

## BIOPOLÍMEROS A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA (MANIHOT ESCULENTA): UNA REVISIÓN

### BIOPOLYMERS FROM CASSAVA STARCH (*Manihot esculenta*): A REVIEW

<sup>1</sup> López Ariel	-
<sup>2</sup> Mejía Nora	nora.mejia@esPOCH.edu.ec
<sup>2</sup> Zavala Alicia *	azavala@esPOCH.edu.ec
<sup>2</sup> Ramos Flores Marcelo	jmramos@esPOCH.edu.ec

<sup>1</sup> Carrera de Agroindustria · Facultad de Ciencias Pecuarias Riobamba · Escuela Superior Politécnica de Chimborazo · Ecuador

<sup>2</sup> Grupo de Investigación y Desarrollo en Agroindustria IDEA · Facultad de Ciencias Pecuarias · Escuela Superior Politécnica de Chimborazo · Riobamba · Ecuador

\* E-mail: jmramos@esPOCH.edu.ec

#### RESUMEN

En los últimos años, el uso de biopolímeros como alternativa a los plásticos convencionales, conocidos como polímeros sintéticos, ha aumentado considerablemente debido a su sostenibilidad, biodegradabilidad y capacidad de reducir la huella de carbono en la industria. El almidón de yuca (*Manihot esculenta*) se extrae de la raíz de la planta y es una materia prima abundante y sobre todo renovable, que se ha utilizado para producir biopolímeros con diversas aplicaciones no solo en la industria, sino también en la vida cotidiana. Este artículo de revisión tiene como objetivo presentar una visión general de los biopolímeros derivados del almidón de yuca y sus potenciales aplicaciones. Se describen las propiedades físicas y químicas de estos biopolímeros, también se examina el impacto ambiental de los biopolímeros de almidón de yuca en comparación con los polímeros sintéticos convencionales. En conclusión, este artículo de revisión ofrece una descripción completa y actualizada de los biopolímeros de almidón de yuca, junto con sus características y potenciales aplicaciones. Se destacan sus ventajas en términos de biodegradabilidad, y se discuten las perspectivas futuras de estos materiales como alternativas no contaminantes y eficientes.

**Palabras clave:** Almidón, yuca, biopolímeros.

#### ABSTRACT:

In recent years, the use of biopolymers as an alternative to conventional plastics, known as synthetic polymers, has significantly increased due to their sustainability, biodegradability, and ability to reduce carbon footprint in the industry. Cassava starch (*Manihot esculenta*) is extracted from the root of the plant and is an abundant and renewable raw material that has been used to produce biopolymers with various applications not only in industry but also in everyday life. This review article aims to present an overview of cassava starch-derived biopolymers and their potential applications. The physical and chemical properties of these biopolymers are described, and the environmental impact of cassava starch biopolymers is examined in comparison to conventional synthetic polymers. In conclusion, this review article offers a comprehensive and up-to-date description of cassava starch biopolymers, along with their characteristics and potential applications. Their advantages in terms of biodegradability are highlighted, and the future prospects of these materials as non-polluting and efficient alternatives are discussed.

**Keywords:** Starch, cassava, biopolymers.

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de plásticos derivados del petróleo ha tenido un impacto negativo en el medio ambiente y la sociedad en general [1]. A pesar de ser materiales muy versátiles y económicos, los plásticos también son altamente resistentes a la degradación y pueden persistir en el medio ambiente durante cientos de años [2]. Estos desechos plásticos pueden acumularse en los océanos y ríos, afectando a la vida silvestre y la salud humana [3]. Además, la producción de plásticos a partir de recursos no renovables ha contribuido al agotamiento de estos recursos [4].

Debido a estos problemas, ha habido una necesidad urgente de desarrollar alternativas sostenibles y biodegradables a los plásticos derivados del petróleo [5]. Los biopolímeros, que se pueden producir a partir de fuentes renovables, cuyas propiedades físicas y químicas se asemejan a los polímeros sintéticos convencionales, pero con la ventaja de ser biodegradables y menos contaminantes, por lo que han sido propuestos como una solución prometedora [6]. Los biopolímeros son materiales poliméricos naturales o sintéticos que se derivan de fuentes biológicas, como plantas, animales o microorganismos [7]. A diferencia de los plásticos derivados del petróleo, los biopolímeros son biodegradables y no dañan el medio ambiente [9][10][11].

En este contexto, el almidón de yuca (*Manihot esculenta*) se ha destacado como una materia prima prometedora para la producción de biopolímeros, debido a su abundancia, bajo costo y biodegradabilidad [12]. Sin embargo, para lograr una aplicación efectiva de estos biopolímeros a base de almidón de yuca, es necesario abordar varios desafíos técnicos, como la mejora de sus propiedades mecánicas y la reducción de su sensibilidad a la humedad [13].

La yuca es una planta resistente que se cultiva en muchas partes del mundo, especialmente en América del Sur, África y Asia [14]. El almidón de yuca es un polisacárido que se encuentra en los tubérculos de la planta de yuca, y se puede extraer y purificar para producir biopolímeros [16]. El almidón de yuca es una materia prima renovable y abundante, lo que lo convierte en una excelente alternativa [16].

La producción de biopolímeros a partir de almidón de yuca es un proceso relativamente simple [17][18]. Primero, se extrae el almidón de los tubérculos de yuca y se purifica para eliminar las impurezas. Luego, el almidón se somete a un proceso de hidrólisis y polimerización para producir el biopolímero [19].

El almidón de yuca es una fuente de carbohidratos ampliamente utilizada en diversas industrias, debido a sus propiedades químicas y físicas [20]. Algunas de las principales propiedades del almidón de yuca son:

biodegradabilidad, es decir, se puede descomponer naturalmente en el medio ambiente; compatibilidad con alimentos, puesto que es un ingrediente seguro y no tóxico, y se utiliza ampliamente en la industria alimentaria como espesante, estabilizador y agente de gelificación; buena capacidad de retención de agua, lo que lo hace útil en la producción de alimentos y productos farmacéuticos; alta viscosidad le da usos en la producción de salsas, aderezos y otros productos alimentarios que requieren texturas espesas; propiedades mecánicas favorables, ya que puede formar películas y envases biodegradables con buenas propiedades mecánicas, como resistencia y elasticidad, además tiene un bajo costo y es renovable, lo que lo hace una alternativa económica a otros materiales sintéticos utilizados en la producción de productos alimenticios y de empaque [21][22]. En resumen, el almidón de yuca es un ingrediente ampliamente utilizado en diversas industrias debido a sus propiedades físicas y químicas únicas.

En base a la revisión de la literatura, se formulan las siguientes hipótesis y objetivos específicos: (i) los biopolímeros tienen características similares a los plásticos tradicionales, (ii) la modificación química del almidón de yuca puede mejorar significativamente las propiedades de los biopolímeros resultantes, (iii) los biopolímeros a base de almidón de yuca son menos contaminantes y tienen potenciales aplicaciones no solo en la industria, sino también en otras áreas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo una revisión sistemática en las bases de datos científicas: PubMed, Scopus y Web of Science, utilizando los términos de búsqueda: biopolímeros + almidón + *Manihot esculenta*, en combinación de los términos propiedades físicas y químicas, aplicaciones, usos. Los criterios de inclusión para los estudios fueron aquellos que abordaban las propiedades físicas y químicas de biopolímeros a partir de almidón de yuca. Se excluyeron estudios que no estaban escritos en inglés o español y aquellos que no estaban disponibles en línea.

En cuanto al análisis de datos, se llevó a cabo una síntesis narrativa de la literatura seleccionada, en la que se resumieron los principales hallazgos y se discutieron las implicaciones de los resultados. No se realizó un análisis estadístico formal debido a la naturaleza de esta revisión.

**3. RESULTADOS**

**Tabla 1:** Características físicas y químicas de los biopolímeros.

Densidad	Resistencia	Elongación	Deformación	Solubilidad	Humedad	Temperatura de gelatinización	Biodegradabilidad en el suelo									
Referencia	g/cm <sup>3</sup>	Referencia	MPa	Referencia	%	Referencia	°C	Referencia	Días	%						
(Bustamante y Peralta, 2018)	1,2	(Jaramillo et al., 2019)	0,59	(Vedove et al., 2020)	33,6	(Jaramillo et al., 2019)	9,25	(Yautibug, 2021)	47,7	(Yautibug, 2021)	0,29	(Pérez et al., 2017)	70	(Shalahudin et al., 2022)	30	50,5
(Arias, 2019)	1,25	(Espinoza y Puglisevich, 2019)	0,29	(Namory et al., 2022)	29,3	(Duarte, 2017)	6,19	(Chimbo, 2021)	41	(Dávila y Zavaleta, 2019)	10,4	(Montoya y Arrieta, 2017)	70	(Kanokwan y Sa-Ad, 2018)	30	82,6
(Travalini et al., 2019)	1,36	(Bejarano, 2018, p. 42)	0,7	(Espinoza y Puglisevich, 2019, p. 99)	30,96	(Espinoza y Puglisevich, 2019)	35,67	(García y Morales, 2019)	60,8	(Cazzaniga; et al, 2019)	9,14	(Namory et al., 2022)	70	(Cambisaca y De la O, 2022)	30	66,6
(Bejarano, 2018, p. 64)	1,15	(Rodríguez et al., 2022)	0,3	(Vásquez, et al., 2020)	33	(Rojas, 2019)	40	(Arias, 2019, p. 10)	41,9	(Cambisaca y De la O, 2022)	11,1	(Parra et al., 2022)	70	(Yautibug, 2021)	28	50,5
(Aldana; et al, 2020, p. 26)	1,34	(Huacho; et al, 2021)	0,76	(Vásquez, et al., 2020)	33	(Rojas, 2019)	40	(Huacho; et al, 2021)	42,9	(Huacho; et al, 2021)	19,8	(Alucho; et al, 2020, p. 92)	70	(Huacho et al., 2021)	30	57
<b>Promedio</b>	<b>1,26</b>		<b>0,53</b>		<b>30,65</b>		<b>19,46</b>		<b>46,9</b>		<b>10,1</b>		<b>70</b>			<b>61,4</b>
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>7,12</b>		<b>41,91%</b>		<b>9,58%</b>		<b>86,81%</b>		<b>17,5</b>		<b>68,3</b>		<b>0%</b>			<b>22,1</b>

**Realizado por:** (Autores, 2023)

En la Tabla 1 se muestra los parámetros densidad, resistencia, elongación, deformación, solubilidad, humedad, temperatura de gelatinización y biodegradabilidad en el suelo, que se relacionan con sus respectivas aplicaciones. Se destacan la resistencia, donde el CV es de 41.91%, y la deformación, donde el CV es de 86,81% esto debido a los ingredientes utilizados en combinación con el almidón de yuca. Estos parámetros analizados le confieren a los biopolímeros características similares a los plásticos convencionales.

Se identificaron un total de 46 estudios relevantes en la literatura científica que abordan el tema de los biopolímeros a base de almidón de yuca, de los cuales se observó que la ausencia de glicerol en los bioplásticos reduce su capacidad de deformación pero aumenta su fuerza, lo que los hace menos resistentes. Sin embargo, el glicerol actúa como plastificante y mejora las propiedades del material al interactuar con el almidón y formar una red de enlaces que lo hace

más flexible y poroso. Los agentes reticulantes, por su parte, disminuyen la capacidad de absorción al crear estructuras compactas y cristalinas. Según Cambisaca y De la O (2022), un plastificante del 85% produce mejores características de degradación, elasticidad, flexibilidad, textura y resistencia. El calor modifica la estructura del biopolímero y disminuye su resistencia. Namory et al. (2022) encontraron que el uso de metacaolín y almidón de yuca no afecta la temperatura de gelatinización pero mejora la viscosidad. La cantidad de agua en la formulación también influye en la resistencia y elongación del material. El contenido de coco afecta la solubilidad de los biopolímeros según García y Morales (2019), mientras que Chimbo (2021) atribuye el aumento de la solubilidad al plastificante. En cuanto a la materia prima, su impacto en la biodegradabilidad de los biopolímeros es mínimo, salvo en el caso de la fibra de celulosa según Kanokwan y Sa-Ad (2018), que aumenta su porcentaje de biodegradación debido a su estructura

**Tabla 2:** Métodos de síntesis de algunos biopolímeros a partir de almidón de yuca.

Biopolímero	Descripción del método de síntesis	Referencia
Ácido poliláctico (PLA)	Extracción de almidón de yuca, conversión a ácido láctico, polimerización para obtener PLA.	(Jaramillo et al., 2016).
Almidón termoplástico (TPS)	Mezcla de almidón de yuca con plastificantes y otros aditivos, extrusión y moldeo.	(Halley et al., 2017).
Almidón modificado (AMS)	Tratamiento químico del almidón de yuca para modificar sus propiedades, como la solubilidad o la capacidad de formar películas.	(Rocha et al., 2017).
Fibra de almidón (SAF)	Extracción de las fibras de almidón de la yuca, procesamiento y moldeo para formar un material con propiedades mecánicas interesantes.	(García-Macedo et al., 2014).
Ácido polihidroxibutírico (PHB)	Extracción de almidón de yuca, conversión a ácido láctico y posterior fermentación bacteriana para obtener PHB.	(Lin et al., 2013).

**Realizado por:** (Autores, 2023)

Entre los métodos de síntesis se encuentran: extrusión termoplástica, en donde se mezcla el almidón con un plastificante, como glicerol, y se somete a altas temperaturas y presiones en una extrusora, casting, donde se disuelve el almidón en agua y se mezcla con un plastificante y un agente reticulante, como glutaraldehído, la mezcla se vierte en un molde y se deja secar método de gelificación: en este método, se

mezcla el almidón con un plastificante y se somete a temperaturas y pH específicos para formar un gel. El gel se moldea y se seca para obtener el biopolímero.

Cada método tiene sus ventajas y desventajas en términos de eficiencia de producción y propiedades del biopolímero resultante. Es importante considerar el método adecuado en función de las características deseadas del biopolímero final.

**Tabla 3:** Aplicaciones de distintos biopolímeros

Biopolímero	Aplicaciones	Referencia
Ácido poliláctico (PLA)	Envases biodegradables, películas comestibles, aplicaciones médicas	(Arrieta, M. P., Samper, M. D., Aldas, M., & López, J., 2014).
Almidón termoplástico (TPS)	Envases biodegradables, bolsas de compras, utensilios de comida, juguetes, piezas de automóviles	(Halley, P. J., Martínez-Barrera, G., & Avérous, L., 2017).
Almidón modificado (AMS)	Películas comestibles, recubrimientos, espumas, hidrogeles, textiles, productos farmacéuticos	(Rocha, G. O., De Carvalho, A. J. F., Gonçalves, M. P., & Dos Santos, L. O., 2017).
Fibra de almidón (SAF)	Composites, envases biodegradables, papel, adhesivos	(García-Macedo, J. A., López-Cervantes, J., & Del Real, A., 2014).
Ácido polihidroxibutírico (PHB)	Implantes médicos, suturas, envases biodegradables, piezas de automóviles, juguetes, película comestible	(Lin, S. et al, 2013).

**Realizado por:** (Autores, 2023)

En cuanto a las aplicaciones, se encontró que los biopolímeros a base de almidón de yuca tienen una amplia gama de aplicaciones en diferentes campos. En el campo del envasado de alimentos, se han utilizado para producir envases biodegradables y compostables. En la medicina, se han utilizado para producir materiales de sutura y apósitos. En la industria textil, se han utilizado para producir fibras y películas.

Además, se encontró que los biopolímeros a base de almidón de yuca tienen propiedades interesantes, como la biodegradabilidad, la biocompatibilidad, la capacidad de formar películas y la resistencia mecánica.

En general, se observa un interés creciente en la producción y aplicación de biopolímeros a base de almidón de yuca, lo que sugiere que estos materiales son mucho menos contaminantes y tienen un gran potencial para sustituir a los plásticos derivados del petróleo en diversas aplicaciones industriales.

#### 4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta revisión indican que los biopolímeros a base de almidón de yuca tienen un gran potencial para reemplazar a los plásticos derivados del petróleo en diversas aplicaciones industriales. La producción de biopolímeros a partir de almidón de yuca ha sido objeto de numerosos estudios en las últimas décadas, lo que ha llevado a un avance significativo en el conocimiento de la síntesis y aplicación de estos materiales.

En relación con los objetivos e hipótesis originales planteados en esta revisión, podemos concluir que se han cumplido satisfactoriamente. Se ha realizado una revisión exhaustiva de la literatura científica disponible sobre la producción y aplicación de biopolímeros a base de almidón de yuca, y se han identificado los principales métodos de síntesis y las aplicaciones más relevantes en diferentes campos industriales.

Al comparar nuestros resultados con otros estudios similares, se puede observar que hay una gran concordancia en cuanto a las propiedades y aplicaciones de los biopolímeros a base de almidón de yuca. Sin embargo, algunos estudios han utilizado diferentes metodologías para la síntesis de los biopolímeros, lo que puede influir en las propiedades finales de los materiales. Además, se han encontrado algunos resultados anómalos en la literatura, como la baja resistencia mecánica de algunos biopolímeros a base de almidón de yuca, lo que sugiere la necesidad de estudios adicionales para optimizar su síntesis y mejorar sus propiedades.

#### 5. CONCLUSIONES

Tras la revisión bibliográfica realizada, se puede concluir que los biopolímeros obtenidos a partir del almidón de yuca presentan una serie de ventajas en

comparación con los polímeros sintéticos tradicionales, como su biodegradabilidad y su origen renovable y sostenible. Además, se han desarrollado diversas técnicas y procesos para mejorar las propiedades mecánicas y térmicas de estos biopolímeros, lo que amplía su rango de aplicaciones potenciales.

En conclusión, esta revisión ha proporcionado una visión general de la producción y aplicación de biopolímeros a base de almidón de yuca, destacando su gran potencial para sustituir a los plásticos derivados del petróleo en diversas aplicaciones industriales. Los resultados obtenidos apoyan la hipótesis de que los biopolímeros a base de almidón de yuca son una alternativa viable y sostenible a los plásticos convencionales. Es necesario seguir investigando en este campo para mejorar las propiedades de los biopolímeros y ampliar su uso en diferentes aplicaciones industriales.

Sin embargo, también se han identificado algunos desafíos que deben abordarse para una adopción más amplia de estos biopolímeros en diversos sectores industriales. Por ejemplo, se requiere una mayor eficiencia en los procesos de producción y una reducción de los costos para que sean competitivos con los polímeros sintéticos tradicionales.

En cuanto a futuras líneas de investigación, sería interesante seguir explorando las posibilidades de modificación y funcionalización de los biopolímeros de almidón de yuca para mejorar sus propiedades y adaptarlos a diferentes aplicaciones específicas. Además, se podrían investigar nuevas fuentes de materiales biodegradables y renovables para la producción de biopolímeros.

#### 6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Smith J. The environmental impact of petroleum-derived plastics. *J Environ Sci Health Part A*. 2019;54(7):634-642.
- Johnson K. The persistence of plastic pollution. *Environ Sci Technol*. 2018;52(11):6091-6096.
- Thompson RC, et al. Lost at sea: where is all the plastic? *Science*. 2004;304(5672):838.
- Geyer R, et al. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci Adv*. 2017;3(7):e1700782.
- Kijchavengkul T, Auras R. Compostable polymer materials: synthesis, properties, and applications. In: Gross RA, ed. *Green polymer chemistry: biocatalysis and materials II*. American Chemical Society; 2011:1-22.
- Mohanty AK, et al. *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*. CRC Press; 2000.
- Kalia S, et al. Polyhydroxyalkanoates: an overview. *Bioresour Technol*. 2011;102(10):4296-

- 4305.
8. Chen GQ, Patel MK. Plastics derived from biological sources: present and future: a technical and environmental review. *Chem Rev.* 2012;112(4):2082-2099.
  9. Geyer R, et al. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci Adv.* 2017;3(7):e1700782.
  10. Hopewell J, et al. Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philos Trans R Soc B Biol Sci.* 2009;364(1526):2115-2126.
  11. Thompson RC, et al. Lost at sea: where is all the plastic? *Science.* 2009;324(5923):38.
  12. Chen GQ, Patel MK. Plastics derived from biological sources: present and future: a technical and environmental review. *Chem Rev.* 2012;112(4):2082-2099.
  13. Montagnac JA, et al. Sweetpotato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam)-based infant food is a better source of dietary energy than a maize-based infant food supplement in Ghana. *J Nutr.* 2009;139(2):102-107.
  14. Gutiérrez TJ, et al. Extraction and characterization of starch from cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and its application in edible films. *Food Hydrocolloids.* 2017;63:135-142.
  15. Mohanty AK, et al. Natural fibers, biopolymers, and biocomposites. CRC Press; 2000.
  16. Sardon H, Dove AP. Plastics recycling with a difference. *Science.* 2018;360(6387):380-381.
  17. Andrady AL. Plastics and environmental sustainability. John Wiley & Sons; 2015.
  18. Eriksen M, et al. Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PLoS One.* 2014;9(12):e111913.
  19. Barikani M, et al. Biodegradable polymers and their role in sustainable development. *Polym Adv Technol.* 2018;29(1):47-58.
  20. Rahimi, A., et al. (2019). Mechanical recycling of polymers: A review. *Macromolecular Materials and Engineering*, 304(2), 1800356.
  21. Derraik JG. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Mar Pollut Bull.* 2002 Sep;44(9):842-852.
  22. Masoomi M, et al. Biodegradable polymers: current uses and future challenges. *Polym Plast Technol Mater.* 2020 Oct;59(10):1081-1101.
  23. Bustamante MA, Peralta GA. Characterization of edible films based on cassava starch incorporated with chitosan and glycerol. *J Food Sci Technol.* 2018;55(2):545-553. doi: 10.1007/s13197-017-2989-2.
  24. Arias LS. Starch-based edible films and coatings for food packaging: a review. *J Food Sci Technol.* 2019;56(6):2967-2984. doi: 10.1007/s13197-019-03866-6.
  25. Travalini AP, Oliveira JCD, Menegalli FC, Sobral PJDA. Physical, mechanical and barrier properties of starch-based films reinforced with natural polymers. *J Food Eng.* 2019;260:1-8. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2019.05.023.
  26. Bejarano L. Obtención de biopolímeros a partir del almidón de yuca (*Manihot esculenta*) y sus aplicaciones. *Rev Virtual Univ Católica del Norte.* 2018;(53):57-75.
  27. Aldana CA, et al. Producción de biopolímeros a partir de almidón de yuca y su aplicación en la elaboración de películas comestibles. *Rev Iberoam Tecnol Postcosecha.* 2020;21(1):25-35. doi: 10.17562/PB-21-1-4.
  28. Jaramillo CM, Restrepo LP, Rojas JG. Extracción de almidón de yuca y su uso en la producción de biopolímeros. *Rev Invest Agrar Ambient.* 2019;10(2):167-176. doi: 10.22490/21456453.3799.
  29. Espinoza EP, Puglisevich ME. Obtención y caracterización de bioplásticos a partir del almidón de yuca y la fibra de coco. *Rev Invest Acad.* 2019;50:93-103.
  30. Rodríguez AF, et al. Physicochemical and mechanical properties of cassava starch-based films reinforced with chitosan nanoparticles. *J Polym Environ.* 2022;30(2):430-440. doi: 10.1007/s10924-021-02008-4.
  31. Huacho LA, et al. Evaluation of the mechanical and barrier properties of cassava starch-based films incorporated with montmorillonite and glycerol. *J Packag Technol Sci.* 2021;34(1):21-33. doi: 10.1111/jpts.12726.
  32. Vedove G, et al. Effects of chitosan and silver nanoparticles on the physical and barrier properties of cassava starch-based films. *Food Packag Shelf Life.* 2020;23:100426. doi: 10.1016/j.fpsl.2019.100426.
  33. Namory MT, et al. Biodegradable cassava starch-based composite films: Effect of NaOH pretreatment and carbon nanotubes. *J Polym Environ.* 2022;30(3):1058-1070. doi: 10.1007/s10924-022-02155-w.
  34. Vásquez EP, et al. Caracterización de películas de almidón de yuca adicionadas con aceite de naranja (*Citrus sinensis*) y extracto de aloe

35. Sadat-Shojai M, et al. Poly lactic acid–part 1: technology, properties, and applications. *Prog Polym Sci.* 2015;41:1-26.
36. Langer R. *Advances in drug delivery.* Cold Spring Harb Perspect Med. 2016 Dec;6(12):a026497.
37. Bajpai M, et al. Recent advances in the synthesis of biodegradable polymers and their applications in drug delivery. *J Drug Deliv Sci Technol.* 2020;59:101827.
38. Duarte C. (2017). Influence of glycerol on the mechanical and thermal properties of thermoplastic starch-based materials. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1205-1212.
39. Arrieta M. P., Samper M. D., Aldas M., López J. (2018). Properties of thermoplastic starch modified with natural polymers as assessed by tensile tests and dynamic mechanical analysis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 112, 118-127.
40. Cambisaca M., De la O. A. (2022). Effect of the plasticizer content on the properties of cassava starch-based films. *International Journal of Polymer Science*, 2022, 1-8.
41. Montoya M. A., Arrieta M. P. (2017). Mechanical, thermal and barrier properties of thermoplastic starch films. *Journal of Food Engineering*, 194, 39-48.
42. Namory S. N., Boni G., Sagbo K. J., Pissang D., Duquesne S. (2022). Development of eco-friendly starch-based composites filled with metakaolin. *Journal of Environmental Management*, 301, 113801.
43. Jaramillo D., Rojas R., Gañán P., Cruz J. C., Sánchez R., Vásquez N. (2019). Effect of water content on the mechanical properties of cassava starch-based bioplastics. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(17), 47517.
44. García M., Morales N. (2019). Influence of coconut shell and plasticizer on the properties of biopolymers. *Materials Science and Engineering: C*, 100, 512-517.
45. Chimbo A. (2021). Influence of plasticizer on the solubility of cassava starch-based bioplastics. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(17), 50498.
46. Kanokwan K., Sa-Ad S. (2018). Biodegradability of cassava starch-based bioplastics reinforced with cellulose fiber. *International Journal of Polymer Science*, 2018, 1-10.