable polymer is obtained from the mixture of potato starch with chitosan, obtained from the squid pen. The proportion of chitosan and starch was investigated by mixing different weight percentages of starch and chitosan, to determine the mechanical characteristics, such as the tensile and biodegradability test.

Starch films and chitosan films were prepared to evaluate their mechanical properties separately from which a maximum result of 10.17 MPa for starch films and 46.766 MPa for chitosan films was obtained. While the starch-chitosan compound had a maximum resistance of 24.59 MPa. With these results we can indicate that starch improves the properties of chitosan films. The mechanical properties of the starch-chitosan compound is superior to that of some conventional plastics, such as in comparison to low density polyethylene having a resistance of 17.3 MPa.

Keywords: biodegradable polymers, starch, chitosan

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.402>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Obtaining biodegradable films through the management of organic waste containing starch and chitosan

Obtención de películas biodegradables mediante la gestión de residuos orgánicos que contienen almidón y quitosano

Jonathan Almirón, Mg.¹, Belinda Chavez, Ing.¹ y Francine Roudet, Dr.²

¹Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, jalmiron@unsa.edu.pe, bchavezcr@unsa.edu.pe

²University of Lille, France, francine.roudet@univ-lille1.fr

Abstract:- *In this research work a biodegradable polymer is obtained from the mixture of potato starch with chitosan, obtained from the squid pen. The proportion of chitosan and starch was investigated by mixing different weight percentages of starch and chitosan, to determine the mechanical characteristics, such as the tensile and biodegradability test.*

Starch films and chitosan films were prepared to evaluate their mechanical properties separately from which a maximum result of 10.17 MPa for starch films and 46.766 MPa for chitosan films was obtained. While the starch-chitosan compound had a maximum resistance of 24.59 MPa. With these results we can indicate that starch improves the properties of chitosan films. The mechanical properties of the starch-chitosan compound is superior to that of some conventional plastics, such as in comparison to low density polyethylene having a resistance of 17.3 MPa.

Key words: *biodegradable polymers, starch, chitosan.*

I. INTRODUCCION

Durante las últimas décadas, el consumo masivo de materiales poliméricos, en especial los plásticos se han venido incrementando ya sea por su durabilidad, su bajo costo e inertes en presencia de microbios [1]. Lo que ha traído como consecuencia el incremento inherente en la cantidad de desechos plásticos [2], lo cual está ocasionando una grave contaminación ambiental en ecosistemas, océanos, lagos, suelos, etc.

Se estima que se han acumulado 150 millones de toneladas de plásticos en los océanos del planeta y el problema se ha agravado por la sobrecargada gestión de residuos y sistemas de reciclaje que no pueden hacer frente al aumento de la producción de los plásticos [3]. La contaminación marina ocasionada por los plásticos tiene consecuencias sobre el medio ambiente y la biodiversidad y representa un riesgo potencial para la seguridad alimentaria y la salud humana [4]. Así mismo existen muchos reportes de diversos medios, de daños y muerte en animales como aves y mamíferos marinos, estimando que el

30% de los peces de los océanos del mundo tienen pedazos de plástico en su estómago, lo cual influye con su digestión. [5]

La eliminación de materiales plásticos es una preocupación global, por lo que se dieron varias propuestas para reducirlos, entre ellos está el reciclaje, la incineración, el composteo, degradación ambiental y biodegradación. Una de las técnicas que se está estudiando es la biodegradación la cual busca trabajar con materiales plásticos biodegradables.

La biodegradación es un proceso de degradación química llevado a cabo por agentes biológicos (enzimas, bacterias y microorganismos) y en presencia de oxígeno, agua y sales minerales de cualquier otro elemento produce una fragmentación de los polímeros [6]. En concreto, la biodegradación es producto de la exposición ambiental que implica la acción de microorganismos y tiene como consecuencia una reducción del grado de polimerización, así como la degradación del polímero en fragmentos orgánicos simples [7]. Algunos ejemplos de polímeros biodegradables naturales son el almidón, celulosa, quitosano, proteínas, queratina, colágeno, Poliláctico, etc. El almidón se considera actualmente como uno de los principales materiales biodegradables con mayor aplicación.

El almidón es una mezcla de dos polisacáridos; uno lineal (amilosa) y otro ramificado (amilopectina) que se encuentran agrupados en la forma de gránulos parcialmente cristalinos. La cantidad de amilosa y amilopectina dependerá de la fuente de origen [8]. Además de ser un termoplástico, tiene características fuertemente hidrofílica, de bajo costo, no tóxico y de alta disponibilidad [9], puede utilizarse como aditivo biodegradable o material de sustitución en plásticos tradicionales. Este compuesto acelera la degradación o la fragmentación de las cadenas de los polímeros sintéticos, la acción microbiana consume al almidón, creando poros en el material, que pueden llevar a su rotura [7].

Podemos encontrar almidón en una gran variedad de productos naturales como el arroz, trigo, papa, yuca, maíz, etc. Aunque se sabe por varias investigaciones, que el almidón tiene excelentes propiedades, pero sus aplicaciones son limitadas

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.402>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

debido a sus pobres propiedades de barrera de humedad (hidrófilos), fragilidad y baja resistencia a la tracción y además de ser frágiles lo que limita su procesamiento y aplicación [10]. Para superar estos inconvenientes se mezcla el almidón con otros polímeros naturales o sintéticos para formar materiales compuestos [11]. Uno de los polímeros que presenta buena afinidad con el almidón es el quitosano, que, al mezclarse con el almidón, mejora sus propiedades como la fragilidad y propiedades de barrera de humedad.

El quitosano es un copolímero de cadena lineal compuesto por D-glucosamina y N-acetil-D-glucosamina que se obtiene mediante la desacetilación parcial de la quitina, además que es biodegradable, no tóxico, tiene actividad antimicrobiana y son hidrófobos [11]. Sin embargo, las películas plásticas realizadas de quitosano son frágiles y requieren plastificantes para reducir las fuerzas de fricción entre las cadenas de polímeros, la adición de polioles como glicerol o poli(etilenglicol), poli (alcohol vinílico), poliamidas, poli (ácido acrílico), queratina y celulosa, puede reducir este inconveniente [12]. En cuanto a la aplicación de estas películas plásticas son el desarrollo de envases y embalajes industriales [13]. Como también en envases antimicrobiano haciendo extender la vida útil de los alimentos [14].

Por lo tanto, en la presente investigación se propone utilizar desechos orgánicos generados del pelado de papas, pudiéndose obtener almidón. Otro desecho orgánico por utilizar será el quitosano, el cual se obtiene de la pluma de calamar. La mezcla de estos dos polímeros naturales almidón-quitosano permite presumir la obtención de películas plásticas biodegradables, considerando que no hay investigaciones previas donde se haya utilizado el quitosano obtenido de la pluma de calamar y el almidón obtenido de la cascara de la papa. El almidón y quitosano fueron caracterizados mediante las técnicas de Análisis Termogravimétrico (ATG), Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB), Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (EITF) y se compararon las propiedades mecánicas (máxima resistencia a la tracción y porcentaje de deformación) de las películas plásticas obtenidas de almidón, quitosano y de la mezcla entre ambos. Así mismo se realizó una evaluación de la biodegradabilidad de las películas plásticas de almidón-quitosano.

II. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

A. Materiales y proceso de obtención

Quitina: La quitina será obtenida de la pluma del calamar, este es un molusco cefalópodo cuya distribución geográfica se encuentra en gran abundancia a lo largo de toda la costa peruana. Las áreas con las concentraciones más altas de calamar es en la zona centro-norte de Perú y también pueden ser encontradas en el Golfo de California. Este molusco presenta dentro de su manto, una concha cornea transparente que se le denomina “pluma”, la cual se encuentra envuelta en el interior de los tejidos, tipo esquelético. Esta estructura proporciona consistencia al cuerpo blando del molusco debido a que contiene quitina quien es responsable de conferir dicha dureza. La quitina en la pluma de calamar está presente con un arreglo

molecular de cadenas en paralelo que se denomina β -quitina, que confiere ciertas propiedades como la tenacidad, flexibilidad y movilidad [15].

El proceso de obtención de la quitina fue realizado de la siguiente manera:

Acondicionamiento de la materia prima: Consistió en lavar con abundante agua los caparazones del calamar, para luego sacar las plumas de estas, y luego realizar la separación de la masa que haya quedado adherida a los mismos, después de haber sido previamente secado por 24 horas a una temperatura de 60°C, se procedió a moler hasta un tamaño de partículas adecuado para luego ser tamizado por la malla N°40.

Extracción de la proteína: Consistió en tratar las plumas de calamar con una solución acuosa diluida de NaOH al 5% (p/v) en una relación de 1:10, por un tiempo de 2 horas y a una temperatura de 100°C, con el fin de disolver la proteína, la masa obtenida fue lavada intensamente con agua destilada hasta llevarla a un pH neutro, a este proceso también se le denomina desproteinización.

Eliminación de las impurezas inorgánicas: En las plumas de calamar su principal componente inorgánico es el CaCO_3 , para eliminar este componente se realizó una descalcificación empleando una solución de HCl al 1N, en una relación de 1:15 por un tiempo de 3 horas a una temperatura ambiente de 25°C, este proceso también se le denomina desmineralización, al finalizar este tratamiento se obtuvo la quitina.

Quitosano: Para obtener el quitosano se realizó el proceso de desacetilación, que consistió en un lavado químico, con una solución de NaOH al 50% (p/v) en una relación de 1:20, por un tiempo de 3 horas, de la cual se obtuvo quitosano.

El grado de desacetilación del quitosano obtenido fue evaluado por medio de una valoración potenciométrica, registrándose un Grado de Desacetilación (GD) del 76%, un valor promedio para quitosanos trabajados a partir de pluma de calamar.

Almidón de la cascara de la papa: Para la obtención del almidón, se utilizó las cascara de la papa *Solanum tuberosum* o comúnmente llamada en Perú “papa rosada”. Las cascara fueron lavadas para eliminar restos de tierra u otras partículas que pueda afectar al proceso de obtención del almidón, luego estas fueron molidas hasta tener una pasta fina, para separar el almidón de la celulosa (afrecho o fibra) se utilizó papel filtro, obteniéndose una lechada.

La lechada obtenida, contenía proteínas, grasas y sustancias insolubles como la celulosa, esta lechada fue recepcionada en una probeta y fue dejada en reposo por 2 horas, después de este tiempo se volvió hacer un lavado y se dejó sedimentar por 24 horas, para luego separar el sobrenadante, mientras que el sedimento fue llevado a secado por un tiempo de 24 horas a una temperatura de 45°C.

B. Caracterización del almidón y quitosano

El almidón y quitosano fueron caracterizados por Calorimetría diferencial de barrido (CDB), Análisis Termogravimétrico (ATG) y Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (EITF).

Para determinar el perfil térmico, se utilizó un Calorímetro Q100 de TA Instrument. La temperatura de degradación y la estabilidad térmica fueron analizados en un analizador termogravimétrico STD Q600 y la posición de los grupos funcionales según la absorbancia que presenta la muestra de estudio se obtuvieron con un espectrómetro FT-IR PERKIN ELMER Spectrum 100.

C. Proceso de obtención de las películas plásticas

Para conocer el comportamiento del almidón y del quitosano se prepararon de forma separada películas plásticas de almidón y de quitosano. Posteriormente se prepararon la mezcla polimérica entre ambas. La evaluación mecánica que se realizó fue el ensayo de tracción, donde se determinó la resistencia máxima (σ_{max}) y deformación máxima (ϵ_{max}). Este ensayo fue realizado en una maquina INSTRON (Modelo 4302), la cual tiene acondicionada una celda de carga de 1 KN. Las probetas se evaluaron siguiendo parámetros de la norma ASTM D 882-91, con una velocidad de estiramiento de 50 mm/min.

C.1. Proceso de obtención de películas de quitosano

Para evaluar el comportamiento de las películas plásticas de quitosano se procedió a preparar películas de quitosano según la tabla I, de esta manera se determinará cuál de las mezclas proporciona buenas características mecánicas.

TABLA I.
COMPOSICIÓN DE LAS PELÍCULAS PLÁSTICAS DE QUITOSANO

Código	Quitosano	Plastificante
	%	%
Q1	1	0.3
Q2	1	0.6
Q3	2	0.3
Q4	2	0.6

Para preparar las disoluciones de quitosano al 1% y 2%, se tomó 0.25g y 0.5g de quitosano respectivamente, y finalmente se disolvió en ácido acético al 1%, con agitación constante por un tiempo de 20 minutos y a una temperatura de 40°C. Cuando el quitosano se disolvió completamente, se incorporó plastificante (glicerol USP al 99.5%) en concentraciones de 0,3% y 0,6%, para preparar estas concentraciones se pesaron 0.16g y 0.32g respectivamente, este se dejó homogenizar por 10 minutos más. Posteriormente se vertió 25mL de la disolución de quitosano sobre una placa Petri, con diámetro de 10cm, previamente limpiada con alcohol.

Las disoluciones de quitosano, se dejaron secar durante 72 horas a una temperatura ambiente de 25°C. Posteriormente las películas como se ven en la Fig. 1, se desprendieron con ayuda de una espátula y pinza.

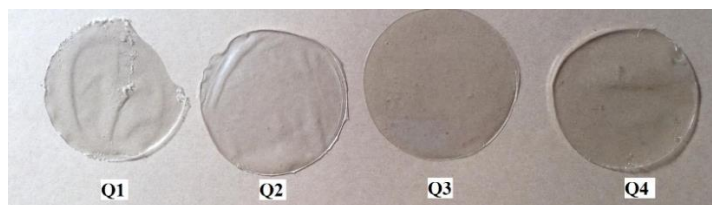


Fig. 1. Películas de Quitosano.

C.2. Proceso de obtención de películas de almidón

Para el proceso de obtención de las películas de almidón se elaboró según la tabla II.

TABLA II
COMPOSICIÓN DE LAS PELÍCULAS PLÁSTICAS DE ALMIDÓN

Código	Almidón (%)	Agua (%)	Plastificante (%)
A1	58.25	17.48	24.27
A2	61.22	18.37	20.41
A3	61.86	12.37	25.77
A4	65.22	13.04	21.74
A5	56.12	18.37	25.51
A6	59.14	19.35	21.51
A7	59.78	13.04	27.17
A8	63.22	13.79	22.99

La preparación consistió en pesar el almidón, agua y plastificante en un vaso, siguiendo el diseño que se indica en la tabla II, luego se procedió a realizar una primera mezcla de los componentes con ayuda de una bagueta, posteriormente la mezcla fue realizada en un mezclador brabender, en el rango de 78°C – 84°C, el tiempo de mezclado fue de 5 minutos. Durante el mezclado se controló el amperaje del equipo el cual durante sus primeros 90 segundos osciló entre 3.9A–4.6A, luego se estabilizó en 3.8A.

Finalmente, obtenido la pasta se procedió a obtener las láminas plásticas para la cual se utilizó una prensa con una temperatura de 60°C en el molde. Se aplicó una presión aproximada de 100 MPa con una duración de prensado de 10 minutos.

Las películas tuvieron una forma lisa como se ve en la Fig. 2.

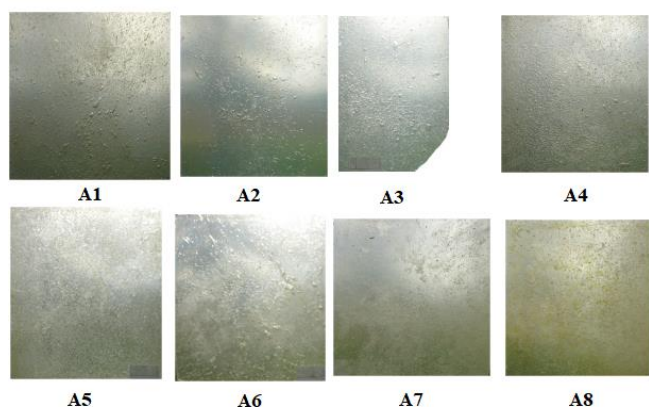


Fig. 2 . Películas plásticas de almidón

C.3. Proceso de obtención de películas almidón-quitosano

Para el proceso de obtención de películas de almidón-quitosano, se consideró la propuesta de los investigadores Y.X. Xu, K.M. Kim, M.A. Hanna, D. Nag [16], según la tabla III.

TABLA III
COMPOSICIÓN DE LAS PELÍCULAS PLÁSTICAS DE ALMIDÓN-QUITOSANO

Código	Relación de Almidón-Quitosano (g)	Composición		
		Solución de Quitosano	Solución de Almidón	Plastificante
		(2%, p/v)(ml)	(p/v)(ml)	(g)
AQ1	0.5:1	100	100 de 1%	0.75
AQ2	01:01	100	100 de 2%	1.00
AQ3	1.5:1	100	100 de 3%	1.25
AQ4	02:01	100	100 de 4%	1.50

Para preparar una solución de quitosano al 2% (p/v), se usó 10g de quitosano dispersado en 500ml de ácido acético (1%, v/v). En cuanto a la preparación de soluciones de almidón se utilizó 50g en 400ml de agua destilada para tener una solución de almidón al 25%

De estos 400ml de solución de almidón, se usó 100ml, y se pesó 0.5g para tener una concentración del 1%, y así sucesivamente, 1g, 1.5g y 2g de almidón para tener concentraciones de 2, 3 y 4% (p/v), luego se calentó y mezcló hasta la gelitización finalmente se enfrió a 25°C.C.

Para preparar las películas de almidón-quitosano se mezcló 100 ml de solución de quitosano al 2% con 100 ml de 1, 2, 3 y 4% de solución de almidón. El plastificante se añadió al 25% (p/p) del peso sólido total en solución y finalmente se pasaron a placas Petri, donde se secaron en una estufa a una temperatura de 25°C por 72 horas, las películas se observan en la Fig.3.

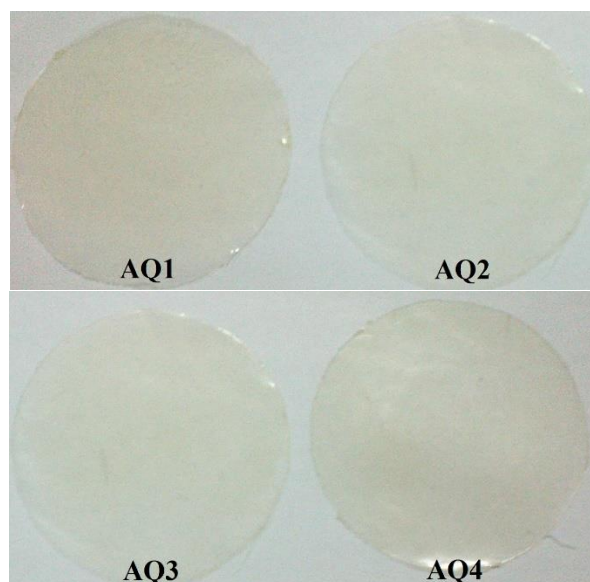


Fig. 3. Películas plásticas de Almidón-Quitosano

D. Biodegradabilidad de las películas plásticas de almidón-quitosano

Para el estudio de biodegradabilidad se prepararon probetas de almidón-quitosano, las cuales fueron pesadas inicialmente. Estas probetas fueron colocadas a 15 cm bajo tierra, cubierta con tierra de campo con 40% de humedad, pH 7.5 a una temperatura promedio de 24 °C durante 2, 4, y 8 semanas. Este se evaluó según la Norma ASTM D5338-98.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Caracterización del almidón y quitosano.

La CDB del almidón se presenta en la Fig. 4, donde se muestra dos picos de cristalización, un primer pico a 64.49°C y un segundo pico a 299.60°C. La investigación de Rungsiri Suriyatem reportó la cristalización del almidón entre 60°C y 160°C [17]. Posteriormente se muestra una intensa transición exotérmica que podemos llamarlos picos de fusión, el primer pico de fusión se presenta a 361.2°C y el segundo a 499.4°C.

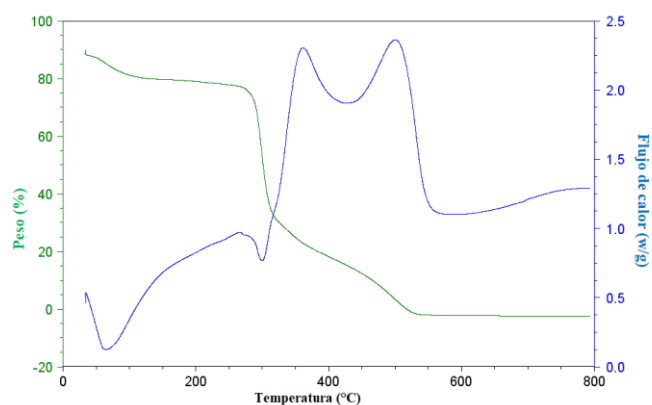


Fig. 4. CBD de Almidón

En la Fig. 5 se presenta el termograma de CDB del quitosano, donde se exhibe seis picos correspondientes a los efectos térmicos. Los efectos endotérmicos presentes son a una temperatura de 78.6°C, 369.2°C y 613.4°C. y los efectos exotérmicos son a 303.6°C, 482.2 y 570.0°C.

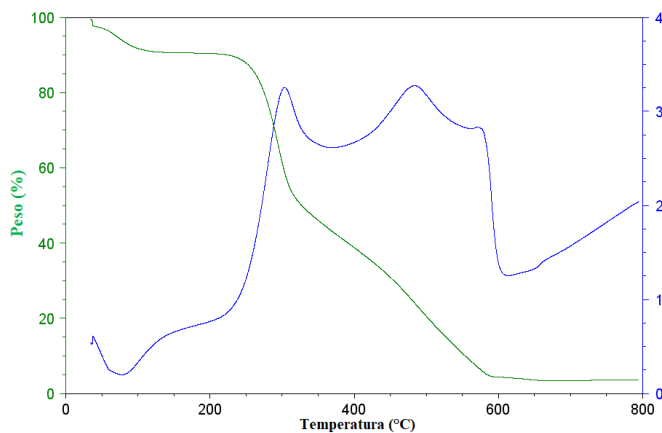


Fig. 5 . CBD de Quitosano

El ATG, para el almidón se ve en la Fig. 6, donde el almidón se descompone en una proporción entre el 97 y 99% a una temperatura entre 276° y 310°C, por debajo de 57°C se eliminan compuestos de bajo peso molecular y a 100°C se evapora el agua. La muestra es estable hasta 260°C, la máxima velocidad de descomposición ocurre a 307.95°C. En la primera etapa se pierde hasta un 60% del peso inicial, la segunda etapa se inicia por encima de los 300°C y finaliza a 581°C.

Este mismo comportamiento también ha sido reportado en otras investigaciones, donde se registró un rango de degradación en tres etapas, 25-160°C (evaporación del agua libre), 160-500°C (evaporación de agua) y 500-600°C (descomposición del almidón de maíz). Rungsiri Suriyatem reportó una degradación a 325°C [17], mientras Montoya R. indicó que la degradación se daba entre 292-330°C [18] y O.S. Lawal reportó la degradación entre 263°-358°C [19].

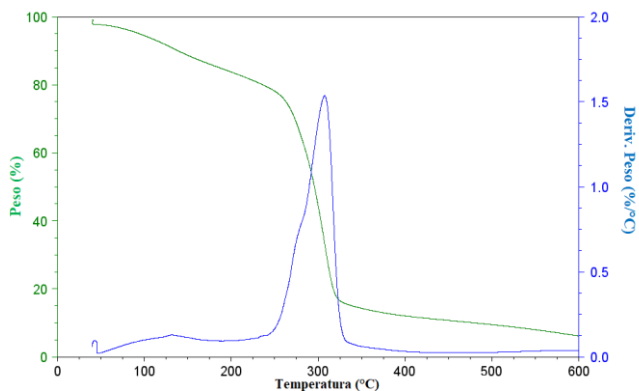


Fig. 6. ATG del Almidón

En la Fig.7, se observa el ATG del quitosano, donde la temperatura de inicio de la degradación termo-oxidativa de quitosano se observa a 135 °C, acompañado con una pérdida masiva de peso de hasta el 100% en torno a 600 °C. La segunda pérdida de peso significativa se observó entre 150°C y 250°C, este evento puede estar relacionado con la descomposición de unidades de amina. La tercera etapa de la pérdida de masa comienza en 300°C y continúa hasta 400°C debido a la degradación del grupo CH₂OH. Finalmente, el total de degradación del anillo de quitosano está cerca de 600°C.

Estos resultados fueron similares a lo reportado por J.F. Mendesa, donde obtuvieron una pérdida de peso entre 140°C-350°C y una degradación entre 350°C-500°C [10].

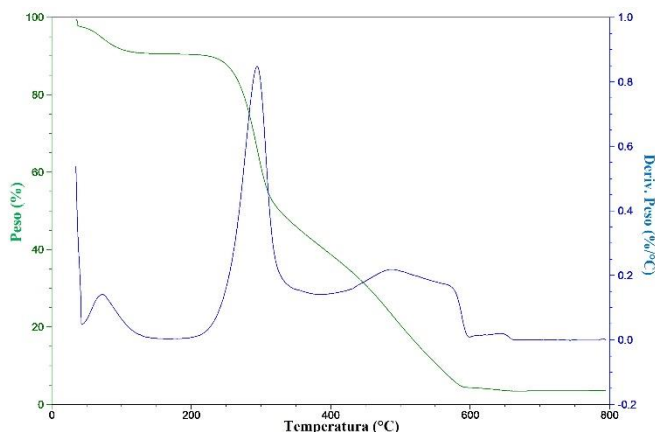


Fig. 7. ATG de Quitosano

En la Fig. 8 el espectrograma de infrarrojo del almidón, muestra una banda de absorción ancha y fuerte con absorbancias entre 3688 y 3742 cm⁻¹ que corresponden a los estiramientos de los grupos OH. La amplitud de la banda indica la presencia de puentes de hidrógeno intermoleculares. Las absorbancias entre 2982 y 3014 cm⁻¹ corresponden a las vibraciones de extensión C-H. A 2036 cm⁻¹ se encuentra una banda de flexión del OH del agua, lo cual indica que el polímero es higroscópico.

A 1580 y 1506 cm⁻¹ están las vibraciones de flexión C-H. Y a 1269 y 1182 cm⁻¹ se observa una fuerte banda con tres picos, la cual es característica de los polisacáridos y es atribuida a las deformaciones de tensión del C-O-C y a flexión del OH, porque la estructura del almidón presenta interacciones C-O con diferente ambiente químico (C-O-C, CH₂OH y COH).

Este espectrograma es similar a muchas investigaciones, teniendo una banda ancha a 3303.46 cm⁻¹ referente a los grupos OH. Los picos a 2933.2cm⁻¹ se atribuyen a la vibración de estiramiento de C-H, también una banda a 1650.77 cm⁻¹ se asignó al OH de agua reportado por Rungsiri Suriyatem [17], como también grupos OH en la región de 3000 cm⁻¹; así mismo, la banda de las vibraciones C-H a 2914 cm⁻¹ reportado por Alarcón Cavero [20] y grupos OH a los 3296.35 cm⁻¹, a los 2887.44 cm⁻¹ representa al enlace CH, reportado por Ramos Paola, Thawien Bourtoom, Huihua Liu y Lili Ren [21] [22] [11].

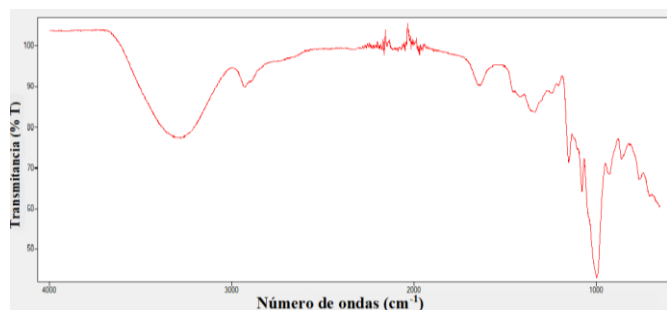


Fig. 8. EITF del almidón

En la Fig. 9 se observa el espectrograma de infrarrojo del quitosano, donde se observan las bandas de los grupos funcionales característicos de la molécula de quitosano, se hace evidente la aparición de la banda del grupo amino a 1555 cm^{-1} y se observa una mejor definición en las bandas de los grupos OH a 3338 cm^{-1} y N-H a 2873 cm^{-1} . También se aprecian las bandas del grupo C-H a 2330 cm^{-1} .

Estos datos mostraron una similitud reportada en otras investigaciones, donde se observa la banda del grupo de amino a 1621 cm^{-1} , y una mejor definición de las bandas de los grupos OH a 3447 cm^{-1} y N-H (amida II) a 3258 cm^{-1} , un pico a 1831.44 cm^{-1} debido al estiramiento de CO (amida I), y banda de estiramiento OH que se superpone al estiramiento N-H en la misma región entre $3500\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$, C-O a 1650 cm^{-1} reportado por Marinela Colina, Julia Menegotto y Huihua Liu [24] [25] [23].

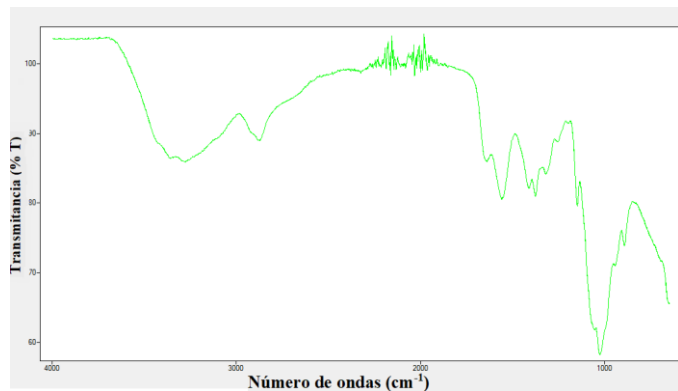


Fig. 9. EITF de quitosano

B. Ensayo de tracción de las películas plásticas

La tabla IV muestra la σ_{\max} y ϵ_{\max} . La σ_{\max} a la tracción de las películas de quitosano la presentó la película Q3 con un resultado de 46.77 MPa , la cual está conformada con un 2 % de quitosano y 0.3 % de glicerol. La ϵ_{\max} se mantuvo muy cercana entre cada película, siendo la ϵ_{\max} de 7.93% para la película plástica Q4.

La investigación realizada por Víctor L. obtuvo una σ_{\max} de $20\text{--}28\text{ MPa}$ [26], mientras Ángel López reportó un valor de 36 MPa y un ϵ_{\max} de 4% [27]. Estos datos pueden variar principalmente por el GD del quitosano.

Mientras que la σ_{\max} en el caso de las películas de almidón, la presentó la película A2 con un valor de 10.17 MPa , la cual está compuesta de 61.22% de almidón, 18.37% de agua y 20.41% de plastificante.

Estos resultados fueron similares a informes anteriores con una resistencia máxima a la tracción de 15 MPa , en este caso eran películas de almidón de arroz, reportado por Rungsiri Suriyatem [17], como también en otras investigaciones de almidón de maíz, presentó una resistencia máxima a la tracción de 10.7 MPa y un % elongación de 2.36%, reportado por O. Lopez [28]. Estos datos pueden variar un poco, por diferentes motivos, primero por el tipo de almidón y segundo por la cantidad de amilosa y amilopectina.

Si comparamos las películas de quitosano y de almidón, en cuanto a la resistencia a la tracción podemos decir que las películas de quitosano presentan una mayor resistencia a la tracción que las películas de almidón, en cuanto al % de elongación no varían mucho entre los datos de almidón como quitosano, esto puede ser por la cantidad de plastificante, ya que a las películas de almidón se adicione en mayor cantidad que en las películas de quitosano, entonces es posible que el plastificante juegue un papel importante en el proceso de elaboración de películas de almidón o quitosano, que haga que aumente o disminuya el porcentaje de elongación de estas. Es posible que si aumentamos en cierto % la cantidad de plastificante a las películas de quitosano aumente considerablemente el % de elongación ya que el quitosano es por sí, frágil y requiere plastificantes para reducir las fuerzas de fricción entre las cadenas de polímeros.

En cuanto a los resultados obtenidos de las películas almidón-quitosano, la resistencia a la tracción va aumentando mediante la adición de almidón, esto es atribuible a la formación de enlaces de hidrógeno intermoleculares entre OH del almidón y NH^{3+} de la cadena principal de quitosano. Las estructuras cristalinas ordenadas de las moléculas de almidón se destruyeron con el proceso de gelatinización, resultando en los grupos OH de ser expuesto para formar fácilmente enlaces de hidrógeno con NH^{3+} del quitosano, estos grupos amino (NH^{2+}) del quitosano se protonan a NH^{3+} en solución de ácido acético, reportado por Lili Ren [11].

El número de grupos hidroxilo aumentó con la proporción de almidón creciente en la solución formadora de película. En cuanto al % de elongación, tenemos como un máximo de 18% es decir una relación de 1:1 (almidón-quitosano), pero si seguimos adicionando la proporción de almidón, el % de elongación disminuye.

En cuanto a investigaciones referente a la resistencia a la tracción de diferentes películas de almidón ya sea de yuca, maíz, arroz, etc. con quitosano, se obtuvieron una resistencia máxima de 40.25 MPa aumentando la cantidad de almidón, pero el % de elongación disminuye, reportado por Y.X. Xu [16]. Estos datos pueden variar ya sea por el tipo de almidón, la cantidad de amilosa y amilopectina de este, como también de los diferentes grados de desacetilación del quitosano y el tipo de plastificante.

TABLE IV
RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS
PELICULAS DE ALMIDÓN, QUITOSANO Y ALMIDÓN-QUITOSANO.

Código	σ_{\max} (Mpa)	% ϵ_{\max}
Q1	27.99	5.21
Q2	22.99	7.04
Q3	46.77	6.01
Q4	25.01	7.93
A1	5.62	5.37
A2	10.17	4.71
A3	6.46	3.50
A4	7.96	4.78
A5	3.65	3.69
A6	5.78	4.41
A7	3.97	4.43
A8	4.48	4.53
AQ1	8.57	4.00
AQ2	13.60	18.00
AQ3	18.16	15.00
AQ4	24.59	12.00

C. Resultado del Estudio de la biodegradabilidad

Las muestras fueron retiradas y pesadas cada 7 días durante 2 meses, los resultados son los que se indican en la tabla V.

TABLE V
RESULTADOS DE LA BIODEGRADABILIDAD DE LAS
PELICULAS DE ALMIDÓN-QUITOSANO

Código	Peso				Degradación (%)
	Inicio	7 días	28 días	56 días	
AQ1	2.672	3.123	2.123	1.954	26.87
AQ2	2.263	3.345	1.956	1.456	35.66
AQ3	2.543	3.423	2.054	1.765	30.59
AQ4	2.124	3.433	1.845	1.435	32.44

A los 56 días de biodegradación se puede observar que la disminución del peso fue de 30 % promedio. Es importante mencionar que la velocidad de biodegradación dependerá mucho del área superficial de contacto de la muestra con el medio y de la cantidad de quitosano.

El almidón ayuda a los microorganismos a iniciar la degradación a un ritmo acelerado, al adicionar en mayor % quitosano es más difícil su biodegradación debido a que evita la absorción de moléculas de agua resistiendo así el proceso de degradación de las redes de almidón-quitosano, al comparar estos resultados con fuentes bibliográficas se logró ver la degradación de una mezcla entre almidón de maíz con quitosano, a los 120 días se determinó que existe la biodegradación del 100% del almidón de maíz, pero al ir

aumentando el % de quitosano solo tuvo una biodegradación de un 47,78% en 120 días [16].

La glicerina usada como plastificante en la elaboración de las películas de almidón-quitosano, tiene como función solvatar las moléculas de esta mezcla, dándole mayor estabilidad a las redes poliméricas que forman las películas y a su vez las protege en cierta medida al ataque de microorganismos y otros elementos, lo que implica que actúa como un aditivo antifúngico [27].

IV. CONCLUSIONES

Los resultados muestran que fue posible producir con éxito mezclas de almidón de papa con quitosano de las plumas de calamar. Estas mezclas presentaron buenas propiedades mecánicas y de biodegradabilidad.

Las películas plásticas de almidón-quitosano obtenidas presentan propiedades mecánicas comparables a los polímeros termoplásticos, como el polietileno de baja y de alta densidad cuyas resistencias se encuentran en el rango de 7.6 - 34.6 MPa.

El estudio de la biodegradación de las películas plásticas de almidón-quitosano nos indica que en un tiempo de 8 semanas se puede alcanzar una degradación promedio del 30 %, lo cual vuelve a este material amigable al ambiente.

AGRADECIMIENTOS

A la Université de Lille por el soporte financiero, a la École Nationale Supérieure de Chimie de Lille y al profesor Jacky Lesage, Sophie Duquesne y Alejandro Silva por el apoyo brindado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Huihua, C. Deeptangshu S., Shin-ichi Yusa y M. O. Tade, «Preparation and characterization of sorbitol modified nanoclay with high amylose bionanocomposites.» *Carbohydrate Polymers* 85 (1), 97–104., 2011.
- [2] S. J. Huang, Polymer waste management-biodegradation, incineration and recycling, *J. Macromol Sci-Pure Appl. Chem* 32:593-597, 1995.
- [3] J. R. Jambeck, R. Geyer, C. Wilcox, T. R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan y K. Lavender Law, «Plastic waste inputs from land into the ocean.» *Science* 347 (6223), 768–771., p. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>., 2015.
- [4] L. G. Antão Barboza, A. Dick Vethaak, B. R. B.O. Lavorante, A.-K. Lundebye y L. Guilhermino, «Marine microplastic debris: an emerging issue for food security, food safety and human health. Mar.» *Pollut. Bull.* 133, 336–348, p. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.047>., 2018.
- [5] M. L. Bade y R. L. Wick, «Protecting crops and wildlife with chitin and chitosan.» de *Biologically Active Natural Products*. H.G. Cutler (Ed) ACS, Washington D. C., American Chemical Society, 1988, pp. 450-468.
- [6] D. Briassoulis, A. Mistriotis, N. Mortier y M. Tosin, «A horizontal test method for biodegradation in soil of bio-based and conventional plastics and lubricants.» *Journal of Cleaner Production* 242 (2020) 118392, 12 September 2019.
- [7] D. Aradilla Zapata, R. O. Pujol y F. Estrany Coda, «Polímeros biodegradables: Una alternativa de futuro a la sostenibilidad del medio ambiente.» *Técnicas Industriales* marzo 2012, 297: 76-80, p. 5, Noviembre 2010.

- [8] D. E. Melian Subiabre, *Ensayo Comparativo de Dos Metodologías de Extracción de Almidón de Papa usando Muestras de Diez Variedades Nativas de Chiloé y dos Variedades Comerciales.*, Valdivia – Chile: Universidad Austral de Chile, 2010.
- [9] Prabhakar M.N. y Jung-il Song, «Fabrication and characterisation of starch/chitosan/flax fabric green flame-retardant composites,» *International Journal of Biological Macromolecules*, p. 1, 6 July 2018.
- [10] J. Farinassi Mendes, R. Takehara Paschoalin, V. Brait Carmona, A. Sena Neto, A. C. P. Marques, J. Manoel Marconcini, L. H. C. Mattoso, E. Souto De Medeiros y J. E. Oliveira, «Biodegradable polymer blends based on corn starch andthermoplastic chitosan processed by extrusion,» *Carbohydrate Polymers* 137 (2016) 452–458, p. 7, 2 November 2015.
- [11] Lili Ren, Xiaoxia Yan, Jiang Zhou, Jin Tong y Xingguang Su, «Influence of chitosan concentration on mechanical and barrier properties of corn starch/chitosan films,» *International Journal of Biological Macromolecules* 105 (2017) 1636–1643, 2017.
- [12] I. Sotirios Arvanitoyannis, E. Psomiadou, A. Nakayama, S. Aiba y N. Yamamoto, «Edible films made from gelatin, soluble starch and polyols. Part 3,» *FoodChemistry*, 60(4), 593–604., 1997.
- [13] F. G. Torres García, *Desarrollo de envases y embalajes biodegradables y compostables para la mejora de la competitividad agroindustrial*, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), 2009.
- [14] P. Kumar Dutta, S. N. Tripathi, G. K. Mehrotra y J. Dutta, «Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications,» *Food Chemistry*, p. Food Chemistry 114 (2009) 1173–1182, 2008.
- [15] K. Shirai y G. L. I., «La quitina: ocurrencia, propiedades y aplicaciones,» *Hall G. M.*, pp. Ciencia 47(4), 317- 328., 1996.
- [16] X. X. Yixiang, K. Ki Myong, H. Milford A y N. D., «Chitosan–starch composite film: preparation and characterization,» *Industrial Crops and Products* 21, p. 8, 17 Marzo del 2004.
- [17] Rungsiri Suriyatem, R. A. Auras y Pornchai Rachtanapun, «Improvement of mechanical properties and thermal stability of biodegradable rice starch–based films blended with carboxymethyl chitosan,» *Industrial Crops & Products* 122 (2018) 37–48, 2018.
- [18] Ú. Montoya R., R. Zuluaga G. , C. Castro H. , L. Vélez A. y P. Gañán R. , «Potato starch films reinforced with cellulose nanofibrils from banana rachis,» *ResearchGate*, 2011.
- [19] M. L. W. M. K. O.S. Lawal, O. S. Lawal, M. Dieter Lechner y W. Michael Kulicke, «The synthesis conditions, characterizations and thermal degradation studies of an etherified starch from an unconventional source,» *Polymer Degradation and Stability* 93 (2008) 1520–1528, 2008.
- [20] Alarcón Cavero, Hugo Arturo y Arroyo Benites, «Evaluacion de las propiedades quimicas y mecanicas de biopolimeros a partir del almidón modificado de la papa,» *Rev Soc Quím Perú*. 82(3) 2016, 2016.
- [21] P. N. Meza Ramos, *Elaboracion de bioplasticos a partir de almidon residual obtenido de peladoras de papa y determinacion de su biodegradabilidad nivel de laboratorio*, Lima - Perú: Universidad nacional agraria la molina, 2016.
- [22] T. Bourtoom y M. S. Chinnan, «Preparation and properties of rice starch-chitosan blend biodegradable film,» *LWT - Food Science and Technology* 41 (2008) 1633e1641, 2008.
- [23] Huihua Liu, Raju Adhikari, Qipeng Guo y Benu Adhikari, «Preparation and characterization of glycerol plasticized (high-amylose) starch–chitosan films,» *Journal of Food Engineering* 116 (2013) 588–597, 2013.
- [24] M. Colina, . A. Ayala, D. Rincón, . J. Molina, J. Medina, R. Yncierte, J. Vargas y B. Montilla, «Evaluacion de los procesos para la obtencion quimica de quitina y quitosano a partir de desechos de cangrejos a escala polito e industrial,» *Revista Iberoamericana de Polimeros Colina et als*, vol. 15 (1), 2014.
- [25] J. M. Frick Pavoni, C. Leites Luchese y I. C. Tessaro, «Impact of acid type for chitosan dissolution on the characteristics and biodegradability of cornstarch/chitosan based films,» *International Journal of Biological Macromolecules* 138 (2019) 693–703, 2019.
- [26] V. G. Lauriano Souza , A. L. Fernando, . R. A. João Pires, P. Freitas Rodrigues, A. A. S. Lopes y F. M. Braz Fernandes, «Physical properties of chitosan films incorporated with natural antioxidants,» *Industrial Crops & Products*, 2017.
- [27] Á. López, J. Rivas, M. Loaiza y M. Sabino, «Degradación de películas plastificadas de quitosano obtenidas a partir de conchas de camarón (L.vannamei),» *Rev. Fac. Ing. UCV v.25 n.2 Caracas jun. 2010*, 2010.
- [28] O. V. López, M. A. García, M. A. Villar, A. R. Gentili, M. S. Rodriguez y L. E. Albertengo, «Thermo-compression of biodegradable thermoplastic corn starch films containing chitin and chitosan,» *LWT - Food Science and Technology* 57 (2014) 106-115, 2014.