

## Obtaining biodegradable polymers from cassava starch.

### Obtención de polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca.

**Autores:**

Vera Cuaces, Andrés Felipe  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ  
Estudiante  
Portoviejo – Ecuador



[avera3167@utm.edu.ec](mailto:avera3167@utm.edu.ec)



<https://orcid.org/0000-0003-4207-2099>

Chávez Moreira, Wendy Lissette  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ  
Estudiante  
Portoviejo – Ecuador



[wchavez6925@utm.edu.ec](mailto:wchavez6925@utm.edu.ec)



<https://orcid.org/0000-0002-1155-256X>

Carrillo Anchundia, Bladimir Jacinto  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ  
Profesor  
Portoviejo – Ecuador



[bladimir.carrillo@utm.edu.ec](mailto:bladimir.carrillo@utm.edu.ec)



<https://orcid.org/0000-0002-9948-728X>

Citación/como citar este artículo: Andrés, Cuaces., Wendy, Chávez. Y Carrillo, Bladimir. (2023). Obtención de polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca. MQRInvestigar, 7(1), 2680-2700.  
<https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.1.2023.2680-2700>

Fechas de recepción: 26-FEB-2023 aceptación: 10-MAR-2023 publicación: 15-MAR-2023



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>

## Resumen

Tomando en cuenta el problema ambiental que el consumo de plástico produce en la sociedad, junto con la explosión demográfica que ha aumentado la demanda de productos procesados y manufacturados que necesitan ser envasados en materiales a base de polímeros, se propuso como objetivo conocer las condiciones mínimas que deben existir para obtener un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca mediante una revisión bibliográfica. La investigación es de tipo descriptiva con un diseño documental en el que se aplicó la técnica del análisis de contenido a partir de la revisión de la literatura especializada, como tesis, textos y artículos científicos de revistas de alto impacto. De acuerdo con los resultados obtenidos, se considera importante la combinación del almidón con otros materiales plásticos para producir un biopolímero que tenga propiedades mecánicas superiores, que sea resistente al agua, altamente flexible y resistente al rompimiento. Se concluyó que los biopolímeros de almidón de yuca obtenidos a partir del ensayo de tracción eran similares a los plásticos convencionales en resistencia y estabilidad. También se evidenció que los biopolímeros resultantes eran efectivos para ser usados como envolturas para la preservación de alimentos. Sin embargo, se identificaron algunos desafíos, como la baja resistencia mecánica y térmica de los polímeros, lo que puede limitar su uso en ciertos sectores industriales. La obtención de polímeros biodegradables puede ser una alternativa sostenible a los plásticos convencionales derivados de combustibles fósiles.

**Palabras claves:** polímeros, biodegradables, almidón, yuca.

## Abstract

Taking into account the environmental problem that plastic consumption produces in society, together with the demographic explosion that has increased the demand for processed and manufactured products that need to be packaged in polymer-based materials, it was proposed as an objective to know the minimum conditions that must exist to obtain a biodegradable polymer from cassava starch by means of a bibliographic review. The research is descriptive with a documentary design in which the content analysis technique was applied based on the review of specialized literature, such as theses, texts and scientific articles from high impact journals. According to the results obtained, the combination of starch with other plastic materials is considered important to produce a biopolymer that has superior mechanical properties, is water resistant, highly flexible and resistant to breakage. It was concluded that the cassava starch biopolymers obtained from the tensile test were similar to conventional plastics in strength and stability. It was also evidenced that the resulting biopolymers were effective to be used as wrappers for food preservation. However, some challenges were identified, such as the low mechanical and thermal resistance of the polymers, which may limit their use in certain industrial sectors. Obtaining biodegradable polymers can be a sustainable alternative to conventional plastics derived from fossil fuels.

**Keywords:** polymers, biodegradable, starch, cassava.

## Introducción

La problemática ambiental generada por los materiales plásticos tradicionales ha sido ampliamente reconocida en los últimos años. La acumulación de estos materiales en el medio ambiente es una de las principales causas de la contaminación y los desechos plásticos pueden tardar siglos en descomponerse. Ante esta situación, la búsqueda de alternativas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente se ha convertido en una necesidad apremiante. En la actualidad, la preocupación por la protección ecológica ha impulsado el avance de las investigaciones para la producción de polímeros biodegradables, utilizando recursos naturales renovables.

La escasez y el aumento del precio de los hidrocarburos, junto con la ampliación de las directrices ecológicas, están actuando de forma sinérgica para avanzar en la mejora de nuevos materiales y artículos más compatibles con la naturaleza y libres de productos fósiles (Francisco et al., 2021). En esta situación, los biopolímeros se adaptan de forma impecable a las nuevas necesidades y preocupaciones agroindustriales, culturales y sociales, siendo una alternativa ecológica y de bajo costo que podría sustituir a los polímeros convencionales. Tanto el Estado como las empresas privadas ven en los polímeros biodegradables y el biorreciclaje una respuesta al manejo alternativo de los residuos plásticos contaminantes.

Existe una necesidad imperiosa de fomentar nuevos materiales biodegradables con propiedades y costos similares a los polímeros que se utilizan actualmente. Aunque hay un número impresionante de biopolímeros obtenidos artificialmente a partir de recursos naturales, una gran parte de ellos son costosos. La utilización de elementos agrícolas en aplicaciones poliméricas se considera un método interesante para disminuir el exceso de estos elementos y fomentar las aplicaciones no comestibles. Los polímeros biodegradables a base de almidón tienen un costo mínimo y se obtienen de un recurso agrícola inagotable (Amaya, 2019).

La presentación del almidón en el desarrollo de polímeros biodegradables es especialmente significativa, ya que se trata de un recurso sostenible que sustituye a recursos no renovables como el petróleo, del cual se fabrican numerosos polímeros de ingeniería convencionales. Entre los almidones más utilizados se encuentran los de papa y maíz. Sin embargo, el almidón propuesto en este estudio procede de la base de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) por tratarse de un recurso natural inagotable, abundante en Ecuador y toda América Latina, y de bajo costo (Rosales, 2016).

El principal problema es que los plásticos están compuestos por moléculas de carbono e hidrógeno de gran tamaño. Casi el 100% de estos se fabrican a partir de derivados del petróleo, lo que sobrecarga las fuentes de energía no sostenible (Cascarosa et al., 2022). Actualmente, es difícil renunciar al uso de plásticos debido a su facilidad y a su importancia económica, lo que se refleja en el rápido desarrollo de esta industria que ha superado prácticamente todas las actividades industriales desde principios del siglo pasado.

En los últimos tiempos, los problemas de contaminación provocados por los plásticos derivados del petróleo han adquirido una gran dimensión y variedad, lo que ha concienciado a la sociedad sobre los peligros actuales que supone su difícil degradación. Uno de los elementos que causa la polución natural son los polímeros manufacturados, que son muy solicitados por los compradores debido a su flexibilidad y bajo costo (Torres, 2019). En muchas zonas urbanas, la basura y los desechos sólidos se pueden ver por todas partes, desde los arroyos y parcelas vacías hasta los paseos, las calles y los parques. Estos componentes son en su mayoría de plástico, lo que causa un problema de bienestar y estética, generando un grave nivel de contaminación ecológica debido al tiempo que tardan en degradarse.

En el presente, los plásticos biodegradables se utilizan cada vez más en artículos cuya vida útil requiere un único uso. Los materiales utilizados en la composición de los revestimientos proceden de diferentes fuentes del reino animal y vegetal, tanto terrestres como marinos, así como de los microorganismos. Entre los polímeros naturales, el almidón se considera uno de los más prometedores para los materiales del futuro, debido a su atractiva mezcla de valor, accesibilidad y termoplasticidad (Rodríguez et al., 2021).

Es factible elaborar polímeros con un amplio abanico de propiedades utilizando varios almidones y sustancias añadidas biodegradables no dañinas, lo que resulta valioso para aplicaciones de empaquetado y envases. Estos polímeros tienen la capacidad de descomponerse en condiciones orgánicas dinámicas, aportando dióxido de carbono, agua y minerales sin infiltrar en la naturaleza residuos venenosos, peligrosos o sintéticos. La utilización de polímeros biodegradables, como el almidón de yuca, puede ser una alternativa viable debido a su bajo costo, su disponibilidad y su sencilla biodegradabilidad (Chimbo, 2021).

La investigación sobre los polímeros biodegradables es un campo excepcionalmente dinámico debido a los problemas generados por los plásticos derivados de hidrocarburos que causan daño a la naturaleza. Como resultado, han surgido numerosas opciones amigables con el medio ambiente para reemplazar los plásticos que se utilizan a diario (Labeaga, 2018). Entre los biopolímeros naturales que se consideran, el almidón es uno de los más abundantes y económicos. Su uso puede desempeñar un papel fundamental en la sustitución de los plásticos manufacturados, ayudando a mitigar el problema de la acumulación de residuos plásticos y disminuyendo la dependencia de materiales de origen fósil.

La yuca pertenece a la familia de las euforbiáceas y comprende alrededor de 7.200 especies, caracterizadas por el desarrollo de vasos laticíferos formados por células secretoras o galactocitos que producen una descarga suave. Su foco de origen genético se sitúa en la cuenca del Amazonas. Se han descrito alrededor de 98 tipos de la especie *Manihot*, de los cuales solo la yuca es económicamente importante y cultivada. Su proliferación alógama y su constitución hereditaria excepcionalmente heterocigótica son la principal justificación de su propagación por estacas y no por semilla sexual (Aguilar et al., 2017).

El aprovechamiento de esta planta queda demostrado por la utilización de su raíz, que contiene una gran cantidad de componentes, entre ellos el almidón, que es la forma habitual en la que la planta almacena energía mediante la ósmosis del carbono atmosférico a través de la clorofila presente en las hojas. La piel de la yuca es dura y leñosa, y poco apetecible, aunque su pulpa es firme y sorprendentemente dura antes de la cocción. Está surcada por hebras longitudinales inflexibles y es excepcionalmente rica en carbohidratos y azúcares. Sin embargo, se oxida rápidamente una vez que se elimina la piel (INIAP, 2014).

La yuca también se utiliza para producir almidón de uso industrial y otros productos implementados en la alimentación procesada. El almidón es un negocio importante en todo el mundo y está encontrando aplicación en varias industrias. Este puede desempeñar la mayoría de las funciones en las que actualmente se utiliza el almidón de maíz, arroz y trigo; aunque también puede usarse en el apresto y el teñido en las industrias textiles para aumentar el brillo y el peso de la tela (Ramos et al., 2018). En las industrias farmacéuticas, el almidón sirve como material de relleno y agente aglutinante para fabricar comprimidos. Además, tiene numerosos usos como aditivo en el cemento para mejorar el tiempo de fraguado y se utiliza para mejorar la viscosidad de los lodos de perforación en los pozos de petróleo.

El almidón se utiliza también para sellar las paredes de los pozos y evitar la pérdida de fluidos, convirtiéndose en los últimos años en la principal materia prima de las industrias de pegamentos y adhesivos. En la producción de papel, se utiliza como pegamento para conseguir brillo y resistencia, convirtiéndose en una importante materia prima para el polvo en las industrias cosméticas. En la fabricación de jabones y detergentes, el almidón se utiliza para mejorar la recuperación y prolongar la vida útil de los detergentes. Por otro lado, en las industrias del caucho y la espuma, se emplea para mejorar la espumación y el color (Bustamante y Peralta, 2018).

El almidón es una sustancia química orgánica, blanca y granulada, que producen todas las plantas verdes. Es un polvo blando e insípido que no puede disolverse en agua fría, alcohol u otros disolventes. También se considera un polisacárido compuesto por monómeros de glucosa unidos en enlaces  $\alpha$  1,4. La forma más simple de almidón es el polímero lineal amilosa, mientras que la amilopectina es la forma ramificada. La fórmula química básica de la molécula de almidón es  $C_6H_{10}O_5$ , y se puede fabricar a partir del exceso de glucosa producido durante la fotosíntesis, que sirve como reserva de alimento para la planta (Arguello, 2021).

El almidón se almacena en los cloroplastos en forma de gránulos y en órganos de almacenamiento como las raíces de la yuca, el tubérculo de la patata, la médula del tallo del sagú y las semillas del maíz, el trigo y el arroz (Villaruel et al., 2018). Cuando se necesita, el almidón se descompone en presencia de ciertas enzimas y agua en sus unidades monoméricas de glucosa constitutivas, que se difunden desde la célula para nutrir los tejidos de la planta. En los seres humanos y otros animales, el almidón de las plantas se descompone

en las moléculas de azúcar que lo componen, las cuales proporcionan energía a los tejidos (FAO, 2019).

Los polímeros poseen muchas propiedades deseables, como la resistencia al agua y la larga vida útil, que los convierten en candidatos idóneos para productos tanto de consumo como industriales. Sin embargo, los atributos que hacen que estos productos sean adecuados para diversas aplicaciones también son la principal causa de los problemas de eliminación de residuos en el medio ambiente. El deseo de contar con materiales poliméricos ecológicos ha suscitado una creciente atención debido a los problemas asociados a la eliminación de grandes volúmenes de residuos plásticos (Solano et al., 2020). Por ello, la mayoría de las investigaciones actuales se centran en la sustitución de los plásticos sintéticos por materiales biodegradables con propiedades similares y de bajo coste.

Los materiales biodegradables se convierten en compuestos naturales de agua, dióxido de carbono, metano y otros componentes biológicos una vez eliminados mediante microorganismos como hongos, bacterias, algas y otros agentes naturales. Por otro lado, los polímeros sintéticos se producen mediante diferentes tipos de reacciones. Muchos hidrocarburos simples, como el etileno y el propileno, pueden transformarse en polímeros añadiendo un monómero tras otro a la cadena en crecimiento. Tanto los polímeros biodegradables o biopolímeros como los materiales poliméricos sintéticos y naturales desempeñan un papel vital y omnipresente en la vida cotidiana (Barrios et al., 2015).

Es importante distinguir los biopolímeros según su origen que pueden ser nativos o sintéticos (Tabla 1). Los biopolímeros nativos representan la síntesis desarrollada durante un largo curso de evolución en la naturaleza, mientras que los sintéticos son el resultado de un siglo de investigación y desarrollo. Ambos dan lugar a materiales que poseen características adaptadas para diversas aplicaciones, como proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos y lípidos, que presentan características completamente diferentes según las condiciones de uso (Romero y Pereira, 2020). Los biopolímeros sintéticos han suscitado un interés creciente debido a la preocupación por la contaminación ambiental y la constatación de que nuestros recursos naturales son finitos (Amaya, 2019). Aunque se introdujeron por primera vez en la década de 1980, los biopolímeros sintéticos han atraído la atención en las últimas dos décadas (Amaya, 2019).

**Figura 1.**

Clasificación de los polímeros según su origen

Clasificación	Origen	Utilidad
<b>Ácidos nucleicos</b>	ADN y ARN	Almacenamiento
		Información genética
<b>Polisacáridos</b>	Quitina	Estructurales
	Celulosa	Reservas
<b>Proteínas</b>	Queratina	Estructurales
	Hormonas	Funcionales

Elaborado: Chávez y Vera (2022) Fuente: Valerezo (2012)

En línea con lo mencionado anteriormente, la investigación aporta información obtenida de fuentes académicas rigurosas, que se han analizado y propuesto en relación con las variables de investigación para que sirvan de referencia para futuras investigaciones sobre el tema. Asimismo, se enfoca en los métodos que orientan los pasos a seguir para obtener información relevante sobre el estudio y, por lo tanto, se puede proponer la técnica e instrumento correspondiente a la investigación que proporcione datos importantes para comprender el problema. Por lo tanto, se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se obtienen polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca?

Con la finalidad de encontrar una solución, este artículo busca proporcionar una visión general sobre la obtención de polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca y su potencial para sustituir los materiales plásticos convencionales en diferentes aplicaciones. El uso de almidón de yuca como materia prima para la producción de polímeros biodegradables representa una solución sostenible y respetuosa con el medio ambiente, y puede contribuir a reducir el impacto ambiental de los materiales plásticos convencionales.

## Material y métodos

### Metodología

La investigación presentó un enfoque cualitativo que aplica un proceso interpretativo, crítico y sistémico en relación con la obtención y el análisis de los datos, permitiendo una mejor inferencia y comprensión del hecho estudiado (Baena, 2017). En cuanto al alcance de la investigación, se aplicó un nivel documental, mediante la cual se procuró obtener, seleccionar, compilar, organizar, interpretar y analizar información sobre un objeto de estudio a partir de fuentes bibliográficas. En una investigación, las técnicas permiten la aplicación del método en el contexto donde se ejecuta con el fin de alcanzar los objetivos propuestos (George, 2019); en ese sentido, para recolectar los datos se usó el análisis de

contenido como técnica de interpretación de textos y documentos, permitiendo la obtención de información relevante para la investigación (Fuster, 2019).

Los materiales utilizados para el presente trabajo se centraron en la búsqueda sistemática apoyada en la recopilación bibliográfica exhaustiva de la literatura científica existente sobre la obtención de polímeros biodegradables a partir de almidón de yuca. Se propuso discernir las mejores prácticas a partir de la revisión de la literatura especializada y de la consulta en fuentes de información como bases de datos digitales, tesis y revistas científicas como Redalyc, Scielo, Scopus, Dialnet y Springer, entre otras (Corona, 2018). En ese sentido, se desarrolló el siguiente procedimiento:

En primer lugar, se aplicó el método inductivo que permitió seleccionar la técnica más adecuada que conllevaron a la obtención de las conclusiones (Hurtado, 2020). Por tanto, no hubo intervención de las variables como ocurre en otros estudios, sino que se realizó una descripción y análisis de los elementos de estudio. En este nivel, se trabajó sobre realidades, lo que es necesario para la correcta interpretación del fenómeno a estudiar (Gabriel, 2017).

El segundo paso se enfocó en la búsqueda de literatura donde se incluyó todo tipo de documentos aportados por las diferentes instituciones profesionales que habían hecho publicaciones acerca de los diferentes parámetros óptimos sobre los polímeros biodegradables producido del almidón de yuca. Respecto al análisis de contenido, se aplicó en diferentes artículos porque este deja de ser superficial debido a que se hace uso de los ordenadores y el aprendizaje automático para la interpretación de los textos. Aunado a este están los estudios científicos a lo que se aplicó como criterio de inclusión que las técnicas aplicadas fueran direccionadas al área científica. Como criterios de exclusión se consideraron los artículos no incluyeran información sobre otras variedades de tubérculos que no estuvieran dirigidos a la elaboración de biopolímeros, o documentos que fueran de carácter científico.

Para el desarrollo del estudio se seleccionaron las investigaciones que habían estudiado el polímero biodegradable producido a partir de almidón de yuca, y para proceder a la selección se revisaron los artículos con el fin de decidir si la información que contenían estaba o no relacionada con el tema propuesto y el objetivo principal. En la revisión sistemática se extrajo información relacionada sobre los autores, el año de elaboración y publicación, la finalidad, las fuentes de información y las conclusiones. En los estudios originales se obtuvieron datos de los resultados arrojados por los polímeros degradables producidos a partir de almidón. Por último, se resalta los aspectos más importantes de las investigaciones elegidas entre las que se encuentran Yautibug (2021), Vélez et al. (2021), Alvares y Carpio (2019), Yamunaqué et al. (2018), Crespo y Rivera (2018), Menoscal y Rodríguez (2017), mismas que se exponen a continuación:

Alvares y Carpio (2019) afirmaron que la yuca es una materia prima pionera para la producción de plásticos biodegradables de origen vegetal debido a su abundancia y disponibilidad en diferentes partes del planeta; aunque los plásticos microbianos son

cuantitativamente más eficientes, son más caros. Según los autores, las técnicas de producción de polímeros biodegradables son básicamente las mismas que las utilizadas para la producción de plásticos derivados del petróleo, pero difieren en el tipo de materia prima y los parámetros controlados durante la producción, como la temperatura de calentamiento de la mezcla y la presión que se maneja durante el proceso de soplado.

En su investigación, Yautibug (2021) hizo hincapié en la extracción del almidón de las conchas de la yuca amarilla para evaluar las diferentes interacciones entre este material y los aditivos utilizados para obtener el bioplástico. El objetivo era evaluar las propiedades físicas y mecánicas del producto resultante. El estudio incluyó la determinación del rendimiento de almidón, su caracterización, la del bioplástico y la biodegradación. Se concluyó que el biopolímero obtenido a partir de la cáscara de la yuca amarilla fue muy efectivo para envolver alimentos y mantenerlos frescos.

En el artículo de Vélez et al. (2021), se destaca el interés en el desarrollo y mejoramiento de bioplásticos a base de almidón, los cuales son biodegradables y se obtienen a partir de materias primas agrícolas. El estudio describe el proceso de gelatinización y se presentan las propiedades mecánicas del bioplástico extraído de las cáscaras de yuca. Determinaron que la gelatinización de los residuos mejora sus propiedades mecánicas en función de sus propiedades fisicoquímicas y funcionales. También comprobaron que la adición de sustancias poliméricas sintéticas y naturales, generan las propiedades mecánicas necesarias para que el bioplástico extraído del almidón de yuca pueda trabajar como un termoplástico.

En otro estudio centrado en los biopolímeros, realizado por Yamunaqué et al. (2018), se buscó diseñar un sistema productivo para la obtención de bolsas biodegradables a partir del almidón de yuca. Se enfocaron en producir bolsas biodegradables a partir del almidón de yuca y se determinó que en el 50% de las muestras de bioplástico se obtienen las características esperadas, dependiendo de los tipos y cantidades de insumos utilizados para cada una. Esto supone una alternativa interesante para la industria del plástico en términos de sostenibilidad y cuidado del medio ambiente.

El estudio de Crespo y Rivera (2018) se centró en la producción de empaques biodegradables a partir de almidón de diferentes tubérculos, con el objetivo de encontrar una alternativa a la alta contaminación generada por el uso inadecuado de bolsas plásticas y materiales similares. Determinaron que la yuca era la materia prima principal para la elaboración de los empaques biodegradables. Los resultados indicaron que los mejores tratamientos se encontraron en los productos de yuca, utilizando los métodos de extracción y conservación adecuados. En resumen, este estudio proporciona información valiosa sobre la producción de empaques biodegradables a partir de almidón de tubérculos, y destaca la importancia de elegir las materias primas y los métodos adecuados para lograr resultados óptimos en términos de calidad y sostenibilidad.

El estudio realizado por Menoscal y Rodríguez (2017) se centró en desarrollar láminas biodegradables a partir de residuos de almidón de yuca, como una alternativa para reducir la

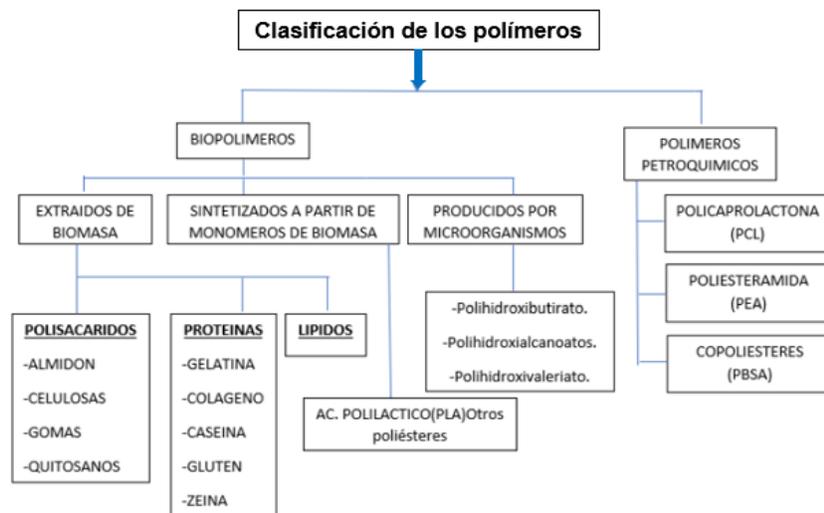
contaminación por polímeros no degradables y mitigar el uso de plásticos convencionales. Utilizaron el residuo de almidón de yuca como materia prima y se evaluó la importancia de las propiedades adicionales que le proporcionan al plástico los plastificantes, tales como agua, glicerina y vinagre. Se formaron tres mezclas en proporciones adecuadas, que luego se sometieron a temperaturas entre 60 y 67°C y se colocaron en moldes. Las láminas resultantes se sometieron a condiciones de entierro e intemperie durante 90 días, realizando observaciones cualitativas dos veces por semana hasta alcanzar al menos un 90% de degradación.

## Resultados y discusión

En términos generales, los biopolímeros se clasifican según su método de producción, ya sea a partir de recursos renovables, como las plantas y animales, o mediante la síntesis total como ocurre en el caso del uso de la yuca. También existen polímeros que se sintetizan a partir de derivados del petróleo, pero son biodegradables al final de su ciclo de vida. Además, están los biopolímeros que se fabrican a partir de fuentes mixtas, es decir, combinaciones de materiales de base biológica y monómeros derivados del petróleo (Ramírez, 2021). Tras la revisión documental se precisó la clasificación general de los polímeros (Figura 1). Asimismo, se observó que existen tres clases relevantes de materiales biodegradables; en primer lugar, los obtenidos a base de recursos renovables; los polímeros; en segundo lugar, los basados en recursos de petróleo; y en tercer lugar los provenientes de los recursos renovables.

**Figura 2.**

Clasificación general de los polímeros



Fuente: Castro (2016); Aldana et al. (2020)

De acuerdo con Barreiro y Coronel (2021), el almidón de yuca se utiliza en numerosas aplicaciones alimentarias e industriales debido a sus propiedades funcionales, aunque aún es

necesario profundizar en sus características y propiedades. Los gránulos de almidón de yuca son redondos, con un extremo truncado y un hilio bien definido, y oscilan en tamaño entre 5 y 35  $\mu\text{m}$ . El patrón de difracción de rayos X del almidón de yuca es de tipo A, y su contenido en proteínas y lípidos es muy bajo (inferior al 0,2%), por lo que no debería formarse complejos de amilosa con lípidos en el almidón nativo.

Según Rodríguez et al. (2022), en la fabricación de biopolímeros a partir de yuca, se emplean métodos como la gelatinización, que implica calentar los gránulos de almidón a una temperatura entre 60 y 70 °C para que se inflen y aumenten de volumen. Los almidones se pueden clasificar en nativos, que no han sufrido cambios químicos durante su obtención, y modificados, que sí han sido modificados químicamente. Para Aldana et al. (2020), la glicerina es uno de los ingredientes más utilizados en la fabricación de biopolímeros debido a sus propiedades plastificantes, que mejoran la flexibilidad y la resistencia a la rotura del material. La glicerina es incolora, inodora, higroscópica y dulce, y se disuelve en agua. A esto Bernedos y Palomino (2020), dicen que también es estable y compatible con otros materiales. Es importante tener cuidado con la combustión de la glicerina, ya que puede generar gases tóxicos si se calienta por encima de cierta temperatura.

La capacidad de los productos obtenidos a partir de polímeros biodegradables se relaciona con diversas propiedades mecánicas, funcionales y físicas, como la resistencia a la tensión, elongación a la rotura, barrera al vapor de agua, oxígeno y dióxido de carbono, opacidad y color. Muchos almidones de yuca, extraídos de cultivos sudamericanos se han utilizado para desarrollar películas biodegradables utilizando glicerol en una proporción de 2:5, y se han evaluado las propiedades mecánicas de cada tratamiento. La formulación basada en almidón de yuca demostró tener altos valores de elongación a la rotura, y sus propiedades mecánicas dependieron de la fuente de almidón seleccionada.

Se han agregado materiales de relleno y refuerzo, como celulosa, gomas y polímeros derivados de plantas y animales, para mejorar la biodegradabilidad, elasticidad, rigidez y resistencia del material. Al mezclar diferentes elementos con el almidón de yuca, se han creado láminas parecidas a las obtenidas de los hidrocarburos. De acuerdo con Riera (2018), los estudios realizados para obtener biopolímeros a partir del almidón de yuca han demostrado que los polímeros biodegradables presentan mejores propiedades mecánicas.

Se han realizado estudios para obtener biopolímeros a partir del almidón de yuca para su uso como material biodegradable. Estos biopolímeros se obtienen mediante la modificación del almidón de yuca, teniendo en cuenta las especificaciones generales de cada estudio, como por ejemplo el porcentaje de ácido acético al 5%. El resultado es un polímero con un 61,76% de amilosa y un 38,28% de amilopectina. Las pruebas de elongación y tracción realizadas demostraron que los biopolímeros presentan una mejor propiedad mecánica. Zavaleta (2019) utilizó aditivos como Chitosan y Xanthan en diferentes proporciones para mejorar las propiedades mecánicas y textura del material, logrando elaborar láminas poliméricas a las que realizó pruebas de elongación y tracción, obteniéndose valores entre el 33% y 8,47 N,

respectivamente. Las espectroscopias de infrarrojo y Uv-Vis realizadas a los biopolímeros mostraron picos de celulosa y transmitancia de 87%.

Roman et al. (2015) destacaron que el almidón puro puede producir materiales quebradizos y muy sensibles al agua, con propiedades mecánicas pobres, por esto, recomendaron combinar el almidón con otros materiales poliméricos para producir un material con propiedades mecánicas óptimas, como resistencia al agua, flexibilidad y resistencia al rompimiento. Los polímeros añadidos deben ser biodegradables y preferiblemente hidrófobos. Agregaron las opciones como hidrocoloides solubles en agua, pero que no presenten restos de proteína con rangos de 0,05 % a 15% del total de sólidos de la solución.

Según los estudios revisados, aunque el almidón de yuca nativo cumple con ciertas características requeridas, presenta desventajas en comparación con los polímeros convencionales debido a sus propiedades físico-químicas. Yagos (2022) propone utilizar Quitosano y plastificadores como glicerina, agua destilada y etanol para mejorar sus propiedades físicas, mecánicas y antimicrobianas.

Aunque el almidón de yuca tiene un buen desempeño en general, exhibiendo propiedades como la elongación a la ruptura, la transición vítrea y la permeabilidad a los gases, su uso sin modificar es limitado debido a su fragilidad, deterioro en condiciones ambientales húmedas, viscosidad y falta de compatibilidad con algunos solventes y polímeros. Sin embargo, la combinación del almidón de yuca con diferentes aditivos, es considerada por Cornejo et al. (2020) como una excelente opción para fortalecer sus propiedades.

La creación de biopolímeros a partir del almidón de yuca es una opción interesante para la industria del plástico, ya que aún no es muy común en el país y puede mejorar la calidad de los productos utilizando fuentes sostenibles. Quiroga y García (2020) concuerdan que esto podría beneficiar a los productores de yuca al agregar valor al producto, lo que podría disminuir las pérdidas económicas posteriores a la cosecha debido al bajo interés del mercado (Quigua y García, 2020).

Desde una perspectiva general, la obtención de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca requiere un proceso que asegure las proporciones adecuadas. Salas (2022) expresa que se debe realizar una mezcla inicial de almidón de yuca y agua para lograr una homogeneización adecuada mediante la aplicación de agitación continua a una temperatura de aproximadamente 25°C durante media hora, lo que ayuda a eliminar las burbujas de oxígeno y a humedecer el almidón. A continuación, se realiza una segunda mezcla para generar la gelatinización, lo que implica la descomposición de los gránulos de almidón mediante la adición de glicerina o glicerol a la solución de la primera mezcla. Este proceso se lleva a cabo a una temperatura de 70°C durante 20 minutos, lo que aumenta la movilidad de las moléculas y provoca una transformación en la cristalinidad. Esto mejora las propiedades mecánicas del biopolímero, al que se le puede agregar un agente que fortalezca sus propiedades antioxidantes y de barrera.

Para preparar una tercera mezcla, se debe diluir quitosano en ácido acético a una temperatura de 25°C durante 10 minutos para crear una homogenización y luego filtrar la solución. La reacción principal de la cadena polimérica del almidón de yuca se lleva a cabo mediante la polimerización a una temperatura de 75°C durante 15 minutos. Aldana et al. (2022) convergen en que se debe agregar extracto de etanol y quitosano para estimular las propiedades microbianas mediante la condensación de las partículas de etanol. Por último, se extrae el material biodegradable obtenido y se seca a 25°C durante 24 horas.

Luego de la revisión bibliográfica desarrollada mediante el análisis de contenido y en concordancia con el objetivo propuesto, se presenta de manera resumida las condiciones mínimas para obtener polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca en un laboratorio convencional:

1. El proceso de elaboración de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca implica la mezcla del almidón con diferentes reactivos que cumplen la función de plastificantes, extensores, espesantes, lubricantes, humectantes y desmoldantes. De acuerdo con los investigadores más actuales que han estado trabajando en la obtención de polímeros biodegradables a partir del almidón, los métodos más comunes deben incluir la modificación química del almidón y la mezcla de almidón con otros biopolímeros.
2. Materiales: yuca fresca; agua; hidróxido de sodio (NaOH); ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH); acetato de sodio (CH<sub>3</sub>COONa); glicerol; almidón de yuca; ácido poliláctico (PLA). Entre los quipos y materiales de laboratorio se tienen una licuadora o procesador de alimentos; tamiz o colador; matraz de Erlenmeyer; agitador magnético con barra magnética; termómetro; balanza de precisión; espátula; papel parafinado; horno de secado; prensa hidráulica o prensa de rodillo (opcional); espectrómetro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR).
3. Métodos: para la obtención del almidón de yuca primero esta se debe lavar para eliminar cualquier impureza. Luego de corta en trozos para procesar en una licuadora o procesador de alimentos con agua hasta obtener una mezcla homogénea. Seguidamente se cuele la mezcla para separar el líquido y los sólidos. Después se deja reposar la mezcla durante unas horas para que el almidón se asiente en el fondo del recipiente, se descarta el líquido y secar el almidón en un horno de secado.
4. Para la obtención del polímero se debe disolver el almidón de yuca en 10% de agua destilada removiendo con una varilla para evitar grumos y calentar a 60-70°C para formar una pasta homogénea a la que se le agrega hidróxido de sodio y agitar para aumentar el pH de la mezcla a alrededor de 10. Se debe agregar una solución de ácido acético al 3% en agua destilada con el fin de disminuir el pH a alrededor de 5.5 para formar un gel.

5. La preparación de la solución de glicerol se hace al 30% en agua destilada, se mezcla la solución de almidón con la solución de ácido acético en una proporción de 3:1. Y luego, se agrega la solución de glicerol en una proporción de 1:1, removiendo constantemente. Para el ajuste del pH de la solución con hidróxido de sodio (NaOH) hasta alcanzar un pH de 7.5. Al estar formado un gel, se agrega la mezcla hasta obtener una masa homogénea. Seguidamente se estira la masa entre dos hojas de papel parafinado y prensar con una prensa hidráulica o prensa de rodillo para obtener una lámina uniforme con un espesor deseado. Luego, se lleva la lámina a un horno de secado, y para mejorar las propiedades mecánicas del polímero, se puede mezclar con ácido poliláctico en una proporción adecuada y someter a un proceso de extrusión.
6. En la caracterización del polímero se realizan análisis químicos y físicos para determinar la composición y las propiedades físicas del polímero obtenido, como su densidad, resistencia a la tracción, elongación, entre otros. Aunado a esto se deben hacer pruebas de biodegradabilidad para evaluar la capacidad del polímero para descomponerse en el medio ambiente. Además, si se dispone de un espectrómetro FTIR, se puede utilizar para analizar la estructura molecular del polímero.

Para Pesantes y Alberca (2021), ante la necesidad de encontrar una alternativa para reemplazar los polímeros comunes, el almidón de yuca se presenta como una opción viable como polímero biodegradable debido a su cadena molecular, que permite la generación de un elemento biodegradable que se degrada naturalmente con la ayuda de microorganismos presentes en diferentes ecosistemas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las propiedades del almidón de yuca por sí solas no son comparables a las de los polímeros comunes, por lo que es necesario modificar químicamente el almidón mediante la gelatinización de sus gránulos con la aplicación de temperaturas moderadas o relativamente bajas para mejorar sus propiedades mecánicas.

## Conclusiones

La combinación de almidón de yuca con otros polímeros es una alternativa viable para desarrollar materiales biodegradables. Para ello, los estudios sugieren utilizar otro polímero para obtener mejoras en las propiedades mecánicas y más biodegradación. Además, la elaboración a base de almidón de yuca obtuvo el mejor resultado en cuanto a elongación a la rotura.

Según el estudio realizado y en concordancia con las investigaciones revisadas, para obtener polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca, este debe ser modificado un porcentaje de ácido acético al 5% lo que dará como resultado biopolímero con un 61,76% de amilosa y 38,28% de amilopectina.

De acuerdo con los estudios, los polímeros biodegradables de almidón de yuca que, obtenidos con la prueba de tracción, fueron muy similares a los plásticos comunes, con gran estabilidad, pero con opacidad. Dentro de la revisión bibliográfica de fuentes confiables, se encontró muchos experimentos realizados para obtener biopolímeros a través de distintos procesos y con diferentes productos que contienen almidón lo que comprueba la tendencia de para investigar y experimentar en relación a los polímeros biodegradables.

Se evidenció que en el 50% de las muestras del polímero biodegradables se llega a obtener las características estimadas, considerando los tipos y cantidades de insumos utilizados, lo que significa que puede este material puede usarse como sustituto del plástico.

Los componentes utilizados para la elaboración de los polímeros biodegradables son económicos y de fácil acceso; además, su proceso de elaboración no es complejo y puede ser preparado en un lapso corto, por lo que su elaboración es una alternativa factible al uso de polímeros sintéticos.

Varias de las propiedades de los polímeros biodegradables obtenidos son similares a las del plástico común en cuanto a la resistencia, flexibilidad y espesor, con la ventaja de tener un tiempo corto de degradación y descomposición, lo que las hace muy ecológicas, pues a la intemperie las proporciones de materia prima utilizadas necesitan un máximo de 90 días con un 80% de residuo de almidón de yuca, para su degradación casi total.

El almidón de yuca es una fuente renovable y biodegradable, lo que lo hace un candidato ideal para la producción de polímeros biodegradables. Además, tiene propiedades interesantes como la capacidad de formar películas y la capacidad de ser procesado utilizando técnicas de transformación convencionales. En este contexto, los polímeros biodegradables han surgido como una solución prometedora para la reducción de los desechos plásticos por descomponerse en el medio ambiente en un período de tiempo relativamente corto, de manera que no generan acumulación de residuos.

## Referencias bibliográficas

- Aguilar, E., Segreda, A., Saborío, D., Morales, J., Chacón, M., Rodríguez, L., Acuña, P., Torres, S. y Gómez, Y. (2017). *Manual del cultivo de yuca. Manihot esculenta Crantz*. Costa Rica: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10918.pdf>
- Aldana, J., Ortiz, L. y Triana, C. (2020). *Formulación teórica para la obtención de filmes y revestimientos a base almidón de yuca*. [Tesis de grado, Universidad ECCI]. <https://acortar.link/j6HZRk>
- Amaya, J. (2019). Estudio de la dosificación del almidón extraído del banano en un polímero de tipo termoplástico. *Revista Colombiana de Química*, 48(1). <https://www.redalyc.org/journal/3090/309058491012/309058491012.pdf>

- Arguello, P. (2021). Composición química, morfología y propiedades tecnológicas de los almidones nativos de origen andino: una revisión sistemática. *RECIENA*, 1(2), 45 – 57. <http://revistas.esPOCH.edu.ec/index.php/reciena/article/view/623>
- Alvares, M. y Carpio, I. (2019). *Estudio bibliográfico preliminar para la producción de plásticos biodegradables a partir de harina de yuca*. [Tesis de grado, Universidad Católica San Pablo]. [https://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/16051/1/ALVARES\\_MAMANI\\_MAR\\_BIO.pdf](https://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/16051/1/ALVARES_MAMANI_MAR_BIO.pdf)
- Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación*. México: Grupo Editorial Patria, S.A. de C.V. <https://acortar.link/UojSA>
- Barreiro, F. y Coronel, A. (2021). *Bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) y almidón de yuca (Manihot esculenta) como sustituto de poliestireno en la elaboración de platos biodegradables*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1402/1/TTAI10D.pdf>
- Barrios, A., García, S., Manríquez, R., Rivera, J. y Lomelí, M. (2015). Compósitos biodegradables elaborados a partir de almidón termoplástico y partículas de madera de fresno. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(28),26-41. <https://www.redalyc.org/pdf/634/63442133003.pdf>
- Bernedos, K. y Palomino, N. (2020). *Aprovechamiento de Macrocystis pyrifera para la elaboración de bioplástico, Lima, 2020*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://acortar.link/PyEfHk>
- Bustamante, R. y Peralta, M. (2018). *Caracterización de biopolímero obtenido a partir de leche de vaca y almidón de yuca*. [Tesis de grado, Universidad Guayaquil]. <https://acortar.link/8BJnC>
- Cascarosa, E.; Pozuelo, J. y Calvo, M. (2022). ¿Plásticos sí o plásticos no? Trabajando prácticas científicas con estudiantes de bachillerato *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(1). <https://www.redalyc.org/journal/920/92068491020/92068491020.pdf>
- Chimbo, M. (2021). *Producción de plástico biodegradable para el uso en alimentos a partir del almidón de residuos de yuca (Manihot esculenta)*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14783/1/236T0544.pdf>
- Cornejo, G.; Marinero, E.; Funes, C. y Toruño, P. (2020). Biopolímeros para uso agro industrial: alternativa sostenible para la elaboración de una película de almidón termo plástico biodegradable. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio*

- Climático*. 6(11).  
<http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/394/3941758005/html/index.html>
- Corona, J. (2018). Investigación cualitativa: fundamentos epistemológicos, teóricos y metodológicos. *Vivat Academia*, (144), 69-76.  
<https://www.redalyc.org/journal/5257/525762351005/>
- Crespo, M. y Rivera, J. (2018). *Estudio del proceso de obtención de empaques biodegradables a partir del almidón de diferentes tubérculos: papa (Solanum tuberosum), yuca (Manihot esculenta), papa china (Colocasia esculenta), camote (Ipomoea batatas)*. [Trabajo de grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].  
<https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2930/1/T-UTEQ-0054.pdf>
- Dávila, D. y Zavaleta, M. (2019). *Síntesis de un termoplástico de cáscara de yuca (Manihot esculenta) influencia de la concentración de látex de caucho, glicerina y agua en su resistencia mecánica y absorción de agua*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://acortar.link/tLsp3M>
- FAO (2019). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos*. Roma.  
<http://www.fao.org/3/ca6030es/ca6030es.pdf>
- Francisco, B.; Vidal, I.; Maldonado, Y.; Jiménez, J.; Flores, V.; Arámbula, G. y Salazar, R. (2021). Efecto de la adición de subproductos agroindustriales en las propiedades físicas de un bioplástico almidón-gelatina. *Biotecnia*, 23(1), 52-61.  
<https://www.redalyc.org/journal/6729/672971078007/672971078007.pdf>
- Fuster, D. (2019). Investigación cualitativa: Método fenomenológico hermenéutico. *Propósitos y Representaciones*, 7(1), 201-229.  
<http://www.scielo.org.pe/pdf/pyr/v7n1/a10v7n1.pdf>
- Gabriel, J. (2017). Cómo se genera una investigación científica que luego sea motivo de publicación. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 8(2), 145-146.  
<https://www.redalyc.org/pdf/3613/361353711008.pdf>
- George, C. (2019). Estrategia metodológica para elaborar un estado del arte como un producto de investigación científica. *Praxis Educativa*, 23(3), 1-14.  
<https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/praxis/article/view/3672>
- Hurtado, F. (2020). Fundamentos Metodológicos de la Investigación: el génesis del nuevo conocimiento. *Revista Científica*, 5(16), 99-119.  
<https://www.redalyc.org/journal/5636/563662985006/html/>
- INIAP (2014). *Cultivo de yuca en el Ecuador*. Estación Experimental Portoviejo: Boletín Divulgativo N° 436.  
<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5214/1/INIAPEEPbd436.pdf>

- Labeaga, A. (2018). *Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones*. [Tesis de maestría; Universidad Nacional de educación a Distancia]. <https://acortar.link/2zv8Q>
- Menoscal, R. y Rodríguez, E. (2017). *Elaboración de láminas biodegradables a partir de los residuos del almidón de yuca (Manihot esculenta)*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”]. <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/623/1/TMA141.pdf>
- Pesantes, D. y Alberca, A. (2021). *Estudio de la obtención de un material polimérico biodegradable a partir de los desechos de la yuca por adición de agentes plastificantes*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21090/1/UPS-CT009269.pdf>
- Quigua, Y. y García, J. (2020). *Diseño de una biopelícula a partir de un biopolímero almidón de Manihot Esculenta “yuca” para la liberación de fármacos -sulfonamidas en cavidad oral*. [Tesis de grado, Universidad Antonio Nariño]. <http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/2760/1/2020yinaquigua.pdf>
- Ramírez, C. (2021). *Desarrollo de un envase térmico biodegradable a base de harinas de cascarilla de (Oryza sativa), cáscara de mango (Mangifera indica) y almidón de yuca (Manihot esculenta)*. [Tesis de grado, Universidad católica Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/16139/1/T-UCSG-PRE-TEC-CIA-77.pdf>
- Ramos, M.; Romero, C. y Bautista, S. (2018). Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(1). <https://www.redalyc.org/journal/813/81355612003/81355612003.pdf>
- Riera, M. (2018). Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador. *Avances en Química*, 13(3), 69-78. <https://www.redalyc.org/journal/933/93368279005/html/>
- Rodríguez; E.; Bernal, A.; Gaitán, H.; Kim, C.; Salguero, J.; Toledo, E.; Vásquez, C. y Martínez, A. (2021). La Ciencia de los Polímeros Biodegradables. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 10. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3337>
- Rodríguez, J.; Montenegro, V. y Marín, Nacarí. (2022). Fabricación de polímeros a base de almidón de tubérculos panameños seleccionados. *Revista de Iniciación Científica*, 8. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/338/3383062004/>
- Román, Y.; Techeira, N.; Yamarte, J.; Ibarra, Y. y Fasendo, M. (2015). Caracterización físico-química y funcional de los subproductos obtenidos durante la extracción del

almidón de musáceas, raíces y tubérculos. *Interciencia*, 40(5),350-356.  
<https://www.redalyc.org/pdf/339/33937066010.pdf>

Romero, A. y Pereira, J. (2020). Estado del arte: Quitosano, un biomaterial versátil. Estado del Arte desde su obtención a sus múltiples aplicaciones. *Revista INGENIERÍA UC*, 27(2), 118-135. <https://www.redalyc.org/journal/707/70764230002/html/>

Rosales, A. (2016). *Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (Colocasia esculenta), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAN-Managua, Mayo – Abril 2016*. [Tesis de grado; Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/2687/1/28212.pdf>

Salas, S. (2022). *Estudio comparativo de materiales de bolsas biodegradables, elaboradas en almidón de yuca, y las bolsas plásticas*. [Tesis de grado, Universidad Libre de Barranquilla]. <https://acortar.link/sb0MmZ>

Solano, L.; Alamilla, L. y Jiménez, C. (2020). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 21(2). [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-888X2018000421203](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2018000421203)

Torres, J. (2019). Estudio de los flujos de dispersión de los residuos plásticos en el Golfo de Cádiz debido a las corrientes superficiales marinas: una propuesta didáctica para iniciar a los alumnos de 1º ESO en la indagación científica escolar. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(3). <https://www.redalyc.org/journal/920/92058878008/92058878008.pdf>

Vélez, C., Zambrano, X., Delgado, M., Burgos, G. y Cedeño, C. (2021). Almidones de cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) y papa (*Solanum tuberosum*) para producción de bioplásticos: propiedades mecánicas y efecto gelatinizante. *Revista Bases de la Ciencia*, 6(2), 137-152. <https://zenodo.org/record/7013804#.YwvSID9BzIU>

Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C. y Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Rev Chil Nutr*, 45(3): 271-278. <https://www.scielo.cl/pdf/rchnut/v45n3/0717-7518-rchnut-45-03-0271.pdf>

Yagos, C. (2022). *Síntesis de un polímero compostable a partir de almidón, como una alternativa para preparar plásticos de primer uso*. [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34277/1/t1935mquim.pdf>

Yamunaqué, K., Farfán, M., Maza, J. Navarro, E. y Saavedra, Oliver. (2018). *Diseño de un sistema productivo para la obtención de bolsas biodegradables a partir del almidón de yuca en la empresa Polímeros del Norte S.A.C*. [Tesis de grado, Universidad de Piura]. <https://acortar.link/KDNUh>



Yautibug, M. (2021). *Elaboración y caracterización de bioplásticos a partir de cáscaras de yuca (Manihot esculenta) para la envoltura de alimentos*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15446>

**Conflicto de intereses:**

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

**Financiamiento:**

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

**Agradecimiento:**

N/A

**Nota:**

El artículo no es producto de una publicación anterior.