



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO  
CARRERA DE BIOTECNOLOGIA**

**ANÁLISIS DE LA COMPETITIVIDAD DE LOS BIOPLÁSTICOS DERIVADOS DE  
RESIDUOS ORGÁNICOS: PRODUCCIÓN, PROPIEDADES Y APLICACIONES**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERAS EN BIOTECNOLOGIA**

**AUTOR: LEYDI ANAHY CARVAJAL CASTRO**

**ANA PAULA DELGADO MEDINA**

**TUTOR: IBARRA MARTINEZ MARCO VINICIO**

**Quito-Ecuador**

**2025**

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotras, Leydi Anahy Carvajal Castro con documento de identificación N° 1751586262 y Ana Paula Delgado Medina con documento de identificación N° 1754807707; manifestamos que: somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 18 de septiembre del año 2025

Atentamente,



-----  
Leydi Anahy Carvajal Castro

1751586262



-----  
Ana Paula Delgado Medina

1754807707

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Leydi Anahy Carvajal Castro con documento de identificación N° 1751586262 y Ana Paula Delgado Medina con documento de identificación N° 1754807707, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo experimental: “ Análisis de la competitividad de los bioplásticos derivados de residuos orgánicos: producción, propiedades y aplicaciones”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniería en Biotecnología, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 18 de septiembre del año 2025

Atentamente,

-----  
Leydi Anahy Carvajal Castro

1751586262

-----  
Ana Paula Delgado Medina

1754807707

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Marco Vinicio Ibarra Martínez con documento de identificación N° 1720878329, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA COMPETITIVIDAD DE LOS BIOPLÁSTICOS DERIVADOS DE RESIDUOS ORGÁNICOS: PRODUCCIÓN, PROPIEDADES Y APLICACIONES, realizado por Leydi Anahy Carvajal Castro con documento de identificación N° 1751586262 y Ana Paula Delgado Medina con documento de identificación N° 1754807707, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 18 de septiembre del año 2025

Atentamente,



-----  
Ing., Marco Vinicio Ibarra Martínez, MSc

1720878329

## **Dedicatoria y agradecimiento**

Con profunda gratitud, este trabajo se dedica a nuestros padres, pilares fundamentales en nuestra vida, cuyo amor incondicional, esfuerzo incansable y ejemplo constante nos han guiado con firmeza y ternura en cada paso de este camino. A ellos, que han creído en nosotros incluso en los momentos de duda, y que con su sacrificio silencioso hicieron posible este logro, les entregamos con orgullo este fruto de nuestro esfuerzo.

Dedicamos también estas páginas a nuestros maestros, quienes con su vocación, paciencia y compromiso sembraron en nosotros la semilla del conocimiento y la curiosidad. Su guía no solo nos formó académicamente, sino que también nos inspiró a perseverar con ética, pasión y responsabilidad en cada desafío asumido.

A cada uno de ellos, nuestro más sincero y profundo agradecimiento.

## RESUMEN

La preocupación ambiental frente a la contaminación causada por plásticos convencionales ha impulsado el desarrollo de alternativas sostenibles que permitan reducir el impacto ecológico y promover el aprovechamiento de residuos agroindustriales. Este trabajo tuvo como objetivo analizar la competitividad de los bioplásticos elaborados a partir de residuos orgánicos. Se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura científica reciente, empleando bases de datos académicas y documentos técnicos, con el fin de identificar las materias primas empleadas, los métodos de obtención y las propiedades funcionales de los bioplásticos. El contenido se organizó describiendo, en primer lugar, las materias primas más relevantes, posteriormente los procesos de producción identificados, las propiedades fisicoquímicas evaluadas y, finalmente, un análisis económico comparativo respecto a plásticos tradicionales. Se identificaron materias primas como almidón de maíz, cáscara de plátano, yuca, papa y residuos de cacao, junto con técnicas de producción accesibles como la gelatinización térmica, la mezcla con plastificantes y el moldeo por calor. Se constató que la adición de aditivos funcionales influye significativamente en propiedades como flexibilidad, resistencia mecánica y permeabilidad. Asimismo, muchos bioplásticos derivados de residuos presentan tiempos de biodegradación que varían entre 15 y 60 días en condiciones naturales o de compostaje, lo que constituye una ventaja ambiental relevante. Se concluye que, aunque el uso de residuos agroindustriales contribuye a reducir costos y a favorecer la sostenibilidad, la competitividad de los bioplásticos frente a plásticos derivados del petróleo sigue condicionada por aspectos tecnológicos, normativos y económicos, siendo necesaria la inversión en procesos industriales y políticas de apoyo para consolidar su uso a mayor escala.

Palabras clave: sostenibilidad, biodegradabilidad, economía circular, propiedades funcionales, agroindustria

## **ABSTRACT**

Environmental concern about the pollution caused by conventional plastics has driven the development of sustainable alternatives aimed at reducing ecological impact and promoting the utilization of agro-industrial waste. This work aimed to analyze the competitiveness of bioplastics made from organic waste. A systematic review of recent scientific literature was carried out, using academic databases and technical documents, in order to identify the raw materials used, production methods, and the functional properties of bioplastics. The content was organized by first describing the most relevant raw materials, then the identified production processes, the evaluated physicochemical properties, and finally, an economic comparative analysis with traditional plastics. Raw materials such as corn starch, banana peel, cassava, potato, and cocoa waste were identified, along with accessible production techniques such as thermal gelatinization, mixing with plasticizers, and heat molding. It was found that the addition of functional additives significantly influences properties such as flexibility, mechanical strength, and permeability. Likewise, many bioplastics derived from waste show biodegradation times ranging from 15 to 60 days under natural or composting conditions, which constitutes a significant environmental advantage. It is concluded that although the use of agro-industrial waste helps reduce costs and promotes sustainability, the competitiveness of bioplastics compared to petroleum-derived plastics remains conditioned by technological, regulatory, and economic aspects, making investment in industrial processes and support policies necessary to consolidate their large-scale use.

Keywords: sustainability, biodegradability, circular economy, functional properties, agro-industry

## Tabla de contenido

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUCCIÓN</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>2</b>     | <b>MARCO TEORICO</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>2.1</b>   | <b>Los plásticos</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>2.2</b>   | <b>Problemática ambiental de los plásticos convencionales</b> .....      | <b>6</b>  |
| <b>2.3</b>   | <b>Los Bioplásticos</b> .....  | <b>7</b>  |
| <b>2.4</b>   | <b>Biopolímeros</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>2.5</b>   | <b>Clasificación de los biopolímeros</b> .....                           | <b>10</b> |
| <b>2.5.1</b> | <b>Polisacáridos</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>2.5.2</b> | <b>Lípidos</b> .....   | <b>16</b> |
| <b>2.6</b>   | <b>Obtención de los biopolímeros</b> .....                               | <b>16</b> |
| <b>2.7</b>   | <b>Propiedades funcionales</b> .....                                     | <b>17</b> |
| <b>2.8</b>   | <b>Bioplásticos como alternativa sostenible</b> .....                    | <b>18</b> |
| <b>2.9</b>   | <b>Viabilidad económica y competitividad en el mercado</b> .....         | <b>21</b> |
| <b>3</b>     | <b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....  | <b>22</b> |
| <b>3.1</b>   | <b>Modelo de análisis documental sobre bioplásticos sostenible</b> ..... | <b>24</b> |
| <b>4</b>     | <b>Resultados</b> .....  | <b>26</b> |
| <b>4.1</b>   | <b>Identificación de materiales de residuos orgánicos</b> .....          | <b>26</b> |
| <b>4.2</b>   | <b>Proceso de fabricación (métodos de fabricación)</b> .....             | <b>30</b> |
| <b>4.2.1</b> | <b>Incorporación de aditivos</b> .....                                   | <b>33</b> |
| <b>4.3.</b>  | <b>Propiedades fisicoquímicas</b> .....                                  | <b>36</b> |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 4.4. | Biodegradabilidad.....   | 37 |
| 4.5. | Aplicaciones potenciales y sus usos .....                                      | 39 |
| 4.6. | Impacto ambiental y económico.....   | 41 |
| 4.7. | Comparación de los bioplásticos con los plásticos convencionales.....          | 43 |
| 4.8. | Viabilidad económica de los bioplásticos derivados de residuos orgánicos ..... | 45 |
| 5.   | Interpretación de Resultados .....   | 48 |
| 6.   | Conclusiones.....  | 51 |
| 7.   | REFERENCIAS.....   | 52 |

## Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Tipos de Plástico Sintético.....   | 6  |
| Figura 2. Tipos de Bioplástico .....   | 9  |
| Figura 3. Estructura de la Celulosa .....  | 14 |
| Figura 4. Flujo Metodológico .....   | 24 |
| Figura 5. Biodegradabilidad estimada de bioplásticos según tipo de materia prima y<br>formulación..... | 38 |

## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Residuos orgánicos utilizados en la producción de bioplásticos.....   | 28 |
| Tabla 2. Técnicas de producción de bioplásticos a partir de residuos orgánicos: métodos, ventajas y limitaciones.....              | 31 |
| Tabla 3. Aditivos utilizados en la producción de bioplásticos y sus funciones.....   | 34 |
| Tabla 4. Comparación técnico-económica entre bioplásticos derivados de residuos orgánicos y plásticos convencionales (PE, PP)..... | 47 |

# 1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la producción de plásticos convencionales ha generado diversos problemas ambientales, como la contaminación de ríos y suelos. Estos plásticos, fabricados a partir de derivados del petróleo, representan una de las principales fuentes de contaminación global debido a su lenta degradación, afectando gravemente la flora, fauna y la salud humana. Frente a este panorama, se ha intensificado la búsqueda de alternativas sostenibles que minimicen el impacto ambiental desde su producción hasta el final de su vida útil, como es el caso de los bioplásticos obtenidos a partir de residuos orgánicos de origen agrícola (Miranda, 2023).

El desarrollo científico y el avance de la biotecnología han impulsado la investigación de bioplásticos como una solución prometedora, ya que representan una alternativa viable frente al uso de plásticos derivados del petróleo. Diversas instituciones y organismos ambientales han promovido estas tecnologías las cuales comprenden el uso de biopolímeros extraídos de fuentes renovables como lo son los residuos agroindustriales, mediante procesos como la gelatinización del almidón, la incorporación de nanotecnología y la adición de compuestos como el glicerol, dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), carbonato de calcio entre otros; con el objetivo de obtener materiales biodegradables que conserven las propiedades funcionales del plástico tradicional. Para ello, se recurre al uso de aditivos que mejoren sus características fisicoquímicas y permitan cumplir con normas exigentes, garantizando procesos como almacenamiento, transporte y seguridad en distintas industrias, todo ello sin perder de vista la sostenibilidad (Pertuz & Benavides, 2020; Rivera & Vílchez, 2020).

La producción de bioplásticos a partir de residuos orgánicos representa una solución innovadora y necesaria para enfrentar los efectos negativos del uso masivo de plásticos

convencionales. Si bien se han logrado avances importantes en la mejora de sus propiedades mediante aditivos funcionales, el desafío actual es garantizar que su fabricación siga siendo sostenible, rentable y amigable con el ambiente. Un enfoque integral, que considere tanto el rendimiento técnico como el impacto ambiental y económico, será clave para posicionar a los bioplásticos como una alternativa competitiva y globalmente viable. Los bioplásticos elaborados a partir de residuos orgánicos, como el almidón de papa y otros subproductos agrícolas, han surgido como una alternativa viable a los plásticos derivados del petróleo. El reto principal radica en lograr materiales que, además de ser biodegradables, presenten propiedades comparables a las de los plásticos convencionales, especialmente en aplicaciones demandantes como los envases alimentarios (Calero & Lapo, 2021).

No obstante, aunque los bioplásticos provenientes de fuentes renovables presentan un gran potencial, aún enfrentan limitaciones en cuanto a su resistencia mecánica, estabilidad térmica y comportamiento frente a la humedad. Por ello, investigaciones recientes se han enfocado en incorporar aditivos innovadores, como el grafeno o compuestos naturales como el aloe vera, con el objetivo de mejorar su desempeño sin comprometer su biodegradabilidad (Puca et al., 2022).

Los resultados obtenidos hasta el momento son prometedores. Diversos estudios han demostrado que el uso de aditivos pueden mejorar significativamente las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los bioplásticos. Sin embargo, es fundamental analizar no solo su efectividad, sino también su impacto ambiental y viabilidad económica. En este sentido, se destaca la importancia de emplear compuestos orgánicos como aditivos, los cuales contribuyen a mantener la biodegradabilidad y reducir la huella ecológica (Antonio et al., 2020).

En este contexto, el objetivo del presente estudio es evaluar la efectividad de los bioplásticos derivados de residuos orgánicos, analizando sus propiedades de barrera a gases y humedad, y su capacidad para sustituir a los plásticos tradicionales, con el fin de fomentar una economía circular y sostenible.

## 2 MARCO TEORICO

### 2.1 Los plásticos

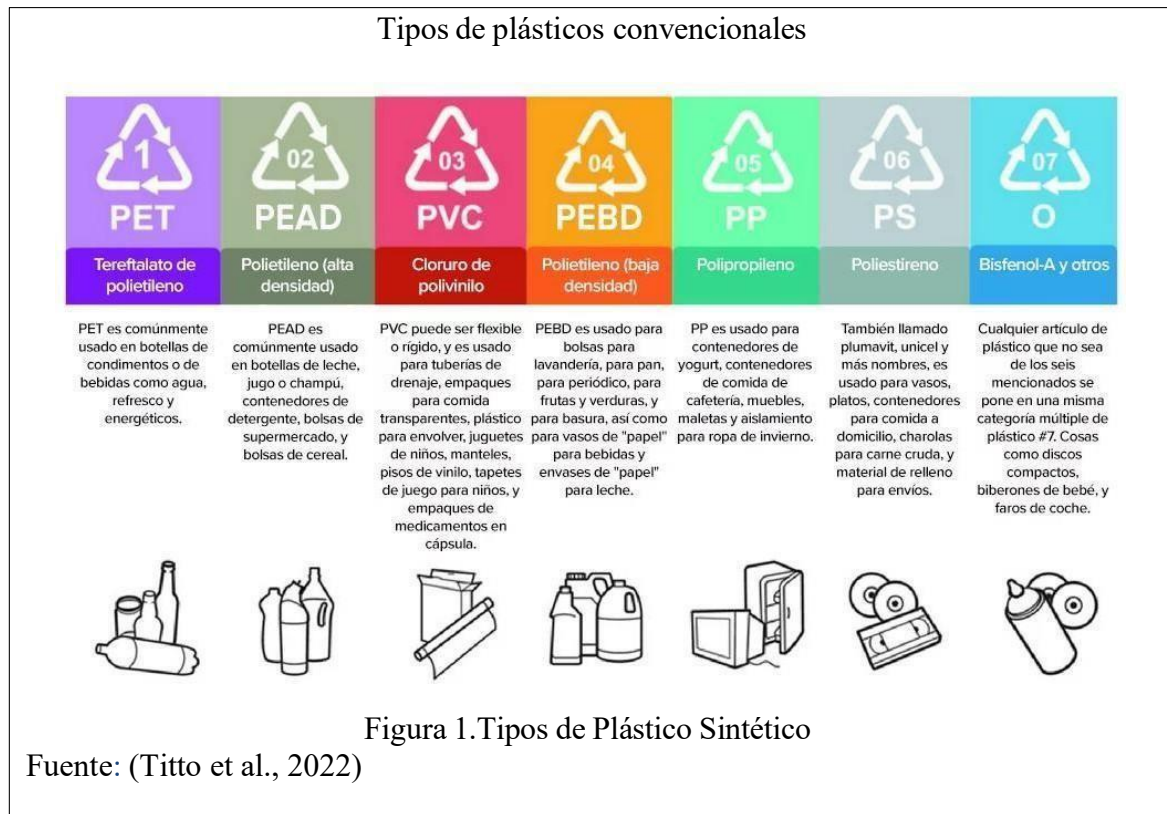
El plástico convencional es un material sintético derivado principalmente del petróleo y gas natural, producido mediante procesos como la polimerización y la policondensación. Se compone de cadenas largas de monómeros, generalmente hidrocarburos, que dan lugar a polímeros con propiedades como ligereza, resistencia, impermeabilidad, bajo costo y facilidad de moldeo. Entre los más utilizados están el polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS) y tereftalato de polietileno (PET), los cuales representan aproximadamente entre el 70 % y el 80 % de la participación en el mercado global dentro de la industria del comercio de plásticos (Titto et al., 2022).

El plástico convencional ha revolucionado múltiples industrias, especialmente la alimentaria, por su capacidad para conservar productos, actuar como barrera contra gases y contaminantes, y su adaptabilidad a diversas formas como botellas, envases, bandejas entre otros y necesidades relacionadas con la protección, conservación y presentación de productos. Gracias a estas ventajas, los plásticos convencionales son ampliamente usados en envases, embalajes, utensilios, textiles, dispositivos médicos y componentes de automóviles. Sin embargo, su naturaleza resistente y no biodegradable plantea grandes desafíos ambientales, ya que la mayoría no se recicla y permanece en el entorno durante siglos (Arcos & Marín, 2021).

El modelo de producción lineal basado en “usar y desechar” ha llevado a una acumulación crítica de residuos plásticos, exacerbada por el consumo masivo de productos de un solo uso. Además, procesos como la incineración liberan toxinas como dioxinas y furanos, mientras que la degradación fragmenta los plásticos en micro y nano plásticos, con efectos

adversos en la salud y el medio ambiente. Frente a este panorama, los cuatro documentos Greenpeace (2020) - ONU Medio Ambiente (2018) - Instituto de Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM, 2020) - Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019), mencionados dentro del estudio de la “Problemática de los bioplásticos de un solo uso en las instituciones educativas” coinciden en la urgencia de transitar hacia soluciones sostenibles como el reciclaje efectivo, la economía circular y el desarrollo de bioplásticos (Sánchez et al., 2021).

A continuación, en la Figura 5Figura 5Figura 5, en la cual se presentan los principales tipos de plásticos sintéticos identificados por sus siglas y códigos de reciclaje, junto con sus características funcionales y usos más comunes en la vida cotidiana. Este cuadro permite visualizar la diversidad de aplicaciones industriales y domésticas de materiales como Tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta densidad (PEAD), polivinilo (PVC), polietileno de baja densidad (PEBD), polipropileno (PP) y poliestireno (PS), que, a pesar de sus propiedades ventajosas, representan la mayor parte de los residuos plásticos globales. Incluir esta clasificación resulta clave para comprender los sectores en los que los plásticos convencionales predominan y, a su vez, identificar las áreas con mayor potencial de sustitución por alternativas más sostenibles, como los bioplásticos. Así, se establece una base comparativa para analizar no solo sus usos, sino también los retos ambientales asociados a su persistencia en el entorno (Titto et al., 2022).



## 2.2 Problemática ambiental de los plásticos convencionales

Los plásticos convencionales, en su mayoría derivados del petróleo, han sido ampliamente utilizados en todo el mundo debido a su bajo costo, versatilidad y durabilidad. Sin embargo, estas mismas características los convierten en una grave amenaza ambiental, ya que su resistencia a la degradación impide su descomposición natural por cientos de años. Una sola pieza de plástico puede persistir en el ambiente hasta 700 años, fragmentándose en micro plásticos que afectan de forma directa la salud de los ecosistemas marinos y terrestres. Estos micro plásticos son ingeridos por fauna silvestre, lo que puede alterar cadenas tróficas enteras y llegar incluso al consumo humano (Álvarez, 2019).

A esta problemática se suma la presencia de aditivos tóxicos, como el bisfenol A y los retardantes de llama, que se liberan al ambiente con el paso del tiempo. Estos compuestos han sido relacionados con efectos endócrinos, problemas reproductivos y cáncer en

humanos y animales. Además, durante su producción y eliminación, los plásticos convencionales emiten gases de efecto invernadero que contribuyen significativamente al cambio climático. Se estima que solo un 7% del plástico global se recicla efectivamente, mientras que el resto se incinera o es depositado en vertederos, agravando la contaminación atmosférica y del suelo (Atiwesh et al., 2021).

En el contexto latinoamericano, y particularmente en países como Colombia y Ecuador, el manejo inadecuado de residuos sólidos intensifica este problema. En Colombia, por ejemplo, se generan en promedio 24 kg de residuos plásticos por persona al año, de los cuales un 56% corresponde a plásticos de un solo uso. En Ecuador, los residuos agroindustriales sin tratamiento adecuado representan una fuente de contaminación significativa, tanto por volumen como por su disposición final, que frecuentemente no contempla estrategias de valorización ni reciclaje (Montenegro, 2020).

### **2.3 Los Bioplásticos**

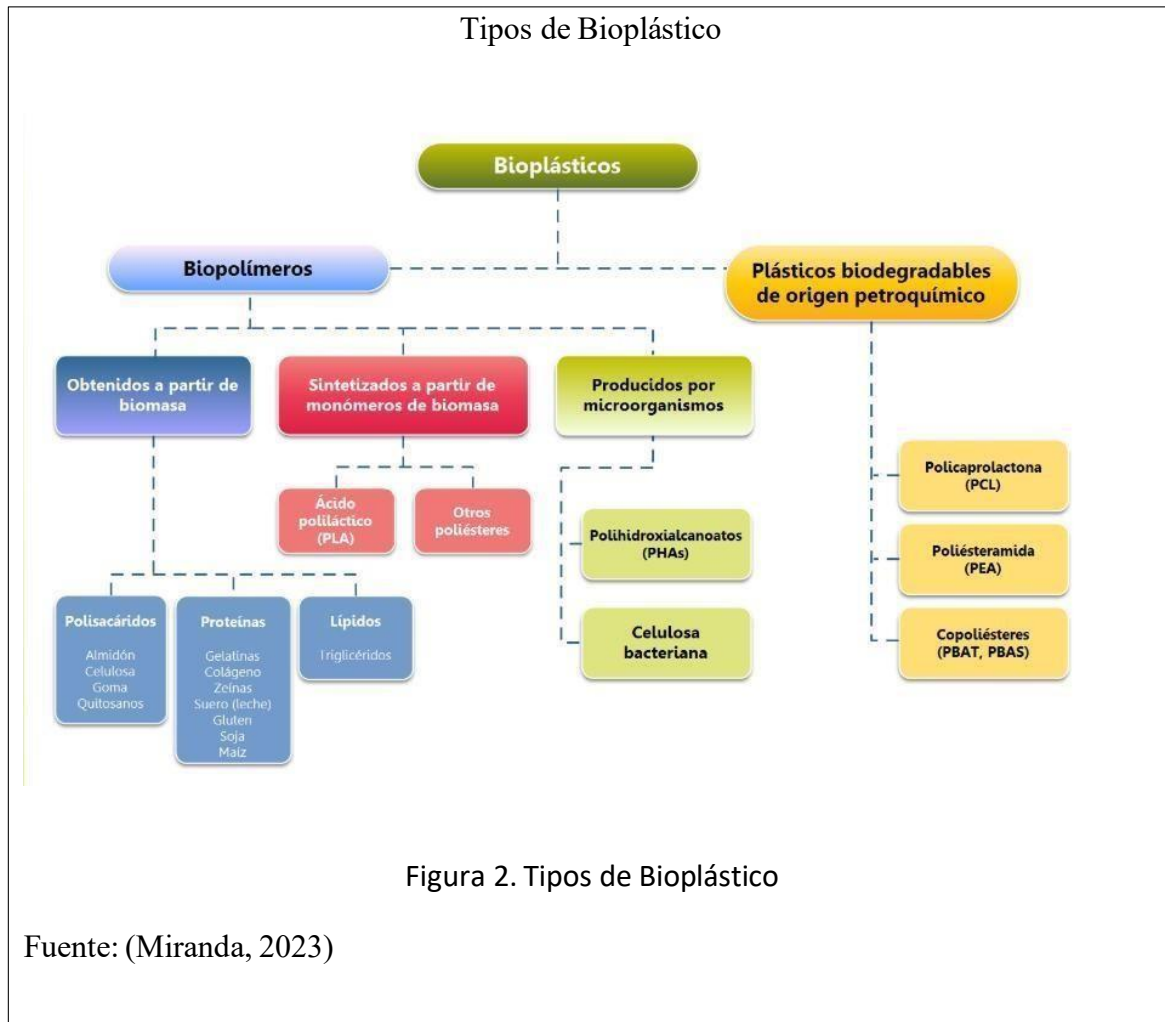
Un bioplástico es un material polimérico elaborado total o parcialmente a partir de recursos naturales renovables, como almidón, celulosa, aceites vegetales, proteínas, o residuos agroindustriales. A diferencia de los plásticos tradicionales, derivados del petróleo, los bioplásticos pueden ser fabricados parcial o totalmente a partir de recursos naturales renovables (biobasados), se descomponen por acción biológica sin causar daño al medio ambiente (biodegradables), o ambos, según su estructura química. En la Figura 5 se muestra la clasificación general de los bioplásticos, diferenciando aquellos obtenidos directamente de biomasa, los sintetizados a partir de monómeros renovables y los producidos por acción de microorganismos. Esta representación permite entender la amplitud de materias primas y rutas de obtención implicadas en su fabricación, lo cual influye directamente en sus

propiedades físicas y en su viabilidad ambiental y económica. Resulta relevante destacar que, mientras algunos bioplásticos provienen íntegramente de recursos biológicos como polisacáridos o proteínas, otros pueden combinarse con compuestos de origen petroquímico, pero conservar su carácter biodegradable. La inclusión de esta figura permite visualizar de manera clara las alternativas disponibles para sustituir los plásticos convencionales, así como ubicar los materiales obtenidos a partir de residuos agroindustriales dentro de la amplia clasificación de biopolímeros, destacando su potencial para aplicaciones sostenibles. Esto permite que muchos de ellos se degraden en ambientes naturales o controlados, como el compostaje. Su composición molecular está conformada por largas cadenas de biopolímeros que otorgan propiedades físicas como resistencia, flexibilidad o rigidez, similares a las de los polímeros sintéticos (Aurelio & Sánchez, 2020; Vizúete et al., 2020).

Desde un punto de vista físico, los bioplásticos suelen presentarse como láminas delgadas, películas, gránulos o moldes sólidos, dependiendo del método de obtención. Su textura puede variar entre lisa, rugosa o semigranulada, influida por la cantidad de plastificantes, refuerzos o rellenos orgánicos utilizados. En estudios experimentales, como los realizados con residuos de papa, plátano o melloco, los bioplásticos obtenidos presentan una estructura visualmente homogénea, suave al tacto y con integridad estructural suficiente para su manipulación (Calero & Lapo, 2021; Urgiles, 2021).

En cuanto a su color y apariencia, estos materiales pueden tener una tonalidad translúcida, beige o marrón clara, especialmente si provienen de subproductos vegetales como cáscaras o fibras. En el caso de bioplásticos reforzados con rellenos como cáscara de huevo, café o grafeno, se pueden observar acabados más oscuros, mayor rigidez superficial o incluso

presencia de aromas naturales. Este tipo de composiciones, además de ofrecer valor estético, pueden contribuir a propiedades funcionales como dureza, barrera a la humedad o resistencia térmica (Delgado et al., 2022; Puca et al., 2022).



## 2.4 Biopolímeros

Los biopolímeros son macromoléculas constituidas por largas cadenas de monómeros, homogéneos o combinados, con un elevado peso molecular, que se producen principalmente por organismos vivos como microorganismos, plantas, animales, algas y hongos, aunque también pueden obtenerse mediante síntesis química a partir de fuentes biológicas como aceites vegetales, azúcares o proteínas. Estos compuestos pueden ser

biodegradables como la celulosa, el almidón, el quitosano o el ácido poliláctico (PLA) y se aplican en diversas áreas como la salud, la industria alimentaria, la electrónica, la energía y el medio ambiente. Su creciente aceptación se debe a múltiples beneficios: son sostenibles, renovables, biodegradables o compostables, seguros para el consumo, con propiedades mecánicas versátiles y biocompatibles (Angamarca & Delgado, 2022).

## **2.5 Clasificación de los biopolímeros**

Los biopolímeros pueden clasificarse de diversas maneras según su origen, estructura y comportamiento térmico. Según su procedencia, se distinguen tres tipos principales: naturales, extraídos de polisacáridos como el almidón, la celulosa y los galactomananos, o de proteínas como la caseína y el gluten; sintéticos, obtenidos por sinterización química de monómeros biodegradados, como el ácido poliláctico (PLA); y microbianos, producidos por microorganismos, como ciertos polisacáridos y polihidroxicanoatos. Asimismo, en función de la base estructural del polímero, pueden clasificarse en policarbonatos, poliésteres, polisacáridos, poliamidas y polímeros de vinilo. Otra clasificación se basa en la naturaleza de su unidad estructural: polisacáridos (carbohidratos), proteínas (aminoácidos) y ácidos nucleicos. Finalmente, también pueden agruparse según su respuesta al calor en elastómeros, termoplásticos y termoestables (Pertuz & Benavides, 2020).

### **2.5.1 Polisacáridos**

#### **2.5.1.1 Almidón**

El almidón es uno de los biopolímeros más empleados en la fabricación de bioplásticos debido a su abundancia, bajo costo y facilidad de modificación térmica. Se encuentra en fuentes vegetales como papa, yuca, maíz, plátano,

arroz, melloco y camote. Por ejemplo, en el estudio (Guamán, 2019), se utilizó almidón de papa Superchola, mostrando una matriz homogénea apta para empaques biodegradables. De forma similar, en el trabajo (Urgiles, 2021), se obtuvieron láminas flexibles y biodegradables a partir de almidón mediante casting, aptas para embalaje alimentario. Además, el almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca*), combinado con vinagre y glicerol, produjo bioplásticos altamente degradables en compost, según el estudio sobre cáscaras de plátano y mango (Antonio et al., 2020). También se ha explorado el almidón de maíz (*Zea mays*), en el cual se alcanzó una biodegradabilidad del 89,4 % en un período de 42 días, lo que evidencia su idoneidad para su uso en aplicaciones de empaques sostenibles. (Riera, 2020). Combinaciones innovadoras como la mezcla de almidón de maíz con sargazo (*Sargassum*) o con pectina también han demostrado mejoras en la elasticidad, tracción y resistencia térmica del material final, como evidencian los documentos sobre materiales compuestos que combinan polímeros biodegradables con fibras naturales o nanomateriales para mejorar su resistencia, estabilidad y funcionalidad conocidos como bioplásticos reforzados (Cataldi et al., 2020). Incluso se ha utilizado almidón junto con residuos de café y aloe vera, incrementando la funcionalidad del bioplástico en aplicaciones específicas como envases o impresión 3D (Delgado et al., 2022).

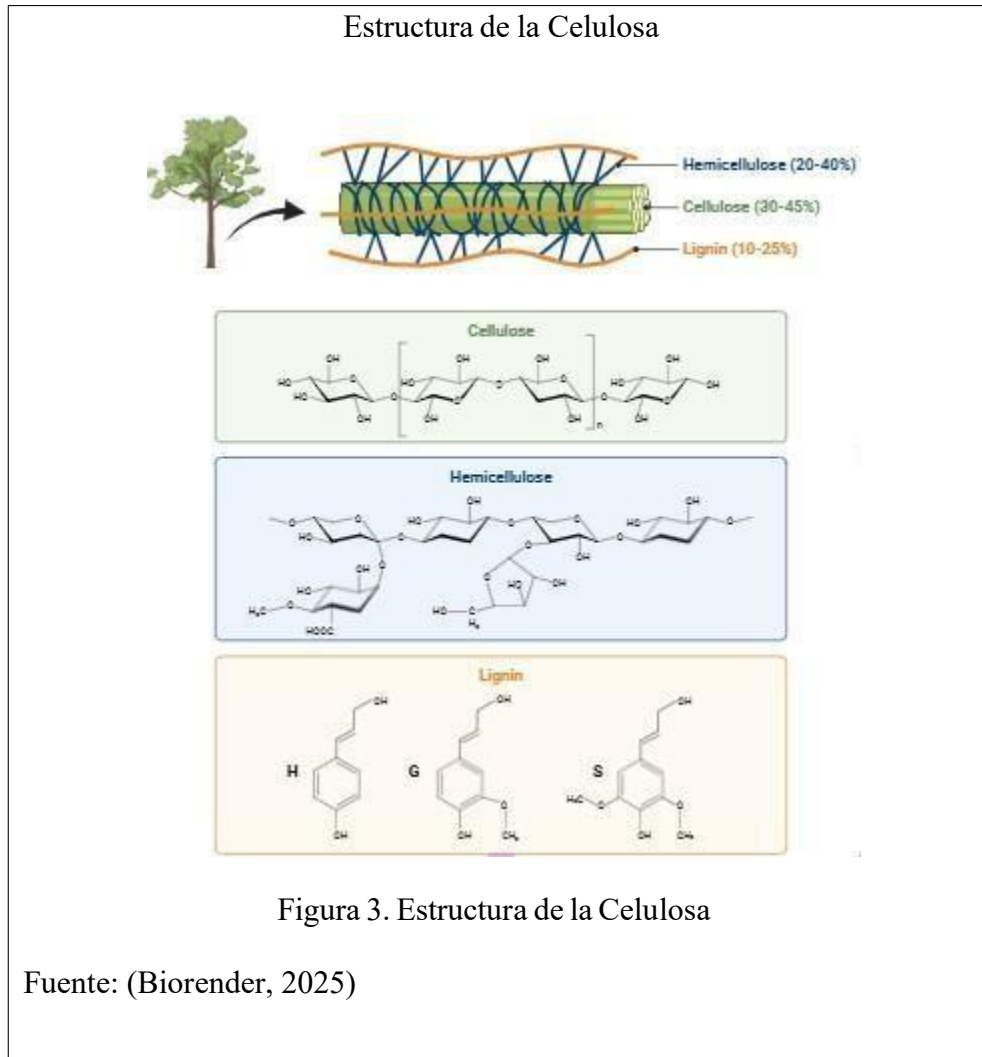
### **2.5.1.2 Celulosa**

La celulosa es un biopolímero clave en la elaboración de bioplásticos, destaca por su rigidez, abundancia en residuos vegetales y facilidad de biodegradación debido a su estructura, como se muestra en la Figura 5, la cual representa la

composición de la pared celular vegetal, compuesta principalmente por celulosa (30–45 %), hemicelulosa (20–40 %) y lignina (10–25 %), estos tres componentes son fuentes clave de biomasa lignocelulósica, usada para obtener biopolímeros como ácido poliláctico (PLA), polihidroxicanoatos (PHA) o incluso bioetanol, su biodegradabilidad y abundancia los hacen esenciales en la fabricación de materiales sostenibles. Figura 5; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Se ha empleado celulosa extraída de catáfilos de cebolla, como en el estudio de Montenegro (2020), donde su combinación con almidón y glicerina mejoró la resistencia del material. Otra fuente importante es la cáscara de arroz, que contiene hasta un 35% de celulosa y permite la producción de polihidroxicanoatos (PHA) tras su conversión en azúcares fermentables. Asimismo, residuos de cacao han sido aprovechados para extraer celulosa al 35.4% de pureza, generando películas con buena resistencia mecánica y utilidad en empaques biodegradables. También se ha aislado celulosa de residuos como el rastrojo de maíz y la paja de arroz, mediante hidrólisis y blanqueamiento, logrando bioplásticos con resistencia térmica y degradación en 40 días, según estudios como el de Angamarca & Delgado (2022). En una revisión sistemática, se resalta además el uso de nanocelulosa como refuerzo para incrementar la tracción y biodegradabilidad de los films. Este biopolímero también ha sido empleado en aplicaciones alimentarias, como recubrimientos comestibles, gracias a su barrera a gases, aunque requiere plastificantes por su baja resistencia al agua (Cataldi et al., 2020).

Los polisacáridos estructurales como la lignocelulosa, el bagazo de caña y la pulpa de madera también se han estudiado como base para bioplásticos debido a

su disponibilidad en residuos agrícolas e industriales. En el estudio sobre “*La problemática de los plásticos de un solo uso en las instituciones educativas*”, se menciona cómo estos materiales permiten la producción de bioplásticos compostables adecuados para sustituir plásticos tradicionales en ambientes escolares. Su uso reduce la dependencia de polímeros derivados del petróleo y representa una solución viable ante la creciente contaminación por plásticos de un solo uso, sobre todo en contextos educativos que buscan integrar la sostenibilidad en sus prácticas diarias (Sánchez et al., 2021).



### 2.5.1.3 Ácido poliláctico

El ácido poliláctico (PLA) es un biopolímero termoplástico que se obtiene a partir de azúcares fermentados, comúnmente derivados del almidón, y posteriormente polimerizados mediante técnicas como la apertura de anillo la cual consiste en romper químicamente los enlaces de monómeros cíclicos, para formar largas cadenas lineales de polímero. Este material destaca por su biocompatibilidad, buena resistencia mecánica y biodegradabilidad, lo que lo convierte en un candidato ideal para aplicaciones industriales y de empaque. En el estudio termo mecánico de la mezcla de ácido poliláctico (PLA) obtenido a partir de almidón de patata con un copoliéster alifático y el adipato de succinato de polibutileno (PBSA) se usa en el

almidón de papa fermentado con *Lactobacillus delbrueckii bulgaricus* para obtener ácido láctico, el cual luego fue convertido en ácido poliláctico (PLA). El bioplástico resultante presentó propiedades termo-mecánicas mejoradas al ser mezclado con copoliésteres, evidenciando su potencial en productos compostables (Amaya-Pinos, 2022).

#### **2.5.1.4 Polihidroxicanoatos**

Los polihidroxicanoatos (PHA) representan una familia de biopolímeros sintetizados por microorganismos a partir de fuentes de carbono como aceites vegetales, residuos orgánicos o melaza. Tienen la capacidad de imitar las propiedades físicas de los plásticos derivados del petróleo, manteniendo al mismo tiempo una alta biodegradabilidad. En estudios previamente realizados se describe cómo el ácido polihidroxibutirato (PHB), un tipo de polihidroxicanoatos (PHA), ha sido ampliamente estudiado desde 1925 por sus propiedades similares al polipropileno. Este residuo muestra cómo la celulosa puede transformarse en azúcares fermentables que alimentan a bacterias productoras de polihidroxicanoatos (PHA), consolidando su uso como un bioplástico de segunda generación con alto valor agregado (Aurelio & Sánchez, 2020; Montenegro, 2020).

#### **2.5.1.5 Pectina**

La pectina es un polisacárido de origen vegetal con gran capacidad gelificante, utilizado en la elaboración de bioplásticos por su elasticidad, biodegradabilidad y facilidad de obtención a partir de residuos, mediante los cuales se logró un bioplástico que alcanzó un 100% de biodegradación en agua, suelo e intemperie en un periodo de 21 a 28 días, al combinar pectina con glicerol, carboximetilcelulosa y ácido cítrico además se demostró que la inclusión de pectina mejora la resistencia a la tracción del material,

especialmente cuando se utiliza en proporciones equilibradas con otros biopolímeros como el almidón (Dioses & Villanueva, 2021; Jara & Ocaña, 2022).

## **2.5.2 Lípidos**

### **2.5.2.1 Cera de abejas**

La cera de abejas, rica en lípidos naturales, es utilizada como aditivo para mejorar las propiedades físicas de los bioplásticos, especialmente en lo referente a la flexibilidad, hidrofobicidad y resistencia al agua. Dentro del estudio sobre los residuos de cáscara de yuca y cera de abejas como potenciales materiales de partida para la producción de bioplásticos, se expone cómo la incorporación de esta cera en mezclas con residuos vegetales dio lugar a materiales con mayor manejabilidad y mejores propiedades barrera. Además, se identificó que los residuos sólidos de la cera pueden aportar azúcares fermentables, lo cual amplía su utilidad en procesos biotecnológicos para generar otros biopolímeros (Muñoz & Riera, 2020).

## **2.6 Obtención de los biopolímeros**

Los métodos de obtención de bioplásticos a partir de residuos orgánicos se basan principalmente en la extracción de polímeros naturales como el almidón y la celulosa. El proceso generalmente comienza con el tratamiento de las materias primas, como las cáscaras de plátano, mango, entre otros residuos orgánicos, mediante su limpieza y troceado. Luego, estos residuos son procesados para extraer almidón o celulosa, que son los componentes clave para la formación del bioplástico. Estos materiales se mezclan con agua y otros agentes para obtener una solución que, tras ser calentada y secada, produce láminas o formas finales de bioplástico (Antonio et al., 2020).

El proceso de obtención se divide en varias etapas: preparación de los residuos, mezcla con plastificantes y agentes de cohesión, seguido de la formación del biopolímero a través del calentamiento controlado. Posteriormente, el material se somete a pruebas para determinar sus propiedades físicas como la resistencia y su capacidad de biodegradación. Este enfoque no solo permite aprovechar residuos agrícolas, sino que ofrece una alternativa ecológica a los plásticos convencionales, con un tiempo de degradación mucho más corto, se puede obtener materia prima con diferentes procesos o métodos como la hidrólisis, decantación, fundición en solución, pirólisis y trituración mecánica (Guerrero, 2020).

## **2.7 Propiedades funcionales**

Los bioplásticos presentan una serie de propiedades funcionales que los hacen atractivos para diversas aplicaciones industriales. Entre estas se incluyen su resistencia mecánica, transparencia, estética atractiva y resistencia a aceites, grasas y ciertos solventes. Estas características son especialmente útiles en el sector de empaques alimenticios, donde se requieren materiales que protejan el contenido sin comprometer la seguridad del consumidor. Además, la capacidad de algunos biopolímeros para formar películas delgadas y flexibles permite su uso en recubrimientos y envoltorios (Riera, 2020).

No obstante, también enfrentan limitaciones técnicas importantes que deben ser superadas para lograr su consolidación en el mercado. Uno de los principales desafíos es su baja resistencia a la humedad, lo que limita su aplicación en ambientes húmedos o en contacto con líquidos. También presentan baja compatibilidad con polímeros hidrofóbicos, lo que restringe su mezcla con materiales sintéticos. Durante el proceso de fabricación, muchos bioplásticos requieren condiciones específicas de secado, control de temperatura y pH, lo

que puede encarecer la producción o afectar la calidad final del producto (Sebastián & Cardona, 2019).

Para enfrentar estos desafíos, diversas investigaciones han propuesto estrategias de mejora a nivel molecular. La modificación química mediante acetilación del almidón ha mostrado resultados positivos en la mejora de la elongación y resistencia a la tracción. Asimismo, el uso de matrices reforzadas con fibras naturales o nanopartículas permite incrementar la resistencia mecánica sin comprometer la biodegradabilidad. Estas innovaciones técnicas son claves para garantizar la funcionalidad y estabilidad del bioplástico, al tiempo que mantienen su carácter ecológico (Eréndira & Huerta, 2019).

Por ejemplo, mientras que un envase de polietileno convencional puede mantener su forma y funcionalidad incluso bajo condiciones de alta humedad, un bioplástico a base de almidón puede ablandarse o degradarse con mayor rapidez si no ha sido modificado estructuralmente. No obstante, se han desarrollado bioplásticos reforzados con fibras naturales, como cáscara de arroz o bagazo de caña, que mejoran significativamente la resistencia sin perder su capacidad de biodegradarse (Montenegro, 2020). También se ha comprobado que la incorporación de aditivos como ácido cítrico o nanopartículas de arcilla permite mejorar la barrera contra la humedad, acercando el rendimiento de estos materiales al de los plásticos sintéticos (López et al., 2021). Estas soluciones muestran que, con los ajustes adecuados, los bioplásticos pueden ser una alternativa realista y funcional frente a los polímeros derivados del petróleo.

## **2.8 Bioplásticos como alternativa sostenible**

Ante la creciente preocupación por el impacto ambiental de los plásticos sintéticos, los bioplásticos emergen como una alternativa sostenible. A diferencia de sus equivalentes

petroquímicos, muchos bioplásticos son biodegradables o compostables, lo que significa que pueden descomponerse en compuestos no tóxicos como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), agua (H<sub>2</sub>O) y biomasa en condiciones ambientales específicas. Algunos de estos productos cumplen normativas internacionales como la EN 13432, que certifica su biodegradabilidad y compostabilidad (Eréndira & Huerta, 2019; Fajardo, 2023; Montenegro, 2020).

El desarrollo de bioplásticos no solo responde a una necesidad ambiental, sino también a una oportunidad de innovación en el uso de materias primas no convencionales. En América Latina, diversos estudios han explorado con éxito el uso de residuos orgánicos como insumos para la producción de biopolímeros. Entre estos destacan el almidón de yuca, la cáscara de plátano, residuos de cebolla, cáscaras de mango e incluso macroalgas como el sargazo. Este enfoque no solo reduce los residuos agroindustriales, sino que convierte subproductos agrícolas en materiales de valor añadido (Montenegro, 2020).

Además del beneficio ecológico, los bioplásticos también ofrecen una alternativa viable para sectores específicos como el empaquetado de alimentos en la industria alimentaria además de utensilios, los cuales son seguros para el contacto con alimentos, tienen buena resistencia y se descomponen en pocas semanas en condiciones de compostaje. En la agricultura los bioplásticos elaborados con almidón de plátano, celulosa de cebolla o residuos de arroz permiten fabricar películas acolchadas, macetas y bandejas de germinación biodegradables. Estos productos protegen el suelo y se degradan naturalmente tras su uso sin necesidad de ser retirados, lo que reduce residuos plásticos. Los biopolímeros como el ácido poliláctico (PLA), polihidroxialcanoato (PHA) o polihidroxibutirato (PHB), derivados de residuos como cáscara de arroz, cacao o algas, mejoran la eficiencia agrícola, en la medicina y farmacéutica, se utilizan para fabricar suturas absorbibles, apósitos,

cápsulas y matrices de liberación controlada. Estos productos son biocompatibles con el cuerpo humano, no tóxicos y se degradan sin causar inflamación ni enrojecimiento al utilizarlos, evitando así residuos médicos persistentes y mejorando la sostenibilidad hospitalaria, donde se requieren materiales seguros, estables y sostenibles. En la industria textil los bioplásticos reforzados con fibras naturales como plátano o residuos de café se investigan como alternativas para botones, suelas, accesorios o decoraciones interiores. Estos materiales imitan texturas como cuero o cerámica, aportando valor estético y sostenibilidad a sectores creativos aún dependientes de plásticos sintéticos. En la industria comercial las bolsas y empaques biodegradables certificados bajo normas como EN 13432 son producidos a partir de almidón, celulosa o algas, se utilizan en supermercados y ferias, esto permite una disposición conjunta con residuos orgánicos en compostaje, lo que reduce notablemente la contaminación plástica urbana y rural. En la industria eléctrica los biocomposites de polihidroxialcanoato (PHA) con grafeno o nanofibras de carbono han mostrado alta conductividad térmica y eléctrica, siendo útiles para carcasas, sensores o apantallamiento electromagnético, estos materiales reemplazan plásticos técnicos no reciclables en electrónica, combinando funcionalidad y biodegradabilidad. En la actualidad también se usa en la industria de impresiones 3D, la cual es más utilizada hoy en día; los bioplásticos imprimibles en 3D han sido desarrollados usando residuos como café, cáscara de huevo y alginatos, estos materiales permiten crear prototipos como utensilios y piezas funcionales sin recurrir a plásticos derivados del petróleo, integrando sostenibilidad en la fabricación digital (Cataldi et al., 2020; Delgado et al., 2022; Francisco et al., 2021; Zornoza, 2022).

## 2.9 Viabilidad económica y competitividad en el mercado

Desde una perspectiva económica, los bioplásticos aún enfrentan barreras importantes frente a los plásticos convencionales, principalmente por sus costos de producción y limitada infraestructura industrial. A nivel mundial, se producen alrededor de 880 mil toneladas de bioplásticos, frente a los más de 300 millones de toneladas de plásticos sintéticos. Esta desproporción limita la competitividad en términos de precio, aunque la creciente demanda por materiales sostenibles podría cambiar esta tendencia a mediano plazo (Guamán, 2019).

No obstante, una de las estrategias más prometedoras para reducir costos es la utilización de residuos agroindustriales como materia prima. Este enfoque no solo disminuye el precio de los insumos, sino que también agrega valor a subproductos que, de otro modo, serían descartados (Montenegro, 2020). Por ejemplo, el almidón extraído de yuca o cáscara de plátano puede competir en propiedades mecánicas con polímeros convencionales como el polietileno y el poliestireno, a un costo reducido y con menores impactos ambientales (Ortega, 2019).

Adicionalmente, el análisis de ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés) ha demostrado que, aunque la inversión inicial puede ser mayor, los beneficios a largo plazo en términos de reducción de emisiones, menor generación de residuos y aprovechamiento de biomasa justifican su implementación (Atiweh et al., 2021).

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

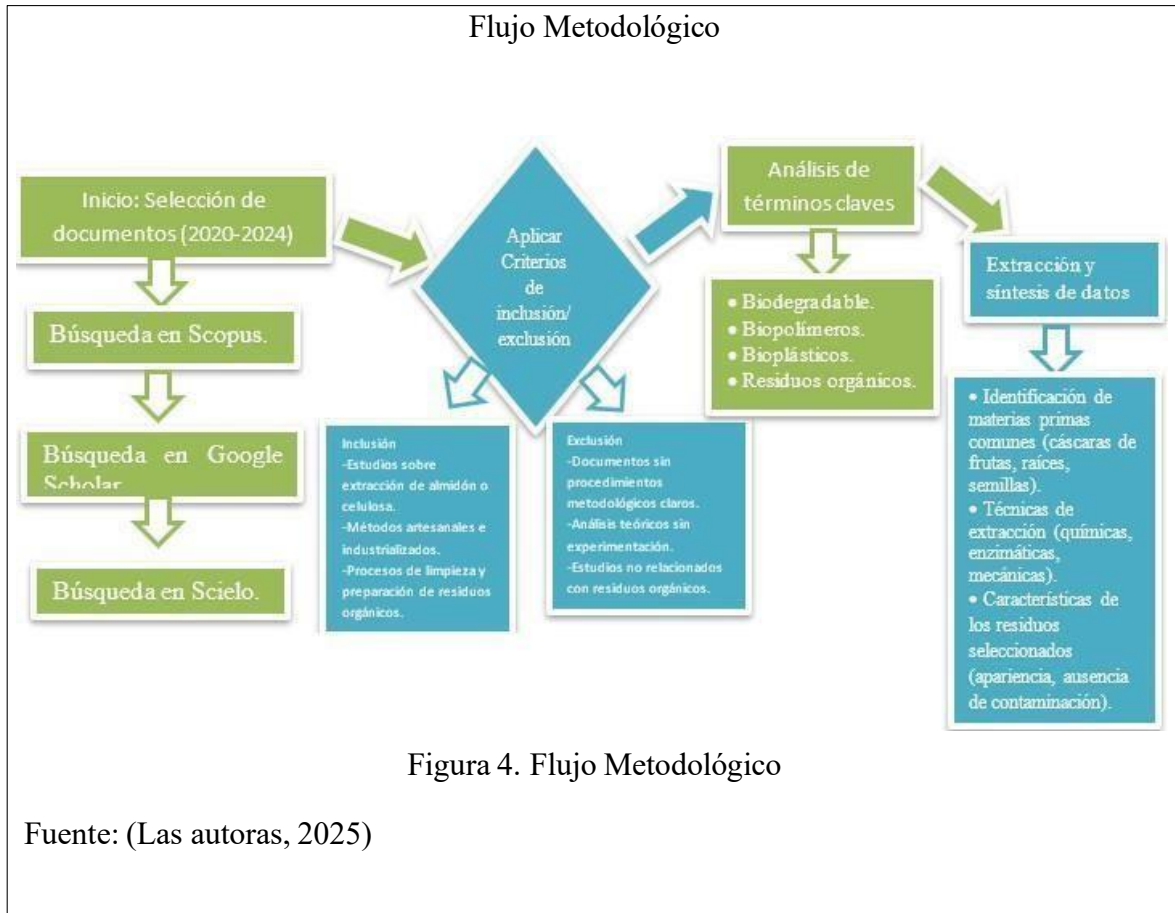
Para el desarrollo de esta investigación, la información se recogió a partir de fuentes académicas confiables, localizadas mediante una búsqueda en bases de datos como Scopus, Google Scholar y SciELO. Se priorizaron artículos científicos, tesis de grado y posgrado, y documentos técnicos publicados entre los años 2020 y 2025, enfocados en la producción de bioplásticos usando residuos orgánicos. Esta recopilación tiene como objetivo contar con una base sólida y actualizada que respalde el análisis que se realizará.

La investigación se basó en el método analítico, ya que este permite revisar y entender la información de forma detallada. Esto facilitó reconocer cómo se elaboran los bioplásticos, qué procesos están involucrados y qué tipos de residuos se pueden aprovechar. Para orientar la búsqueda, se utilizaron palabras clave como *“bioplásticos”*, *“biopolímeros”*, *“residuos orgánicos”*, *“biodegradables”* y *“extracción de almidón o celulosa”*, con el fin de enfocarse en estudios relevantes y actuales.

Al momento de seleccionar los documentos, se aplicaron criterios de inclusión específicos. Se eligieron aquellos estudios que explicaban con claridad los métodos de extracción de compuestos útiles como almidón, celulosa o pectina a partir de residuos vegetales. Asimismo, se valoró que los artículos describieran el tratamiento y la limpieza de las materias primas, por ejemplo, lavado, secado o trituración antes de su procesamiento. También fueron incluidos los textos que detallaban procedimientos de elaboración de bioplásticos, ya sea a escala artesanal o industrial, siempre que se reportaran variables como temperatura, tiempos, mezclas empleadas y pruebas físicas del producto final como se interpreta en la Figura 5.

En contraste, se excluyeron los trabajos que carecían de evidencia experimental, que abordaban solo fundamentos teóricos o que no hacían referencia directa al uso de residuos orgánicos como materia prima. El objetivo fue garantizar que todos los documentos seleccionados ofrecieran datos replicables y aplicables al estudio del desarrollo de bioplásticos sostenibles.

Una vez reunida la información, se procedió a organizarla y analizarla comparativamente. Se identificaron puntos en común entre los estudios, como los residuos más utilizados (cáscaras de frutas, raíces, tallos o semillas), las técnicas de extracción más empleadas (químicas, mecánicas o enzimáticas), y los criterios utilizados para seleccionar los residuos como su buen estado físico, limpieza y ausencia de daños visibles. Además, se analizaron aspectos vinculados a la sostenibilidad, como el uso de aditivos naturales, el potencial de biodegradabilidad del material resultante, y la posibilidad de compostaje. Este análisis permitió comprender con mayor profundidad el potencial de los bioplásticos como una alternativa viable y ecológica frente a los plásticos convencionales derivados del petróleo.



### 3.1 Modelo de análisis documental sobre bioplásticos sostenible

Una vez depurada la base documental, se procedió a la organización y análisis cualitativo del contenido. Los documentos fueron sistematizados mediante matrices comparativas donde se identificaron variables clave como tipo de biopolímero, fuente del residuo (yuca, papa, plátano, cítricos, etc.), método de extracción (gelatinización, hidrólisis, fermentación), tipo de aditivos utilizados (glicerol, ácido cítrico, grafeno), aplicaciones finales (empaquetado, medicina, agricultura, etc.) y tiempo estimado de biodegradación.

El análisis de la información se realizó mediante un enfoque temático, agrupando los hallazgos en categorías como: propiedades funcionales, impacto ambiental, viabilidad económica, ventajas frente a plásticos convencionales y aplicaciones industriales.

Asimismo, se integró una perspectiva comparativa, contrastando los resultados obtenidos en diferentes estudios para identificar patrones comunes, divergencias y vacíos en la literatura.

Este modelo metodológico permitió construir un marco comprensivo sobre la producción de bioplásticos a partir de residuos orgánicos desde un enfoque académico, facilitando la identificación de prácticas sostenibles, materias primas promisorias y criterios técnicos que podrían orientar futuras investigaciones experimentales o desarrollos a escala industria.

## **4 Resultados**

En el marco de esta investigación, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura científica disponible, identificándose un total de 70 documentos entre artículos académicos, tesis de grado y reportes técnicos publicados entre los años 2020 y 2025, relacionados con la producción de bioplásticos a partir de residuos orgánicos. Posteriormente, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión con el fin de garantizar la pertinencia del material seleccionado. Como resultado, se consideraron 58 documentos que cumplían con los requisitos establecidos, entre los cuales se priorizó la descripción detallada de los métodos de extracción de biopolímeros como almidón, celulosa o pectina, así como los procedimientos específicos para la elaboración de bioplásticos. Además, se valoró la inclusión de variables técnicas relevantes, tales como temperatura, tiempo de procesamiento, y propiedades fisicoquímicas, particularmente aquellas relacionadas con la biodegradabilidad del producto final.

Por otro lado, fueron excluidos 12 documentos que no cumplían con los criterios definidos, principalmente por abordar la temática desde un enfoque exclusivamente teórico o por no utilizar residuos orgánicos como materia prima principal. Esta depuración documental permitió concentrar el análisis en estudios con evidencia experimental sólida y aplicabilidad directa en el desarrollo de bioplásticos sostenibles, lo cual facilitó una evaluación más rigurosa en cuanto a su viabilidad técnica, ambiental y económica frente a los plásticos convencionales.

### **4.1 Identificación de materiales de residuos orgánicos**

Entre los hallazgos más relevantes, se identificaron que los residuos orgánicos utilizados como materia prima para la producción de bioplásticos pueden provenir de diversas

fuentes, incluyendo residuos agrícolas, alimentarios, industriales y otros. Esta diversidad permite aprovechar una amplia gama de materiales desechados, como cáscaras de frutas, restos de cultivos o subproductos de procesos industriales, maximizando el uso de recursos disponibles y contribuyendo a la reducción de residuos (Guerrero, 2020).

La cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*) es un residuo de la industria chocolatera posterior al tostado y descascarillado, rica en carbohidratos fermentables además de contener pequeñas cantidades de compuestos fenólicos. En los procesos de fermentación observaron la presencia de sólidos de cascarilla lo que incrementa la producción de biopolímeros como el polihidroxibutirato (PHB) debido a sus capacidades antioxidantes (Cortizo, 2022).

Dentro de los residuos agroindustriales de América del sur se encuentran los subproductos como bagazos, cáscaras de frutas, raquis, tallos y otros residuos agroindustriales ricos en biomasa lignocelulósica, almidones y azúcares fermentables que varían de acuerdo con el tipo de residuo (Vargas et al., 2021).

Entre las principales destacan los residuos del plátano, yuca, maíz, papa, arroz, cítricos y manzanas, los cuales son seleccionados por su contenido de almidón, celulosa o pectina por lo que son esenciales para obtener biopolímeros biodegradables. Un ejemplo es la cáscara de yuca y la cera de abejas que demostraron ser fuentes prometedoras de almidón termoplástico y azúcares reductores para procesos fermentativos (Muñoz et al, 2020). Así también, en investigaciones como las de Quintanilla et al. (2024), los residuos de yuca fueron evaluados por su potencial para la creación de bioplásticos sostenibles con alta elasticidad y absorción de agua. Del mismo modo la pectina

extraída de cáscaras cítricas y manzanas mostraron propiedades ideales para películas biodegradables, destacando su alta biodegradabilidad y tracción (Jara & Ocaña, 2022).

Además, subproductos como la pulpa de plátano y el bagazo de caña se utilizan para la fabricación de bioplásticos, debido a su alta disponibilidad y bajo costo, tal y como se muestra en la Tabla 4. Estos materiales, combinados con plastificantes como glicerina, permiten mejorar propiedades mecánicas y biodegradables. Por otro lado, los desechos de mango y papa se destacaron por su resistencia térmica y aptitud para empaques alimentarios, demostrando que la selección de residuos depende tanto de sus propiedades químicas como de su facilidad de obtención en diferentes regiones (Quiñonez, 2020).

*Tabla 1. Residuos orgánicos utilizados en la producción de bioplásticos*

| Residuo Orgánico | País de Origen                   | Tipo de Biopolímero | Fuente  |
|------------------|----------------------------------|---------------------|---|
| Plátano          | Perú, Ecuador, México y Colombia | Almidón             | (Antonio et al., 2020; Calero & Lapo, 2021; Guerrero, 2020; Lizarzaburu & Baca, 2022) |
| Mango            | Perú, Colombia y México          | Almidón y Pectina   | (Antonio et al., 2020; Lizarzaburu & Baca, 2022; Quiñonez, 2020)                      |
| Cebolla          | Ecuador y México                 | Celulosa            | (García & Rivera, 2020)   |

|                  |                                   |                             |   |
|------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| Cáscara de Arroz | Ecuador, Colombia, Perú y Uruguay | Celulosa y Hemicelulosa     | (Montenegro, 2020; Ortega, 2019; Rivera & Vílchez, 2020a; Vargas et al., 2021)                        |
| Yuca             | Colombia y Ecuador                | Almidón                     | (Atiwesh et al., 2021; Guerrero, 2020; Rivera & Vílchez, 2020a)                                       |
| Papa             | Colombia, Ecuador y Perú,         | Almidón                     | (Guamán, 2019; Guerrero, 2020; Puca et al., 2022; Rivera & Vílchez, 2020a; Sebastian & Cardona, 2019) |
| Maíz             | Colombia, México, Ecuador y Perú  | Almidón                     | (Eréndira & Huerta, 2019; Guerrero, 2020; Riera, 2020; Rivera & Vílchez, 2020)                        |
| Cacao            | Ecuador                           | Celulosa, Pectina y Lignina | (Cortizo, 2022; Lema et al., 2020; Vargas et al., 2021)   |
| Pepino           | Ecuador                           | Pectina                     | (Astudillo et al., 2025)  |
| Mellico          | Ecuador                           | Almidón termoplástico       | (Urgiles, 2021)   |
| Bagazo de Caña   | Brasil, Ecuador, Perú             | Celulosa                    | (Lizarzaburu & Baca, 2022; Vargas et al., 2021)   |

|                         |                   |                              |                       |
|-------------------------|-------------------|------------------------------|-----------------------|
| Raquis y Hoja de banano | Ecuador, Colombia | Celulosa,<br>Lignocelulósico | (Vargas et al., 2021) |
| Pulpa de Café           | Perú, Colombia    | Lignocelulósico              | (Vargas et al., 2021) |
| Cascaras de Cítricos    | Ecuador, Perú     | Pectina                      | (Jara & Ocaña, 2022)  |
| Camote                  | Colombia          | Almidón                      | (Guerrero, 2020)      |
| Sagú                    | Colombia          | Almidón                      | (Guerrero, 2020)      |
| Makal                   | Colombia          | Almidón                      | (Guerrero, 2020)      |

Elaborado por: (Las autoras, 2025).

#### **4.2 Proceso de fabricación (métodos de fabricación)**

Como se puede observar en la Tabla 4, existen diversas técnicas de producción de bioplásticos a partir de residuos orgánicos, las cuales varían en complejidad, tipo de residuo aplicable y requerimientos técnicos. Métodos como la gelatinización térmica y la mezcla directa con aditivos destacan por su simplicidad, bajo costo y facilidad de implementación a pequeña escala, aunque presentan limitaciones en cuanto a resistencia mecánica y sensibilidad a la humedad. Por otro lado, técnicas más avanzadas como la fermentación microbiana, la extracción química de celulosa o la impresión 3D permiten obtener biopolímeros de mayor calidad y funcionalidad, pero requieren infraestructura especializada y condiciones de proceso más rigurosas (Gupta et al., 2022).

Asimismo, se evidencia que la mayoría de los métodos requieren el uso de aditivos como plastificantes (glicerol, vinagre, ácidos orgánicos) o refuerzos estructurales (nanofibras,

TiO<sub>2</sub>) para mejorar algunas propiedades mecánicas, térmicas y de barrera del material final. Esta diversidad tecnológica refleja el carácter experimental y adaptable de la producción de bioplásticos, permitiendo su aplicación tanto en contextos artesanales como industriales. En conjunto, la tabla proporciona una visión integral de las estrategias disponibles para transformar residuos agroindustriales en materiales biodegradables con potencial comercial y ambiental (Khalid et al., 2024).

*Tabla 2. Técnicas de producción de bioplásticos a partir de residuos orgánicos: métodos, ventajas y limitaciones*

| Técnica de producción                     | Tipo de residuo aplicado                      | Ventajas                                   | Limitaciones   | ¿Requiere aditivos? |
|---|---|--|--|---------------------|
| Gelatinización térmica/<br>plastificación | Almidón de yuca, papa, maíz, camote y plátano | Proceso simple y económico, biodegradable  | Propiedades mecánicas limitadas, sensibles a humedad | Si                  |
| Mezcla directa con aditivos               | Cáscara de plátano, cebolla, cera de abejas   | Buena flexibilidad útil a escala doméstica | Frágil si no se optimiza la proporción de aditivos   | Si                  |
| Moldeado por prensado caliente            | Cáscara de mango                              | Permite objetos con forma definida         | Limitada homogeneidad si no se                       | Si                  |

|   |   |  |   |    |
|---|---|--|---|----|
|   |   |  | controla la<br>humedad  |    |
| Licuado y prensado<br>con secado                  | Cáscara de<br>mango y<br>plátano                              | Aprovecha frutas<br>de descarte,<br>buena<br>biodegradabilidad | Dependencia<br>de temperatura<br>y tiempos<br>precisos                                | Si |
| Hidrolisis +<br>blanqueamiento                    | Cáscara de<br>arroz, paja<br>de arroz,<br>rastrajo de<br>maíz | Permite extraer<br>celulosa pura                               | Uso de<br>químicos<br>agresivos<br>(NaOH, HCl,<br>NaClO),<br>requiere<br>purificación | Si |
| Formulación con<br>residuos mezclados<br>y moldeo | Frutas,<br>cáscaras,<br>bagazo,<br>restos<br>vegetales        | Uso directo, bajo<br>costo, sustentable                        | Composición<br>variable,<br>requiere<br>estandarización                               | Si |
| Refuerzo con<br>nanofibras                        | Fibras<br>vegetales,<br>almidón de<br>papa                    | Mejora<br>resistencia<br>térmica y<br>mecánica                 | Proceso técnico<br>más complejo   | Si |

|                                      |                                    |  |   |    |
|--------------------------------------|------------------------------------|--|---|----|
| Extracción húmeda + moldeado/casting | Papa, yuca melloco                 | Flexible, buen desempeño como film alimentario | Sensibilidad a humedad, baja resistencia sin refuerzo | Si |
| Extrusión/impresión 3D               | Café molido, cascaras de huevo     | Uso de residuos urbanos, diseño personalizado  | Propiedades mecánicas limitadas                       | Si |
| Disolución térmica                   | Gelatina, caseína, savia de abedul | Permite incorporar propiedades funcionales     | Alta sensibilidad a oxidación y pH                    | No |

Fuente: (Las autoras, 2025).

#### 4.2.1 Incorporación de aditivos

La funcionalidad de los bioplásticos puede mejorarse significativamente mediante la incorporación de aditivos, los cuales modifican propiedades físicas, químicas y mecánicas del material final. Entre los aditivos más comunes se encuentran los plastificantes como la glicerina, que aumentan la flexibilidad y reducen la fragilidad de la matriz polimérica. También se utilizan ácidos como el acético y el cítrico, que actúan como catalizadores en la polimerización o como agentes de reticulación, estabilizando la estructura del biopolímero, entre ellos el ácido sulfúrico, sales de cobalto, cloruro de cobalto, zinc lactato entre otros que se mencionan en la Tabla 4 (Montenegro, 2020).

Tabla 3. Aditivos utilizados en la producción de bioplásticos y sus funciones

| Aditivo                       | Función principal                   | Efecto en el bioplástico                      | Origen                                       |
|-------------------------------|-------------------------------------|---|--|
| Glicerol                      | Plastificante                       | Mejora flexibilidad y reduce fragilidad       | Natural si se obtiene de aceites de plantas  |
| Vinagre (ácido acético)       | Plastificante natural               | Reduce la rigidez y facilita el moldeado      | Natural                                      |
| Ácido cítrico                 | Plastificante/<br>modificador de pH | Ajusta la acidez y mejora estabilidad         | Natural                                      |
| CMC<br>(Carboximetilcelulosa) | Espesante/ estabilizador            | Mejora la viscosidad y textura del material   | Químico derivado químicamente de la celulosa |
| Ácidos grasos                 | Modificador de estructura           | Aumenta la flexibilidad y resistencia al agua | Natural                                      |
| Nanofibras de celulosa        | Refuerzo estructural                | Incrementa resistencia mecánica y térmica     | Natural                                      |

|                                       |                                  |  |   |
|---------------------------------------|----------------------------------|--|---|
| TiO <sub>2</sub> (Dióxido de titanio) | Refuerzo/estabilizador UV        | Aumenta la durabilidad y protección contra la luz  | Químico (mineral procesado industrialmente) |
| Cera de abejas                        | Impermeabilizante/ plastificante | Mejora resistencia al agua y flexibilidad          | Natural                                     |
| Caseína                               | Aditivo funcional                | Aporta cohesión y propiedades de barrera           | Natural                                     |
| Gelatina                              | Aditivo funcional                | Aporta elasticidad y mejora propiedades mecánicas  | Natural                                     |
| Aceite vegetal                        | Plastificante / lubricante       | Facilita el moldeado y mejora propiedades al tacto | Natural                                     |
| PVA (Alcohol polivinílico)            | Agente formador de película      | Aumenta cohesión y estabilidad estructural         | Químico (derivado del petróleo)             |

Fuente: (Arcos & Cerda, 2024; Cataldi et al., 2020; Francisco et al., 2021; Muñoz & Riera, 2020; Puca et al., 2022)

Sin embargo, el uso de aditivos también presenta ciertos riesgos. Algunos aditivos, como colorantes o estabilizantes térmicos, pueden liberar sustancias contaminantes si no se controlan adecuadamente durante el proceso de descomposición. Esto podría comprometer la biodegradabilidad y seguridad ambiental del material final (Álvarez, 2019). Por esta razón, se están desarrollando aditivos de origen natural o biodegradables, que ofrecen mejoras funcionales sin alterar las ventajas ecológicas del bioplástico.

Otras técnicas avanzadas incluyen la modificación del bioplástico con poliuretano o mezclas con poliésteres alifáticos, lo que mejora la resistencia mecánica y la estabilidad térmica. Estas innovaciones permiten adaptar los bioplásticos a condiciones más exigentes sin comprometer su capacidad de degradarse en entornos naturales. También se encontraron que mayores concentraciones de glicerina no solo incrementan la flexibilidad, sino también aceleran la biodegradación del material, demostrando que una formulación adecuada puede lograr equilibrio entre funcionalidad y sostenibilidad (Antonio et al., 2020).

Además, varios estudios demostraron que la incorporación de aditivos naturales como aloe vera, cera de abejas o ácido cítrico no solo mejora propiedades como la resistencia térmica y mecánica, sino que también mantienen o incluso aceleran la capacidad de biodegradación del material. Esto resulta fundamental para aplicaciones donde se requiere un equilibrio entre funcionalidad y sostenibilidad (Muñoz & Riera, 2020).

### **4.3. Propiedades fisicoquímicas**

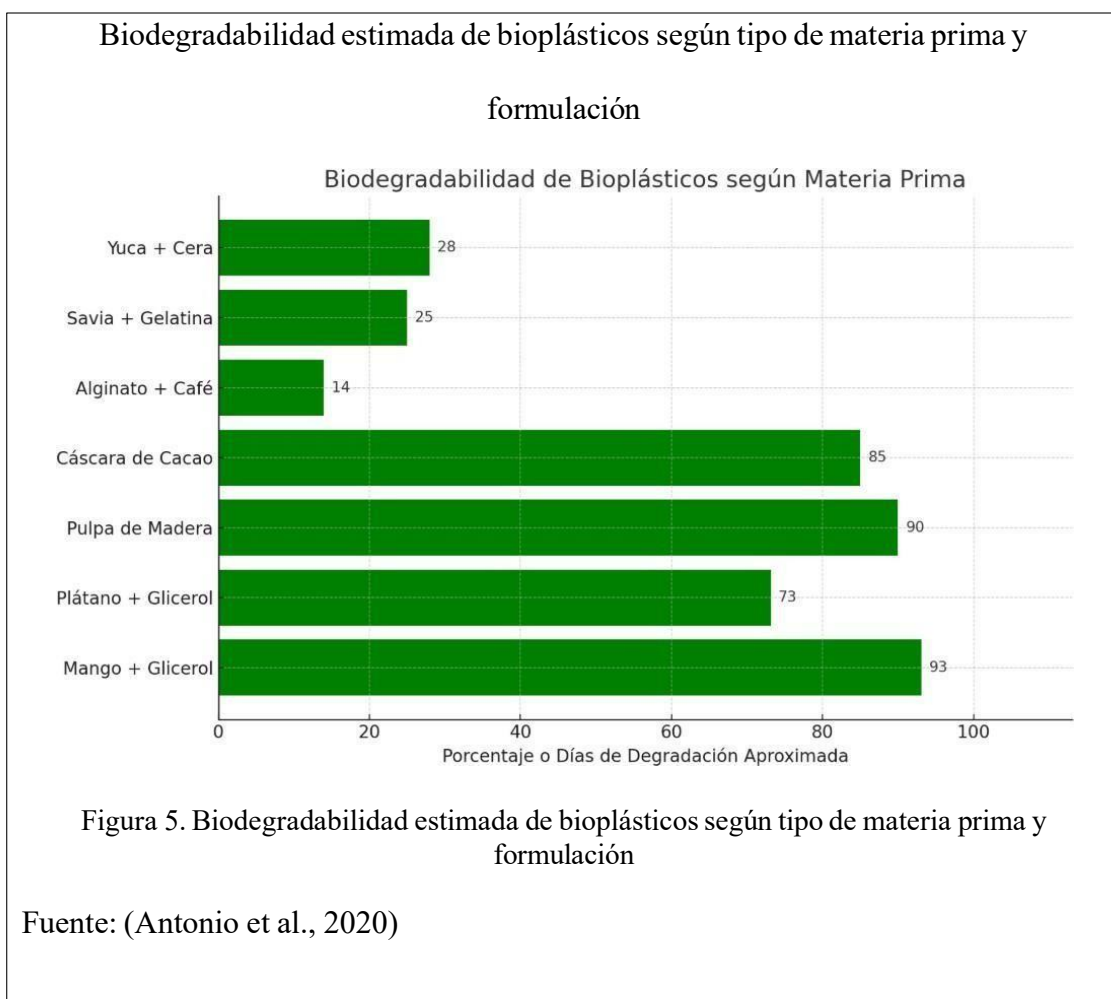
En cuanto a las propiedades funcionales, se identificaron variaciones importantes en resistencia mecánica, estabilidad térmica y comportamiento frente a la humedad, dependiendo del tipo de residuo utilizado y los aditivos incorporados. Por ejemplo, los

bioplásticos basados en almidón de yuca o papa presentaron una textura homogénea y buena elasticidad, pero mostraron sensibilidad a la humedad. Para contrarrestar esta limitación, varios estudios propusieron el uso de refuerzos como nanocelulosa, bagazo de caña o grafeno, logrando mejoras en la resistencia estructural sin comprometer la biodegradabilidad (Enríquez et al., 2020.). El bagazo de caña, debido a que está compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, aporta rigidez y mejora la estabilidad térmica del material al actuar como fibra estructural natural, por otro lado el maíz, que comúnmente se lo utiliza en forma de almidón, con su alta capacidad de formar una película biodegradable que al combinarse con agentes plastificantes o refuerzos naturales, puede ofrecer bioplásticos con buenas propiedades mecánicas y mayor resistencia al agua (Riera, 2020).

#### **4.4. Biodegradabilidad**

La biodegradabilidad es una de las propiedades más destacadas de los biopolímeros, ya que permite su descomposición natural mediante la acción de microorganismos o factores ambientales, generando compuestos inocuos como dióxido de carbono, agua y biomasa. Esta característica puede variar en función de la composición del bioplástico y de los aditivos utilizados en su formulación. Un ejemplo de ello es el estudio realizado por Mogollón, L. (2020), en el que se elaboraron bioplásticos a partir de cáscara de mango y plátano, demostrando que el nivel de biodegradación está directamente relacionado con la cantidad de glicerol empleada como plastificante. Se observó que, con 20 mL de glicerol, el bioplástico a base de mango alcanzó una degradación del 93,06 %, mientras que el de plátano logró un 73,16 %. Estos resultados se ilustran en la Figura 5, donde se comparan diferentes formulaciones de bioplásticos y su nivel de

biodegradabilidad estimada, según la materia prima empleada, resaltando la importancia de optimizar la formulación para mejorar no solo la biodegradabilidad, sino también las propiedades mecánicas del material, recomendándose la combinación del almidón con otros polímeros como hidroxiacidos, ésteres de celulosa o ácidos bicarboxílicos, para obtener bioplásticos más flexibles, resistentes al agua y con mayor integridad estructural (Antonio et al., 2020).



Entre las formulaciones analizadas dentro de la Figura 5, el bioplástico que ha sido elaborado con mango y glicerol presentó el mayor nivel de biodegradabilidad con un 93%, indicando que se degrada más rápidamente. La alta degradabilidad puede atribuirse a la presencia de almidón en el mango, un polisacárido fácilmente atacado por

microorganismos, y el uso de glicerol como plastificante mejora la porosidad y flexibilidad del material, facilitando la penetración de agua y microorganismos. Al contrario de las formulaciones con café que mostraron bajos niveles de degradación posiblemente por la presencia de compuestos fenólicos y estructuras más resistentes a la descomposición (Antonio et al., 2020).

#### **4.5. Aplicaciones potenciales y sus usos**

Los bioplásticos obtenidos a partir de residuos orgánicos han mostrado una amplia gama de aplicaciones, respondiendo a requerimientos técnicos y ambientales en sectores como el alimentario, agrícola, biomédico, textil, electrónico e industrial. Su capacidad para sustituir plásticos convencionales se genera a partir de la biodegradabilidad y la adaptabilidad en sus materiales (Shokrani et al., 2022).

En el sector alimentario los bioplásticos derivados de ñame pueden modificarse con bentonita para su aplicación en envasado de alimentos, ayudando a reducir la migración de plásticos a los alimentos, esto conduce a un envasado eficiente (Aversa et al., 2021). Se han desarrollado películas bioplásticas a partir de carvacrol junto con ácido poliláctico (PLA) y poli (adipato-co-tereftalato de butileno) (PABT) para el empaquetado antifúngico en panadería, inhibiendo el crecimiento de hongos (Klinmalai et al., 2021)

En el ámbito agrícola, estudios como el de Sintim & Flury (2017) han desarrollado películas biodegradables utilizadas para la horticultura de viñedos y bananos, usadas en forma de redes o láminas para campos de hongos. Estas películas mostraron una degradación completa en el suelo, mejorando además la retención de humedad y reduciendo la proliferación de malezas. Asimismo, (Aversa et al., 2021; Yue et al.,

2024) desarrollaron bandejas de germinación fabricadas con proteínas de semillas de algodón y reforzadas con pulpa, las cuales demostraron ser resistentes y compostables, no perjudicaron la germinación ni el crecimiento de las semillas, brindando excelentes condiciones para el crecimiento de las raíces debido a su baja toxicidad, dando un gran potencial en macetas y contenedores aplicables en la agricultura y horticultura.

En el sector biomédico, el polihidroxialcanoato (PHA) es un biopolímero utilizado en el desarrollo de dispositivos médicos, como por ejemplo dispositivos para la reparación de tendones y nervios, por otro lado, el polihidroxibutirato (PHB) es biodegradable con los fluidos corporales y previene la apoptosis celular, este material se utiliza para el desarrollo de herramientas quirúrgicas como suturas, grapas, además para ingeniería en tejidos se aplican en parches cardiovasculares y administración de fármacos. El uso de nanopartículas junto a los bioplásticos tienen una amplia gama de aplicaciones en campos como la ingeniería biomédica, ciencias de la vida, nanotecnología, odontología, etc (Wool, 2013). Los biopolímeros también se utilizan en sistemas de administración de fármacos, estos polímeros biodegradables deben tener una eficiencia de encapsulamiento máximo y un tiempo de resistencia de acuerdo con el tiempo de curación del tejido, en estos biopolímeros se han tomado en cuenta las polihidroxialcanoato (PHA), ácido poliláctico (PLA) y ácido poliláctico-co-glicólico (PLGA) (Narancic et al., 2020).

En el campo de la impresión 3D, la aplicación biopolímeros es usada para productos biodegradables. El estudio evidenció buena extrusión, cohesión entre capas y propiedades mecánicas adecuadas para la elaboración de envases personalizables y piezas biomédicas (Shokrani et al., 2022).

Diversas compañías automotrices han incorporado bioplásticos en la fabricación de piezas de vehículos debido a su origen renovable y propiedades funcionales. Materiales como poliésteres, polipropileno (PP), poliamidas, tereftalato de polietileno (PET) y ácido poliláctico (PLA) han sido empleados en componentes como asientos, airbags, tableros, maleteros y volantes. Toyota, Mazda, Honda, Daimler-Benz, Volkswagen, Ford y Mercedes-Benz han liderado esta transición. Destacan innovaciones como el uso de fibras naturales (albaca, cáñamo, yute, plátano) combinadas con resinas para fabricar paneles, protectores térmicos y piezas exteriores, mejorando la sostenibilidad y el rendimiento de los vehículos (Madrid Rodríguez et al., 2020).

#### **4.6. Impacto ambiental y económico**

Los estudios revisados coinciden en que el uso de residuos orgánicos como materia prima reduce significativamente la huella de carbono y el volumen de residuos sólidos, pues aprovecha recursos que de otro modo serían desechados y disminuye la dependencia de polímeros derivados del petróleo. En el estudio de *“Potencial de Biomasa en América del Sur para la Producción de Bioplásticos”* se indica que transformar cáscaras de cacao, plátano o mango en bioplásticos puede reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) hasta en un 40 % frente a los procesos convencionales de plásticos fósiles, y permite valorizar desechos agroindustriales que habitualmente serían eliminados mediante quema o disposición en vertederos, prácticas que generan gases de efecto invernadero (Vargas et al., 2021).

Además, el documento sobre *“Obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz Zea mays L.”* destaca que utilizar subproductos como el almidón recuperado de maíz permite disminuir los costos de disposición de residuos agrícolas y reduce el consumo energético

necesario para producir polímeros sintéticos, ya que los procesos de gelatinización y moldeo térmico requieren temperaturas más bajas que las usadas en la síntesis de plásticos convencionales (Riera, 2020). De manera similar, el estudio de *“Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de Mangifera indica y Musa paradisiaca”* evidencia que los bioplásticos obtenidos de estas materias primas se descomponen completamente en compost en un rango de 15 a 45 días, lo cual contribuye a reducir la acumulación de residuos plásticos en rellenos sanitarios y océanos (Antonio et al., 2020). Por otra parte, se documentó que mezclas innovadoras, como almidón con pectina o sargazo, no solo mejoran propiedades mecánicas como elasticidad y resistencia térmica, sino que además utilizan recursos renovables poco explotados, disminuyendo la presión sobre cultivos destinados exclusivamente a la industria plástica. Esto se refleja en el estudio de *“Obtención de bioplástico a base de pectina de cáscara de pepino reforzado con almidón de maíz Zea mays”*, donde se reporta que la adición de pectina incrementa la biodegradabilidad del material y mejora su desempeño como barrera contra la humedad, reduciendo la necesidad de plásticos convencionales en empaques (Jara & Ocaña, 2022). Además, el estudio sobre *“Organic waste biobased materials for 3D extrusion”* explica que residuos como café molido, cáscara de huevo y aloe vera han sido incorporados en matrices de bioplásticos para impresión 3D, disminuyendo el uso de polímeros vírgenes y generando productos compostables. Esto no solo reduce la demanda de petróleo, sino que también evita que toneladas de estos subproductos agroindustriales se conviertan en desechos contaminantes (Delgado et al., 2022).

Finalmente, análisis del ciclo de vida (LCA) incluidos en el estudio *“Multifunctional Biocomposites based on Polyhydroxyalkanoate and graphene carbon nanofiber hybrids for electrical and thermal applications”* revelan que, si bien los costos iniciales de producción

de bioplásticos suelen superar a los de los plásticos convencionales, los beneficios ambientales como la mitigación de gases de efecto invernadero, la disminución de toxicidad ambiental y la generación de valor en cadenas de economía circular justifican su implementación a largo plazo, especialmente en sectores comprometidos con la sostenibilidad (Cataldi et al., 2020).

#### **4.7. Comparación de los bioplásticos con los plásticos convencionales**

Los bioplásticos derivados de residuos orgánicos se han posicionado como una alternativa prometedora frente a los plásticos convencionales, no solo por su origen renovable, sino también por su menor impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida. A diferencia de los polímeros sintéticos derivados del petróleo, cuya producción conlleva una alta emisión de gases de efecto invernadero y genera materiales que pueden tardar siglos en degradarse, los bioplásticos ofrecen ventajas significativas tanto en sostenibilidad como en biodegradabilidad. Estudios recientes han demostrado que bioplásticos formulados con pectina y glicerol pueden alcanzar una biodegradación del 100 % en tan solo 21 días en suelo y 28 días en agua e intemperie, lo cual contrasta con la persistencia centenaria de los plásticos petroquímicos (Jara & Ocaña, 2022).

Desde el punto de vista funcional, si bien los plásticos convencionales presentan una mayor resistencia mecánica, los bioplásticos han demostrado ser adecuados para diversas aplicaciones mediante el ajuste de formulaciones. El uso de refuerzos como nanofibras de celulosa o grafeno ha permitido que materiales biobasados logren valores de resistencia a la tracción de hasta 80 MPa, alcanzando parámetros comparables con polímeros como el polietileno de alta densidad (Rivera & Vílchez, 2020). Este tipo de mejoras estructurales ha sido fundamental para ampliar las aplicaciones de los

bioplásticos en sectores como empaques biodegradables, utensilios desechables y componentes médicos (Zornoza, 2022).

En términos de procesabilidad, los bioplásticos pueden ser moldeados mediante técnicas industriales comunes como extrusión, termoformado e impresión 3D. A pesar de que su resistencia térmica suele ser menor que la de los polímeros sintéticos, estudios han demostrado que mezclas con copoliésteres alifáticos como el adipato de polibutileno succinato (PBSA) pueden compensar esta limitación, expandiendo así su aplicabilidad a condiciones más exigentes (Galeano, 2021). El ácido poliláctico (PLA), por ejemplo, ha sido utilizado con éxito en la impresión 3D de piezas funcionales a partir de materiales como café, cáscara de huevo o alginatos, lo cual permite incorporar sostenibilidad en procesos de fabricación digital (Delgado et al., 2022).

En relación con el impacto ambiental, los bioplásticos no generan micro plásticos al degradarse ni liberan aditivos tóxicos, como sucede con los plásticos petroquímicos que contienen compuestos como el bisfenol A o los retardantes de llama. Adicionalmente, los residuos que se aprovechan para su producción evitan prácticas contaminantes como la quema abierta, que libera grandes cantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y material particulado (Montenegro, 2020). Este enfoque de valorización también se alinea con principios de economía circular, al transformar desechos orgánicos en productos de valor agregado, lo cual representa una ventaja tanto ambiental como social, especialmente en regiones agrícolas donde estos residuos son abundantes, pero poco aprovechados (Lizarzaburu & Baca, 2022).

La versatilidad de los bioplásticos permite su uso en una amplia gama de industrias. En la agricultura, se han desarrollado películas biodegradables y bandejas de germinación

que se degradan directamente en el suelo, reduciendo los residuos y facilitando las labores de campo (Barreto, 2022). En el sector alimentario, los bioplásticos han demostrado ser seguros para el contacto con alimentos y cumplen funciones similares a las de los envases sintéticos. En la medicina, biopolímeros como el polihidroxibutirato (PHB) o el ácido poliláctico (PLA) se han utilizado para fabricar cápsulas farmacéuticas, suturas absorbibles y apósitos biodegradables. Incluso en el sector educativo y cultural, se promueve su uso como herramientas pedagógicas que permiten concienciar desde edades tempranas sobre la problemática ambiental del plástico convencional. También se han identificado aplicaciones en la industria textil, comercial, eléctrica y de manufactura digital, ampliando significativamente el espectro de usos de estos materiales emergentes (Ínfer, 2023).

#### **4.8. Viabilidad económica de los bioplásticos derivados de residuos orgánicos**

La producción de bioplásticos a partir de residuos orgánicos se perfila como una alternativa económicamente prometedora, especialmente en regiones donde los subproductos agroindustriales son abundantes. Dentro de los estudios se destacan García & Rivera (2020); Guerrero (2020); Navarrete et al. (2023), Rivera & Vílchez (2020); Rosenboom et al. (2022) y Urgiles (2021), que el uso de residuos como cáscaras de papa, plátano, arroz, cebolla o mango reduce considerablemente los costos de insumos, ya que se aprovechan materiales que de otro modo serían desechados. Por ejemplo, el documento *“Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscaras de papa”* menciona que este bioplástico es viable para empaques de un solo uso debido a la gratuidad de su materia prima. Igualmente, el estudio *“Obtención de biopolímeros PHB a partir de cascarilla de cacao”* reconoce que, aunque el polihidroxibutirato (PHB) aún

es más caro que el polipropileno (PP), el uso de residuos permite reducir costos de producción frente a métodos tradicionales.

A pesar de las ventajas en cuanto a insumos, los bioplásticos aún enfrentan limitaciones en cuanto a competitividad frente a polímeros petroquímicos como el polietileno (PE) o el polipropileno (PP). Documentos como *“Potencial de biomasa en América del Sur para la producción de bioplásticos”* y el *“Plan de negocios para la producción y comercialización de bioplástico obtenido a partir de residuos orgánicos”* coinciden en señalar que la falta de escalabilidad industrial, los altos costos de procesamiento (extracción de pectina, almidón, celulosa) y la ausencia de economías de escala incrementan el precio por tonelada. Sin embargo, estos estudios también subrayan que la abundancia de biomasa residual en América Latina representa una oportunidad estratégica para desarrollar cadenas de producción local sostenibles y competitivas, con menores gastos de transporte y reducción en la huella de carbono.

En este contexto, los bioplásticos derivados de residuos orgánicos ofrecen beneficios económicos indirectos significativos. Según *“Organic Waste Bio-Based Materials for 3D Extrusion”*, el aprovechamiento de residuos urbanos con tecnologías accesibles, como la impresión 3D, permite modelos de producción de bajo costo. Asimismo, *“El surgimiento de los bioplásticos”* indica que, pese a los altos costos actuales frente a los polímeros fósiles, existe una tendencia de crecimiento sostenido impulsada por políticas ambientales y la presión del mercado hacia alternativas sostenibles tal y como se muestra en la Tabla 4. Estos factores, junto a posibles incentivos fiscales o normativas proambientales, podrían mejorar la rentabilidad del bioplástico en sectores de nicho, especialmente donde la biodegradabilidad o el contacto alimentario seguro son

prioritarios. Aunque los plásticos convencionales siguen dominando el mercado por su bajo costo unitario y su infraestructura de producción consolidada, los bioplásticos representan una solución integral más alineada con los objetivos de sostenibilidad global. Con mejoras tecnológicas continuas, incorporación de aditivos funcionales y el aprovechamiento estratégico de residuos, estos materiales tienen el potencial de sustituir, en el mediano plazo, hasta el 85 % de los usos actuales del plástico. No obstante, se requiere mayor inversión en infraestructura, investigación y políticas públicas que fomenten su desarrollo industrial y garanticen su escalabilidad. Así, la transición hacia bioplásticos no solo es posible, sino necesaria frente a la crisis ecológica actual (Vargas et al., 2021).

*Tabla 4. Comparación técnico-económica entre bioplásticos derivados de residuos orgánicos y plásticos convencionales (PE, PP)*

| Criterio                     | Bioplásticos (residuos orgánicos)      | Plástico Convencional                       |
|------------------------------|--|---|
| Materia Prima                | Residuos agroindustriales              | Derivados del petróleo                      |
| Costo de insumo principal    | Muy bajo o nulo                        | Alto (precio sujeto al crudo)               |
| Costo de producción estimado | 2.0-6.0 USD/Kg (Pequeña escala)        | 1.0-1.8 USD/Kg (Gran escala)                |
| Escalabilidad industrial     | Media a limitada (requiere inversión)  | Muy alta (infraestructura global existente) |
| Normas de Calidad            | En desarrollo/ EN13432                 | Estándares internacionales establecidos     |
| Biodegradabilidad            | Alta (<28 días en condiciones óptimas) | Nula (>100 años)                            |

|                               |   |   |
|-------------------------------|---|---|
| Fuente renovable              | Si  | No  |
| Inversión Inicial             | Moderada (procesamiento especializado)                    | Baja (infraestructura ya consolidado)         |
| Impacto ambiental             | Bajo  | Alto  |
| Emisiones GEI                 | Bajas   | Altas   |
| Subproductos valorizables     | Compost biofertilizantes                                  | Ninguno                                       |
| Precio unitario en el mercado | Variable (más alto si es industrial)                      | Bajo y estable                                |
| Aplicaciones actuales         | Empaques, utensilios, agricultura, medicina               | Bolsas, envases, partes industriales          |
| Ventaja competitiva           | Circularidad, sostenibilidad, normativas en crecimiento   | Costo de producción y volumen                 |
| Proyección de mercado         | En crecimiento (20-100% anual en sectores regulados)      | Estancado o decreciente en sectores regulados |
| Rentabilidad a futuro         | Alta (sise masifica la producción y mejora la tecnología) | Amenazada por regulaciones ambientales        |

Fuente: (Las autoras, 2025).

## 5. Interpretación de Resultados

Los resultados obtenidos a partir del análisis de literatura científica y técnica permiten identificar patrones significativos en la producción y comportamiento funcional de bioplásticos elaborados con residuos orgánicos. Se evidenció que materias primas como almidón de maíz, yuca, papa, cáscara de plátano, mango, cacao, entre otras, presentan alto

potencial para ser transformadas en matrices poliméricas biodegradables. Estas fuentes fueron seleccionadas tanto por su disponibilidad regional como por su capacidad para generar biopolímeros de interés como el almidón termoplástico (TPS), ácido poliláctico (PLA) y polihidroxitirato (PHB) (Cortizo, 2022; Muñoz & Riera, 2020).

En cuanto a los procesos de obtención, la mayoría de las investigaciones aplican técnicas accesibles y de bajo costo, como la gelatinización, mezclado con plastificantes naturales (glicerol, aceites vegetales, cera de abejas) y moldeo por calor. Estas metodologías permiten obtener películas, empaques o utensilios biodegradables con propiedades ajustables según el tipo de aditivo utilizado. La incorporación de plastificantes influye directamente en la flexibilidad, resistencia mecánica y permeabilidad del bioplástico, siendo necesario balancear su cantidad para mantener la integridad del material sin comprometer su descomposición (García & Rivera, 2020).

Respecto a la biodegradabilidad, se registraron tiempos de degradación mucho menores en comparación con los plásticos derivados del petróleo. Por ejemplo, bioplásticos formulados con cáscara de yuca y cera de abejas se descompusieron en menos de 30 días bajo condiciones naturales, mientras que otros, como los derivados de almidón de maíz o cacao, mostraron tasas de degradación superiores al 90 % en ambientes de compostaje (Muñoz & Riera, 2020). Esto posiciona a estos materiales como una alternativa viable para aplicaciones de ciclo corto, como empaques alimentarios o vajillas desechables.

En términos de viabilidad económica, aunque se reconocen ventajas como el bajo costo de las materias primas por tratarse de residuos, el documento aún presenta limitaciones para establecer una comparación directa con plásticos convencionales como el polietileno (PE) o el polipropileno (PP). Faltan cifras concretas de producción a escala industrial y datos de

mercado que permitan evaluar la competitividad real del producto. No obstante, la literatura revisada coincide en que la rentabilidad podría aumentar significativamente con la implementación de políticas públicas de incentivo, inversión en infraestructura y tecnologías de procesamiento a gran escala.

## 6. Conclusiones

Los residuos orgánicos agroindustriales representan una fuente viable para la producción de bioplásticos, al ser materiales abundantes, de bajo costo y con alto contenido de almidón, celulosa o lípidos, que pueden transformarse mediante procesos sencillos en matrices poliméricas funcionales.

La formulación de los bioplásticos influye directamente en su desempeño físico, mecánico y biodegradativo. El uso adecuado de plastificantes naturales permite mejorar la flexibilidad del material, pero su exceso puede comprometer la resistencia. Además, el tipo de residuo impacta en la velocidad de degradación, que en muchos casos fue inferior a 60 días bajo condiciones naturales o de compostaje.

Aunque los plásticos derivados del petróleo siguen siendo más económicos a gran escala, los bioplásticos elaborados con residuos orgánicos muestran ventajas ambientales claras y un potencial de competitividad creciente, especialmente si se integran en modelos de economía circular o estrategias de valorización de desechos agroindustriales.

Para garantizar la escalabilidad y competitividad de estos materiales, se requiere fortalecer la investigación aplicada, mejorar los sistemas de recolección y transformación de residuos, y establecer marcos regulatorios que favorezcan la transición hacia materiales biodegradables en sectores estratégicos como el alimentario, el agrícola y el de envases.

## 7. REFERENCIAS

- Álvarez, P. (2019). *EVALUACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD DE UNA PELÍCULA DE PLÁSTICO DE BIOPOLÍMERO SINTETIZADO A PARTIR DE XILOGLUCANO DE TAMARINDO* [UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS].  
<https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/9fe39a9c-6f4b-44c8-9c30-fb84df7e176f/content>
- Amaya-Pinos, J. (2022). Thermo-mechanical study of the mixture of polylactic acid PLA obtained from potato starch with an aliphatic copolyester PBSA (polybutylene succinate adipate). *DYNA (Colombia)*, 89(221), 142–150.  
<https://doi.org/10.15446/dyna.v89n221.98414>
- Angamarca, Y., & Delgado, L. (2022). *Elaboracion de biopolímeros a partir de residuos de maíz (Zea Mays L.) para la elaboración de films.*
- Antonio, F., Auccahuasi, S., Del Carmen, L., Mogollón, H., Chipa, H., Elizabeth, M., & Chacón, Ch. (2020). *Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de Mangifera indica y Musa paradisiaca.* 47(4), 22–31.  
<http://cagricola.uclv.edu.cu>
- Arcos, J., & Cerda, A. (2024). *Obtención de bioplástico a partir de la penca de pitahaya (Selenicereus undatus) con almidón de papa (Solanum tuberosum) y extracto de orégano (Origanum vulgare) para su posterior evaluación de propiedades físico-mecánicas y microbiológicas.*
- Arcos, J., & Marín, B. (2021). La actualidad de los tipos de envases plásticos para alimentos. *E-IDEA Journal of Engineering Science*, 3(6), 1–16.  
<https://doi.org/10.53734/esci.vol3.id176>

- Astudillo, P., Cortés, H., Pérez, A., & Aisha, D. (2025). Bioplástico de Arroz: Una Alternativa Comestible y Sostenible para Reducir la Contaminación Plástica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(6), 9504–9513. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i6.15622](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15622)
- Atiwesh, G., Mikhael, A., Parrish, C., Banoub, J., & Le, T. (2021). Environmental impact of bioplastic use: A review. *Heliyon*, 7(9), e07918. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2021.E07918/ASSET/F6356524-C9E2-4B3A-9F22-4FB5C0AA68A1/MAIN.ASSETS/GR6.JPG>
- Aurelio, M., & Sánchez, J. (2020). *El surgimiento de los bioplásticos: Un estudio de nichos tecnológicos*. <http://doi.org/10.15174.au.2020.2654>
- Aversa, C., Barletta, M., Gisario, A., Pizzi, E., Prati, R., & Vesco, S. (2021). Design, manufacturing and preliminary assessment of the suitability of bioplastic bottles for wine packaging. *Polymer Testing*, 100, 107227. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMERTESTING.2021.107227>
- Barreto, E. (2022). *Los bioplásticos como sustitutos de los plásticos de un solo uso en Colombia*.
- Calero, M., & Lapo, E. (2021). *DISEÑO DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE ENVASES BIODEGRADABLES A PARTIR DE BIOPLÁSTICO, APROVECHANDO RESIDUOS DEL PLÁTANO (musa paradisiaca) CON APLICACIÓN PARA EL USO DE EMPAQUETADO DE ALIMENTOS*. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6123>
- Cataldi, P., Steiner, P., Raine, T., Lin, K., Kocabas, C., Young, R. J., Bissett, M., Kinloch, I. A., & Papageorgiou, D. G. (2020). Multifunctional Biocomposites based on Polyhydroxyalkanoate and Graphene/Carbon-Nanofiber Hybrids for Electrical and

- Thermal Applications. *ACS Applied Polymer Materials*, 2(8), 3525–3534.  
<https://doi.org/10.1021/acsapm.0c00539>
- Cortizo, C. (2022). *Obtención de biopolímeros (PHB) a partir de cascarilla de cacao mediante un proceso de fermentación empleando Bacillus firmus*.
- Delgado, C., Breuer, R., & Forman, G. (2022). ORGANIC WASTE BIO-BASED MATERIALS FOR 3D EXTRUSION: EGGSHELLS, SHELLS SAND AND COFFEE GRAINS WITH SODIUM ALGINATE. *Convergencias: Revista de Investigacao e Ensino Das Artes*, 15(29), 77–87. <https://doi.org/10.53681/c1514225187514391s.29.133>
- Dioses, A., & Villanueva, K. (2021). *Obtención de bioplástico a base de pectina de cáscara de pepino (cucumis sativus) reforzado con almidón de maíz (zea mays) 2021 [ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA AMBIENTAL]*.  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/90891/Dioses\\_VAD-Villanueva\\_FKE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/90891/Dioses_VAD-Villanueva_FKE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Enríquez, K., Amaguay, R., & Sevilla, C. (2020). *Vista de Bioplásticos a Partir de Residuos Agrícolas: Una Revisión Sistemática, Tendencias Y Oportunidades Actuales*. Retrieved December 14, 2024, from <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/14294/20455>
- Eréndira, M., & Huerta, A. (2019). *Desarrollo de un biopolímero a partir de residuos orgánicos*. <http://www.repositorio.unadmexico.mx:8080/xmlui/handle/123456789/188>
- Fajardo, A. (2023). *ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE UN BIOPLASTICO A PARTIR DE ALMIDON DE YUCA*. 1–36.

- Francisco, B., Vidal, I., Maldonado, Y., Jiménez, J., Flores, V., Arámbula, G., & 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://doi.org/10.18633/BIOTECNIA.V23I1.1324>
- Galeano, D. (2021). *Elaboración de un plan de negocios para la producción y comercialización de bioplástico, obtenido a partir de residuos orgánicos en la localidad de puente Aranda*. 1–165. <http://hdl.handle.net/11349/29413>
- García, D., & Rivera, J. (2020). *APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS AGRÍCOLAS MEZCLADOS CON PLASTIFICANTE PARA LA OBTENCIÓN DE UN BIOPOLIMERO RESISTENTE Y BIODEGRADABLE*. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1353>
- Guamán, J. (2019). *OBTENCIÓN DE PLÁSTICOS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALMIDÓN DE CASCARAS DE PAPA PARA SU APLICACIÓN INDUSTRIAL*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11069>
- Guerrero, L. (2020). *Uso de los residuos vegetales en la elaboración de bioplástico*. UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO.
- Gupta, V., Biswas, D., & Roy, S. (2022). A Comprehensive Review of Biodegradable Polymer-Based Films and Coatings and Their Food Packaging Applications. *Materials*, 15(17), 5899. <https://doi.org/10.3390/MA15175899>
- Ínfer, A. (2023). *Estado actual de los bioplásticos con aplicaciones industriales*.
- Jara, V., & Ocaña, Z. (2022). *Valorización de residuos orgánicos mediante la elaboración de bioplástico a partir de la pectina de cascaras de cítricos y manzanas*.

- Khalid, S., Naeem, M., Talha, M., Hassan, S. A., Ali, A., Maan, A. A., Bhat, Z. F., & Aadil, R. M. (2024). Development of biodegradable coatings by the incorporation of essential oils derived from food waste: A new sustainable packaging approach. *Packaging Technology and Science*, 37(3), 167–185. <https://doi.org/10.1002/PTS.2787>
- Klinmalai, P., Srisa, A., Laorenza, Y., Katekhong, W., & Harnkarnsujarit, N. (2021). Antifungal and plasticization effects of carvacrol in biodegradable poly(lactic acid) and poly(butylene adipate terephthalate) blend films for bakery packaging. *LWT*, 152, 112356. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.112356>
- Lema, E., Manzo, N., Baque, L., & Moreira, M. (2020). *Bioplásticos a partir de residuos del cacao, una alternativa para mitigar la contaminación por plástico*. <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rii/article/view/2407/3023>
- Lizarzaburu, J., & Baca, R. (2022). *Evaluación de los métodos para la generación de bioplástico*.
- López, R. S., Ponce, B. A. F., Silva, I. M. V., Astudillo, Y. I. M., Hernández, J. J., Casamayor, V. F., & Villa, G. A. (2021). Efecto de la adición de subproductos agroindustriales en las propiedades físicas de un biopolímero almidón-gelatina. *Biotecnia*, 23(1), 52–61. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i1.1324>
- Madrid Rodríguez, J. M., Chacón, E., & Martínez Urreaga, J. (2020). *Bioplásticos en la industria automovil*.
- Miranda, L. (2023). *Bioplásticos a partir de algas verdes*. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/27196>

- Montenegro, R. (2020). *APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE ARROZ PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICOS*.
- Muñoz, S., & Riera, M. (2020). Residuos de la cáscara de yuca y cera de abejas como potenciales materiales de partida para la producción de bioplásticos. *Avances En Química*, 15(1), 3–11. <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/avancesenquimica/article/view/16196>
- Narancic, T., Cerrone, F., Beagan, N., & O'Connor, K. E. (2020). Recent Advances in Bioplastics: Application and Biodegradation. *Polymers 2020*, Vol. 12, Page 920, 12(4), 920. <https://doi.org/10.3390/POLYM12040920>
- Navarrete, C., Mezones, J., Ponce, W., Brito, B., Viera, W., Córdova, R., & Riera, M. (2023). Obtención y caracterización de bioplásticos a partir de almidón acetilado de semillas de aguacate. *Avances En Química*, 18(1), 29–38. <https://doi.org/10.53766/AVANQUIM/2023.18.01.03>
- Ortega, M. (2019). *Elaboración de bioplástico a partir de paja y residuos de grano de arroz*. [https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2810/Mariangela%20Ortega\\_Trabajo%20de%20investigaci%3fb3n\\_Bachiller\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2810/Mariangela%20Ortega_Trabajo%20de%20investigaci%3fb3n_Bachiller_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pertuz, A., & Benavides, R. (2020). *ALTERNATIVA VERDE: BIOPLÁSTICOS ELABORADOS CON BIOPOLÍMEROS DE ORIGEN RENOVABLE*. <https://orcid.org/0000->
- Puca, M., Aguilar, M., Canché, G., & Neira, M. (2022). EVALUATION OF THERMAL PROPERTIES AND PERMEABILITY OF BIOPLASTIC FILMS BASED ON STARCH, ALOE VERA AND GRAPHENE. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 88(1), 63–77. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v88i1.376>

- Quiñonez, A. (2020). *Prototipo de plato bioplástico a base de cáscara de mango como recipiente alimentario*. 1–124.
- Quintanilla, M., Rosado, G., & Arias, M. (2024). *Producción de bioplásticos sostenibles a partir de harina de cáscara y pulpa de yuca (Manihot esculenta)*. [https://doi.org/https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(6\)819-836](https://doi.org/https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)819-836)
- Riera, M. (2020). OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ (*Zea mays* L.). *Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 7(1), 1–11. <https://doi.org/10.48204/J.COLONCIENCIAS.V7N1A1>
- Rivera, Y., & Vilchez, V. (2020a). *Análisis de las propiedades de los bioplásticos a base de almidón*.
- Rivera, Y., & Vilchez, V. (2020b). Revisión sistemática: análisis de las propiedades de los bioplásticos a base de almidón. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/62559>
- Rosenboom, J. G., Langer, R., & Traverso, G. (2022). Bioplastics for a circular economy. *Nature Reviews. Materials*, 7(2), 117–137. <https://doi.org/10.1038/S41578-021-00407-8>
- Sanchez, P., Bustos, E., & Reyes, J. (2021). *Problemática de los plásticos de un solo uso en las instituciones educativas*.
- Sebastian, J., & Cardona, H. (2019). OBTENCIÓN DE UN BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE PAPA. 1–151.

- Shokrani, H., Shokrani, A., & Saeb, M. R. (2022). Methods for biomaterials printing: A short review and perspective. *Methods*, 206, 1–7.  
<https://doi.org/10.1016/J.YMETH.2022.07.016>
- Sintim, H. Y., & Flury, M. (2017). Is Biodegradable Plastic Mulch the Solution to Agriculture's Plastic Problem? *Environmental Science and Technology*, 51(3), 1068–1069.  
[https://doi.org/10.1021/ACS.EST.6B06042/ASSET/IMAGES/LARGE/ES-2016-06042E\\_0001.JPEG](https://doi.org/10.1021/ACS.EST.6B06042/ASSET/IMAGES/LARGE/ES-2016-06042E_0001.JPEG)
- Titto, E., Titto, G., & Savino, A. (2022). *Plásticos un mundo en expansión requiere atención*.
- Urgiles, R. (2021). *OBTENCIÓN DE UN BIOPOLÍMERO A PARTIR DE MELLOCO (ullucus tuberosus) PARA EL USO COMO EMBALAJE PARA ALIMENTOS*.
- Vargas, Y., Pazmiño, J., & Dávila, J. (2021). Biomass potential in south America for the production of bioplastics. A review. *Revista Politecnica*, 48(2), 7–20.  
<https://doi.org/10.33333/rp.vol48n2.01>
- Vizuite, R., López, I., Delgado, A., & Sánchez, G. (2020). *BIOEMPAQUES PARA LA INDUSTRIA ALIMENTARIA A PARTIR DE NANOCOMPUESTOS Y POLÍMEROS NATURALES POLYMERS* (Vol. 2020).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.31243/aci.v27i2.1036>
- Wool, R. P. (2013). and Coatings from Plant Oil. *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics: Properties, Processing and Applications*, 2005, 265–294.  
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-4557-2834-3.00012-4>
- Yue, H., Li, X., Mai, L., Wu, Q., He, M., Yin, G., Peng, J., Yang, C., & Guo, J. (2024). Sustainable cottonseed protein bioplastics: Physical and chemical reinforcement, and plant

seedling growth application. *Chemical Engineering Journal*, 497, 154794.

<https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2024.154794>

Zornoza, M. (2022). *Caracterización y aprovechamiento de la savia de abedul. Preparación de bioplásticos enriquecidos.*