

Evaluación de parámetros óptimos para mejorar la resistencia de biopolímero producido a partir de almidón: Revisión bibliográfica

Evaluation of optimal parameters to improve the resistance of biopolymer produced from starch: literature review

Anahí Vásquez¹ , Harold Ore² *, y Carlos Salazar³ 

RESUMEN

El creciente interés cada vez mayor en fuentes de energías renovables y biopolímeros ha llevado al desarrollo de varias alternativas para sustituir los plásticos tradicionales. El almidón aparece como una materia prima; sin embargo, los almidones nativos presentan algunas limitaciones básicamente asociadas a malas propiedades mecánicas y de estabilidad térmica. La búsqueda de literatura se realizó con la herramienta “Science Direct” y de manera narrativa. Los resultados mostraron que es necesario combinar el almidón con otros materiales poliméricos con el fin de producir un material con mejores propiedades mecánicas, como la resistencia al agua, mayor flexibilidad y resistencia al rompimiento, entre otras. Dando espacio a más investigaciones en determinación de parámetros óptimos de procesamiento de biopolímeros resistentes a distintos factores.

Palabras clave: Biopolímeros, mezclas con almidón

ABSTRACT:

The increasing interest in renewable energy sources and biopolymers has led to the development of several alternatives to replace traditional plastics. Starch appears as raw material; however, native starches have some limitations basically associated with poor mechanical properties and thermal stability. The literature search was performed with the “Science Direct” tool and in a narrative way. The results showed that it is necessary to combine starch with other polymeric materials in order to produce a material with better mechanical properties, such as water resistance, greater flexibility and resistance to breakage, among others. Giving space to more research in determining optimal parameters for processing biopolymers resistant to different factors.

Keywords: Biopolymers, starch blends

DOI: <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v8i1.112>

Recibido: 09/01/2020. Aceptado: 27/03/2020

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Frontera, Perú. Email: 2015103076@unf.edu.pe

² Universidad Nacional de Frontera, Perú. Email: Hore@unf.edu.pe

³ Universidad Nacional de Frontera, Perú. Email: Csalazar@unf.edu.pe

INTRODUCCIÓN

Gran parte del interés reciente en los biopolímeros se debe a la necesidad de disminuir el impacto ambiental de los polímeros sintéticos, pero su producción y consumo continúan siendo bajos. El almidón y el ácido poliláctico (PLA) completaron el 88 % del total de bioplásticos producidos en 2014 (Yu, Dean, y Li, 2006). Se estima que para el año 2020 el consumo de biopolímeros alcance el 12,6 % frente al 0,21 % en el año 2015 (European Bioplastics, 2015). Los beneficios ambientales y sociales del uso de los plásticos deben sopesarse frente a los problemas de durabilidad. El aumento de los residuos plásticos es un grave y creciente problema ambiental, pues recientemente presentan crecimiento insostenible: para rellenos sanitarios (22-43 %) y en los océanos (6-7 %) (Gourmelon, 2015; Katarzyna Leja y Lewandowicz, 2010; Vroman y Tighzert, 2009). Los biopolímeros derivados de polisacáridos y proteínas poseen estas características, pero tienen propiedades mecánicas pobres, no son tóxicos, tienen la capacidad de interacción con las células vivas y tienen bajos costos. El almidón es el polímero natural más utilizado en la producción de películas biodegradables (es abundante, barato, de gran disponibilidad y biodegradable en muchos entornos). A menudo, las mezclas de almidón y de polietileno se utilizan para producir bolsas biodegradables. El bioplástico, fabricado a partir de almidón comparte las características con los elaborados a través de derivados de petróleo. La mayor diferencia entre el plástico que actualmente se fabrica y el producido con base en almidón, es que el segundo es completamente biodegradable y no tóxico, una vez degradado puede usarse incluso como material de compostaje (abono). Esta ventaja proviene, precisamente, en el origen vegetal de la materia prima, lo que reduce nuestra dependencia del petróleo, que desde décadas domina nuestra sociedad.

Los biopolímeros basados en el almidón, como se producen a partir de recursos de bajos costos y con métodos de producción más sencillos, son más económicos que los de algunos polímeros sintéticos por lo que esta línea de trabajo es prometedora (Gross, 2002).

El almidón es un polímero con alto potencial de utilización en la síntesis de materiales biodegradables. Sin embargo, su uso tiene limitaciones debido a su baja resistencia a la humedad, baja procesabilidad e incompatibilidad con algunos polímeros hidrofóbicos. Por consiguiente, se han investigado estrategias para superar estas limitaciones incluyendo la modificación de la estructura del almidón, mezclas con otros polímeros biodegradables, uso de compatibilizantes para mejorar la adhesión interfacial entre el almidón y el polímero y la adición de fibras o arcillas reforzantes. Diversos métodos se han desarrollado para lograr modificar el almidón, por ejemplo, la modificación química del almidón por glucosilación y posterior transesterificación con el aceite de higuera original y modificada para obtener los

denominados poli-ol-glucósidos. Se propuso utilizar la reacción de glucosilación para dividir el almidón en unidades de monosacáridos. (Novo, 2009).

El interés de esta revisión bibliográfica es conocer sobre la mejora de la resistencia de biopolímero producido a partir de almidón ya que el desarrollo de plásticos biodegradables a partir de polímeros naturales abundantes en la naturaleza representa un reto debido al impacto ecológico que tendría la sustitución de plásticos derivados de petróleo por los obtenidos de estos materiales, los cuales son considerados como desechos. La principal ventaja que estos materiales presentan es la biodegradabilidad de sus componentes, lo cual, disminuye la acumulación de desechos en los basureros y la utilización de productos naturales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La búsqueda sistemática se realizó en las siguientes bases de datos: Scopus, ScienceDirect, Scielo, Springer. Identificando y clasificando los artículos más relevantes en el tema, los cuales fueron 25 trabajos. Fueron seleccionados según su relación y relevancia y para complementar la búsqueda en algunos temas más específicos se realizó una búsqueda narrativa.

Diseño

Para realizar la investigación se ha realizado una revisión sistemática de fuentes de información, dedicados al tema de la resistencia de biopolímero producido a partir de almidón.

Estrategias de Búsqueda

En primera instancia se realizó la búsqueda en Google Académico; de documentos y artículos científicos publicados por las diferentes revistas de contexto internacional; posteriormente los documentos y artículos de relevancia fueron remitidas a las páginas o buscadores correspondientes como son Science Direct, Springer, Scielo y Scopus. No se limitaron los años de búsqueda, pero si se limitó la lengua de los estudios realizados ya que tenían que estar en inglés o español.

Criterios de inclusión y exclusión

En la búsqueda de literatura gris se incluyó todo tipo de documentos aportados por las diferentes sociedades y asociaciones profesionales que habían hecho publicaciones acerca de los diferentes parámetros óptimos para mejorar la resistencia de biopolímero producido a partir de almidón. Respecto a las revisiones sistemáticas y los estudios científicos se aplicó como criterio de inclusión que los estudios realizados sobre las técnicas de extracción vayan orientadas al ámbito científico, es decir que sea técnicas

en las que se haya utilizado la experimentación. El principal criterio de exclusión fue que los artículos no incluyeran información sobre otras variedades de ajíes que no sean de los géneros buscados.

Extracción de Datos

Finalmente se seleccionaron 25 investigaciones que había estudiado la resistencia de biopolímero producido a partir de almidón. Para proceder a la selección se revisaron los abstract y en caso necesario los artículos completos con el fin de decidir si la información que contenían estaba o no relacionada con nuestro objetivo.

Análisis de los datos

El resultado de la información analizada se estructuró en 8 sub apartados: 2.1. Clasificación de los biopolímeros, 2.2. Almidón, 2.3. Gelatinización del almidón, 2.4. Tipo de almidones, 2.5. Estudio de la resistencia, 2.6. Materiales de relleno y de refuerzo, 2.7. Estudios Realizados a la Modificación del Almidón, 2.8. Obtención del biopolímero con almidón modificado. En la revisión sistemática se extrajo información sobre autoría, año, finalidad, fuentes de información, y conclusiones referentes al tema de investigación. En los estudios originales se extrajo información de los resultados realizados en los diferentes biopolímeros producidos a partir de almidón.

RESULTADOS

Clasificación de Los Biopolímeros

Tres clases de biopolímeros se pueden distinguir; los polímeros biodegradables a base de recursos renovables, los polímeros biodegradables basados en recursos de petróleo y los polímeros no biodegradables a base de recursos renovables Los biopolímeros han sido clasificados de acuerdo con su método de producción en (Herdman, 1993; Reddy, Vivekanandhan, Misra, Bhatia, Y Mohanty, 2013):

- Biopolímeros a partir de recursos renovables: los que son sintetizados naturalmente de plantas y animales, o totalmente sintetizados a partir de recursos renovables.
- Biopolímeros a base de petróleo: estos polímeros se sintetizan a partir de recursos del petróleo, pero son biodegradables al final de su funcionalidad.
- Biopolímeros a partir de fuentes mixtas: fabricados de combinaciones de materiales de base biológica y monómera derivados del petróleo.

En el presente artículo se clasificarán los biopolímeros naturales y sintéticos según su origen (Tabla 1 y 2).

Tabla 1. Clasificación de los polímeros naturales según su origen

Clasificación	Funcionalidad	Origen
Proteínas	Estructurales	Colágeno, Queratina, Elastina
	Funcionales	Enzimas, hormonas
Polisacáridos	Estructurales	Celulosa, Quitina
	Reserva	Almidón, Glucógeno
Ácidos nucleicos	Almacenamiento y expresión de la información genética.	ADN Y ARN

Nota: Recuperado de “Desarrollo de biopolímeros a partir de almidón de corteza de yuca (*Manihot Esculenta*)” de Valarezo Ulloa, 2012.

Tabla 2. Clasificación de los polímeros por su origen sintéticos.

Clasificación	Origen
Termoplásticos	Polietileno, Teflón, Poliestireno, Polipropileno, Poliéster, Poliuretano, Polimetilmetacrilato, Cloruro de vinilo, Nylon, Rayón, Celulosa, Silicona, Fibra de vidrio, etc.
Termostables	Cauchovulcanizado, Baquelita, Kevlar, Poliepóxido

Nota: Recuperado de “Desarrollo de biopolímeros a partir de almidón de corteza de Yuca (*Manihot esculenta*)” de Valarezo Ulloa, 2012.

Almidón

El almidón ha sido ampliamente estudiado debido a su bajo costo y fácil disponibilidad, capacidad de renovación y se pueden emplear en aplicaciones de envasado de alimentos. (Charles A., Kao H-M. and Huang T-Ch., 2003).

Tienen muy poca resistencia mecánica y por lo tanto se pueden combinar con una gama de nanorelleno para mejorar la estabilidad térmica, eléctrica y propiedades mecánicas. La resistencia al agua puede ser mejorada mediante la adición de los nanomateriales, las mezclas de almidón y arcilla han sido ampliamente estudiadas por los científicos que alta resistencia exposiciones en aplicaciones de envasado comestibles. (Park H.M., Li X., Jin C.Z., Park C.Y., Cho WJ., Ha CS., 2010)

Gelatinización del almidón

Es el proceso donde los gránulos de almidón que son insolubles en agua fría debido a que su estructura es altamente organizada, se calientan a una temperatura entre 60 y 70 °C, empieza un proceso lento de

absorción más accesibles. A medida que se incrementan la temperatura, se retiene más agua y el granulo empieza a hincharse y aumentar de volumen (Cubillas C. A., Quispe R., & Payano K.M., 2015)

Tipos de almidones

Los tipos de almidones se clasifican básicamente en:

- Almidones nativos: Se les denomina así, porque son almidones que no han sufrido ningún proceso de modificaciones químicas durante su obtención.
- Almidones modificados: Se les nombra así, porque son almidones que si han sufrido algún proceso de modificación química durante su obtención (Pamplona R., 2006).

Estudios de la resistencia

La glicerina tiene las siguientes características: líquido viscoso, incoloro, inodoro, higroscópico y dulce. Tiene una estructura simple formada por una molécula de propano unida por enlaces lipídicos a tres grupos hidroxilos (OH-); lo cual le permite ser soluble en el agua. Se funde a 17.8°C, su punto de ebullición con descomposición es a 290°C, y puede mezclarse con agua y etanol.

La combustión de la glicerina puede realizarse a temperaturas mayores a su punto de ebullición, caso contrario emiten gases tóxicos como la acroleína, la cual se forma entre los 200 y 300°C. (Carballo E. & Martínez E., 2010)

La glicerina en la actualidad es un componente importante en la elaboración de biopelículas por sus propiedades plastificantes, brindando un adecuado comportamiento mecánico en características de flexibilidad y resistencia a la rotura; este compuesto es el plastificante más utilizado en la industria de biopolímeros debido a su estabilidad y compatibilidad con las cadenas biopoliméricas hidrófilas. El glicerol se adhiere a la estructura del biopolímero reduciendo las características negativas como la cohesión e interfiriendo; con la asociación de las cadenas poliméricas mejora el deslizamiento por lo que aumenta la flexibilidad y resistencia de la biopelícula. (Abdollahi, M, Rezaei, M, & Farzi, G., 2012)

La funcionalidad de las películas poliméricas se relacionan con: propiedades mecánicas (resistencia a la tensión, elongación a la rotura), propiedades funcionales (barrera al vapor de agua, oxígeno, dióxido de carbono) y propiedades físicas (opacidad y color). (Silva-Weiss, Ihl, Sobral, & Gómez-Guillén, 2013).

Se utilizó almidón extraído de 12 cultivos andinos. Se formularon películas biodegradables utilizando glicerol en una proporción de 2:5 (glicerol: almidón en base seca) y se determinó las propiedades mecánicas de cada tratamiento. La formulación a base de almidón de yuca y batata obtuvieron altos valores de elongación a la rotura. Las propiedades mecánicas fueron dependientes de la fuente de almidón utilizada. (Torres, Troncoso, Torres, & Diaz, 2011).

La adición de plastificantes (glicerol, sorbitol y su combinación, a concentraciones de 15, 30 y 45 %) a soluciones de formación de películas con almidón de “palma de azúcar” (*Arenga pinnata*) ayudó a superar la naturaleza frágil y quebradiza de películas sin plastificante. El incremento en la concentración del plastificante resultó en un aumento en el espesor, contenido de humedad y solubilidad, y, por el contrario, la densidad y absorción de agua de las películas disminuyó con el aumento de la concentración del plastificante. Mostraron mayor solubilidad las que contenían glicerol y glicerol-sorbitol y menor efecto sobre el contenido de humedad y absorción de agua las películas plastificadas con sorbitol (Sanyang, Sapuan, Jawaid, & Ishak, 2016).

Materiales de relleno y de refuerzo.

Los materiales de relleno y refuerzo se adicionan a las formulaciones para dar “cuerpo”, consistencia o volumen a la mezcla, biodegradabilidad, elasticidad, rigidez, resistencia y otros. Entre los materiales reportados se encuentran: materiales basados en celulosa, gomas, polímeros derivados de plantas y de animales (proteínas y otros). Pueden usarse también pequeñas cantidades de polímeros sintéticos hidrofóbicos como polietileno y polipropileno, en cantidades no superiores al 5 % del peso de la composición. (Famá L., Goyanes S. & Gerschenson L., 2007)

Estudios realizados a la modificación del almidón

Se encontraron diversos componentes que, al mezclarse junto con el almidón, logran generar películas a partir cada vez sean más similares a las derivadas del petróleo. Cada componente cumple una función específica, en pro de mejorar diversas propiedades como las mecánicas, térmicas, de barrera, entre otras. Según el estudio realizado para la obtención de biopolímeros a partir del almidón de papa, para ser utilizado como empaque de alimentos, se modificó el almidón con los parámetros tale: ácido acético al 5% obteniéndose un polímero con un 61,76% de amilosa y 38,28% de amilopectina. Las pruebas de elongación y tracción mostraron que el almidón modificado presentó una mejor propiedad mecánica. Asimismo, se prepararon películas poliméricas donde se adicionaron aditivos al almidón modificado para lograr que el film mejore sus propiedades mecánicas y su textura, para ello se utilizó al Chitosan y Xathan en diferentes proporciones, determinándose una mejora de la propiedad mecánica del biopolímero. Esto fue corroborado con pruebas de elongación y tracción, obteniéndose valores del 33% y 8,47 N, respectivamente, las espectroscopias de infrarrojo y Uv-Vis realizadas a los biopolímeros muestran picos característicos de celulosa y una buena transmitancia del 87%. Todas las muestras fueron obtenidas siguiendo el método Taguchi. (Alarcón C., Hugo A. & Arroyo E., 2016).

En las investigaciones de las modificaciones del almidón las caracterizaciones son realizadas por titulaciones potenciométricas, análisis por infrarrojo, resonancia magnética, análisis térmicos, así como la capacidad de biodegradación del almidón modificado. Heinze (Citado por Peñaranda, 2008).

Obtención del biopolímero con almidón modificado

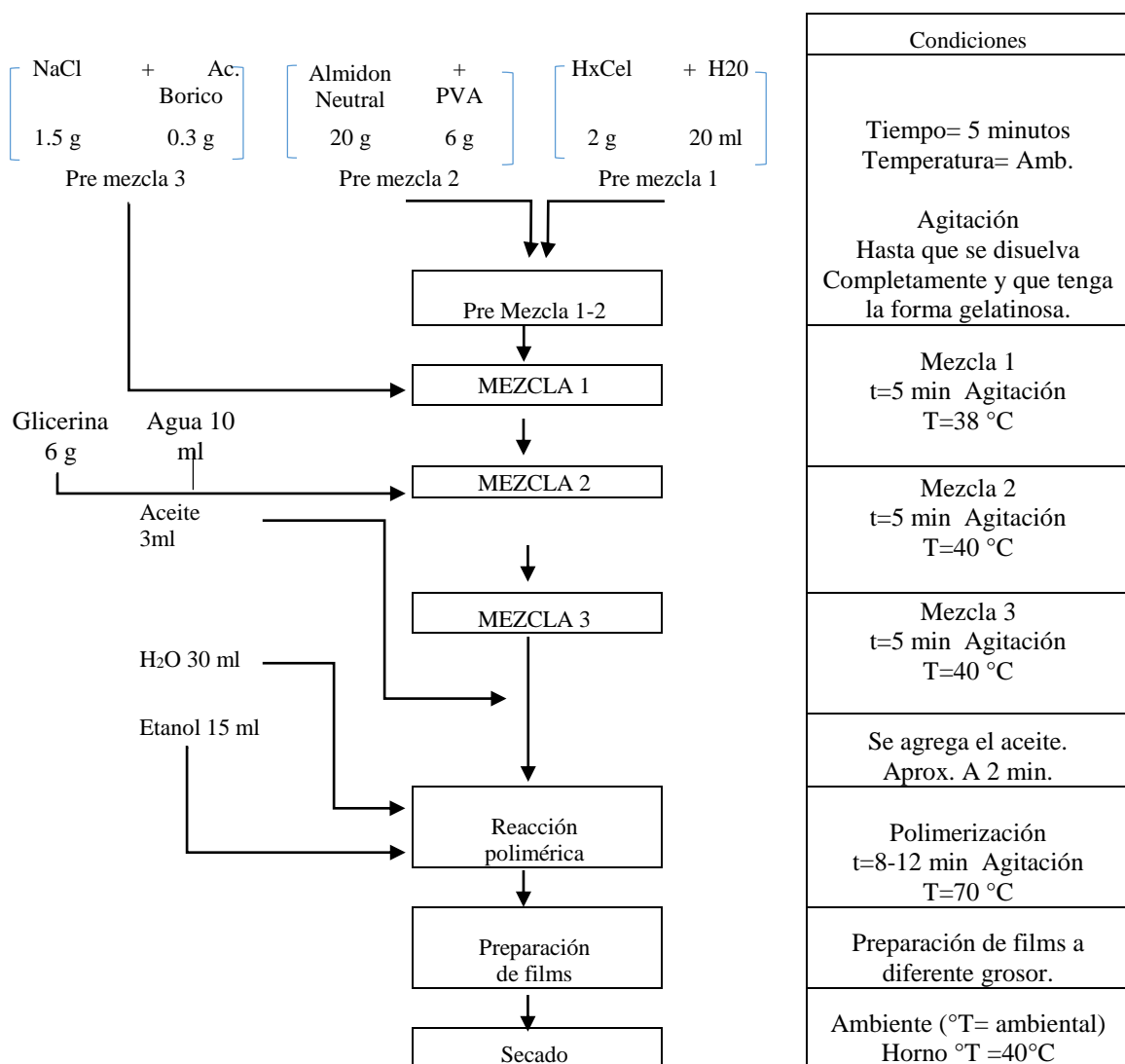


Figura 1. Procedimiento para la obtención de biopolímero a partir del almidón modificado

Sugieren que el uso del almidón como produce materiales quebradizos y muy sensibles al agua, con propiedades mecánicas pobres. Por ello es necesario combinar el almidón con otros materiales poliméricos con el fin de producir un material con mejores propiedades mecánicas, como la resistencia al agua, mayor flexibilidad y resistencia al rompimiento, entre otras. Los polímeros que se agregan suelen

ser materiales de buena bio degradabilidad y preferiblemente son hidrófobos o apolares. (Bastioli C., Bellotti V., Del Guidice L., Del Tredici G., Lombi R. & Rallis A., 1993)

Otra opción que ha presentado resultados prometedores es el uso de gomas e hidrocoloides solubles en agua (carragenina, goma de algarrobo, xhantan, agar, alginatos, goma guar, goma arábica y pectina) que no presenten trazas de proteína o de gelatina en su composición. Pueden incluirse en un rango de 0,05 % a 15 % del total de sólidos de la mezcla (Lafargue D., Lourdin D. & Doublier, J., 2007)

Tabla 3. Propiedades y aplicaciones de los polímeros biodegradables más destacados:

	Propiedades	Aplicaciones	Procesado	Eliminación	Proveedor
Almidón	Propiedades mecánicas similares a plásticos convencionales. Resistencia a grasas y alcoholes.	Menaje, envasado de alimentos, cuidado personal, bolsas de basura, etc.	Inyección y extrusión – soplado, termoformado.	Compostable.	Novamont. Bistec GmbH. Nacional. Starch & Chemical.
Celulosa	Posibilidad de transparente, traslucido y opaco. Frágil en congelación. Buen aislante.	Asas de cubiertos, bolígrafos recubrimientos, etc.	Inyecciones	Biodegradables	Mazzuccheli 1984
Proteínas	Resistentes. No toxico.	Botones, cajas, asas.	Inyecciones.	Reciclado.	Universal Textil Technologies. Biopolymer.
PHAs	Posibilidades de combinar hasta 100 monómeros diferentes.	Menaje, cuchilla de afeitar (PHA), Botella de champú (PHBV)	Soplado, Inyección, Extrusión.	Compostaje, degradación en agua.	Metabolix (Biopol). P&G
PLA	Claridad, buena estética (brillo), frágil, requiere aditivos.	Films y materiales de envases. Fibras.	Soplado, Inyección, Extrusión.	Reciclaje, compostaje, incineración.	Cargill Dow LLC. Nestle Corp.
PCL	Buena resistencia al agua, aceite y disolventes, bajo punto de fusión. Baja viscosidad.	Resinas para recubrimiento, adhesivos. Bolsas. Fibras		Compostaje.	Solvay. Unión Carbide.
Copolimeros Alifáticos aromáticos	Combina las propiedades del PET con la biodegradabilidad de los poliésteres alifáticos.	Bolsas. Menaje, recipientes.	Soplado, Inyección, Extrusión.	Degradación por hidrolisis, reciclaje, compostaje o incineración.	Dupont.

Nota: Recuperado de “Guía técnica por sectores – Polímeros” de Tamara, C. (2016)

CONCLUSIONES

La combinación de almidón con otros polímeros se describe como alternativa viable para superar las deficiencias del almidón. Las investigaciones recientes se focalizan en mejorar las falencias de algunas propiedades con la adición de otro polímero, con tales combinaciones se obtienen materiales con sensibles

mejoras de las propiedades mecánicas y mayor bio degradabilidad. La formulación a base de almidón de yuca y batata obtuvieron mejoraron la característica de elongación a la rotura. La adición de glicerol, sorbitol a concentraciones de 15 % a soluciones de formación de películas con almidón de “palma de azúcar” mejoraron la resistencia de la película. La característica de absorción de agua de las películas disminuyó con el aumento de la concentración del plastificante.

Según el estudio realizado para la obtención de biopolímeros a partir del almidón de papa, para empaques de alimentos, se modificó el almidón con los parámetros tale: ácido acético al 5% obteniéndose un polímero con un 61,76% de amilosa y 38,28% de amilopectina. Las pruebas de elongación y tracción mostraron que el almidón modificado presentó una mejor propiedad mecánica. Esto fue corroborado con pruebas de elongación y tracción, obteniéndose valores del 33% y 8,47 N, respectivamente, las espectroscopias de infrarrojo y Uv-Vis realizadas a los biopolímeros muestran picos característicos de celulosa y una buena transmitancia del 87%.

AGRADECIMIENTOS

A los docentes de la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias. Al MSc. William Lorenzo Aldana Juárez, por sus consejos y dedicación en la realización de este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdollahi, M, Rezaei, M, & Farzi, G. (2012). Imporvement of active chitosan film proprieties whit rosemary essential oil for food packaging. *International Journal of Food Science and Technology*. 47 (4), 847-853.
- Alarcón, C. Hugo, A. & Arroyo, E. (2016). Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa. *Rev. Soc. Quím*, (82), 3. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2016000300007&lang=es
- Bastioli, C., Bellotti, V., DEL Guidice, L., del tredici, G., LombI, R. and Rallis, A. (1993) Biodegradable articles based on starch and process for producing them. US5262458. U.S. PTO.
- Biobased plastics and bionano composites: Current status and future opportunities. *Progress in Polymer Science*, 38(10–11), 1653-1689.
- Carballo E. & Martínez E. (2010). Determinación de la permeabilidad al vapor de agua por el método ASTM E96/E 96M-05 en películas de quitosano.

- Charles A., Kao H-M. and Huang T-Ch. (2003), "Physical investigations of surface membrane–water relationship of intact and gelatinized wheat–starch systems," *Carbohydrate Research*, vol. 338, pp. 2403–2408.
- Cubillas Zamudio, C. A, Francia Quispe, R. S, y Payano Vilca, K.M. (2015). Universidad Nacional del callao. Tesis.
- Europe (2015). *Plastics -thefacts 2014/2015 Ananalysis of Europeanplasticsproduction, demandand waste data*. Recuperado de <http://www.plasticseurope.org/>
- Gourmelon, G. (2015). *Global PlasticProductionRises,RecyclingLags*. New WorldwatchInstituteanalysis explores trends in global plasticconsumption and recycling. Recuperado de <http://www.worldwatch.org/>
- Famá. L., Goyanes, S. & Gerschenson, L. (2007) Influence of storage time at room temperature on the physicochemical properties of cassava starch films. *Carbohydrate Polymers*, 70 (1), p. 265-273.
- Gross, R. and Kalra, B. (2002). Biodegradable polymers for the environment. *Science*, 297 (5582), pp. 803-807. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v80n181/v80n181a19.pdf>
- Tamara, C. (2016). *Guía técnica por sectores – Polímeros*. Ainia. Recuperado de <http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/V02wp/EA5AA4C869FCF58FC12570DE003E4DB4?Opendocument>.
- Herdman, R. C. (1993). *Biopolymers Making Materials Nature's Way*. DIANE, 1-6.
- Hesselbach, J., & Herrmann, C. (2011). *GlocalizedSolutions for Sustainability in Manufacturing: Proceedings of the 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Germany, May 2nd - 4th, 2011: Springer Berlin Heidelberg.
- Jorge, Pamplona, Roger. D (2006). *Enciclopedia de los alimentos y su poder curativo; Tratado de bromatología y dietoterapia*, tomo IyII. Biblioteca Educación y Salud. Pág.70-72 tomo II.
- Lafargue, D., Lourdin, D. y Doublier, J. (2007). Film forming properties of a modified starch/kcarrageenan mixture in relation to its rheological behaviour. *Carbohydrate Polymers*, 70 (1), p. 101-111.
- Novo, M. (2009). *biopoliméricos: Propiedades reológicas y aplicaciones*. Madrid, España desarrollo sostenible: su dimensión ambiental y educativa, Editorial Universitaria,ISBN: 978-84-7991-262-8, pp. 1-431, 2009.Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/20642/45329>

-
- Park HM, Li X, Jin CZ, Park CY, Cho WJ, Ha CS (2010). Preparation and properties of biodegradable thermoplastic. *Carbohydrate Polymers*. 79, 391–396
- Peñaranda, O. Perilla, J y Algecira, N. (2008). Revisión de la modificación química del almidón con ácidos Orgánicos. *revista ingeniería e investigación*. (28), 3.
- Reddy, M. M., Vivekanandhan, S., Misra, M., Bhatia, S. K., & Mohanty, A. K. (2013).
- Sanyang, M.L. Sapuan, S.M. Jawaid, M.; Ishak, M.R. and Sahari, J. (2016). Effect of plasticizer type and concentration on physical properties of biodegradable films based on sugar palm (*Arenga pinnata*) starch for food packaging. *Food Science and Technology*.
- Silva, Weiss, A.; Ihl, M.; Sobral, P.J.A.; Gómez-Guillén, M.C. y Bifani, V. (2013). Natural additives in bioactive edible films and coating.
- Torres, F.G.; Troncoso, O.P.; Torres, C.; Diaz, D.A. y Amaya, E. (2011). Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops. *International Journal of Biological Macromolecules*. 48, 603-606
- Valarezo Ulloa, M.J. (2012). Desarrollo de biopolímeros a partir de almidón de corteza de yuca (*Manihot Esculenta*), 158.
- Vroman, I., y Tighzert, L. (2009). Biodegradable Polymers. *Materials*, 2(2), 307.
- Yu, L., Dean, K., & Li, L. (2006). Polymer blends and composites from renewable resources. *Progress in Polymer Science*. Volume 31, 576-602