



**Evaluación de los Criterios de Sostenibilidad en la Elaboración de Empaques de Alimentos
a Base de Bioplásticos Obtenidos de la Cáscara del Banano**

Sandra Milena Bustos Castro

Trabajo de grado de maestría presentado para optar al título de Magíster en Sostenibilidad

Director

Oscar Vasco Echeverri, Doctor (PhD) en Biotecnología

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingenierías

Maestría en Sostenibilidad

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

El contenido de este documento no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o en cualquiera otra universidad.

Agradecimientos

Expreso mis más sinceros agradecimientos a Dios, por ser esa fortaleza en mi vida, a mi familia, por brindarme su amor y apoyo incondicional y motivarme a continuar fortaleciendo mi estudio, y a mi director de trabajo de grado, por brindarme su tiempo, asesoramiento y confianza.

Tabla de contenido

Resumen	11
Abstract	12
Introducción	13
1. Planteamiento del problema	14
2. Justificación.....	16
3. Objetivos	17
3.1. Objetivo general	17
3.2. Objetivos específicos.....	17
4. Marco Referencial	18
4.1. Marco Conceptual	18
4.2. Estado del Arte	20
5. Metodología	23
6. Identificación requisitos normativos de bioplásticos en la elaboración de los empaques de alimentos	24
6.1. Requisitos que deben cumplir los empaques de alimentos	24
6.2. Normatividad Internacional.....	28
6.3. Normatividad Nacional	30
6.3.1. Resoluciones, leyes, políticas, entre otros, en Colombia.....	30
6.3.2. Normas Técnicas Colombianas - ICONTEC.....	32
6.4. Análisis del Contexto Normativo	35
7. Tecnologías y costos de obtención de bioplásticos a partir de la cáscara del banano.....	37
7.1. Aplicación de los Bioplásticos	37
7.1.1. Impacto de los Materiales Plásticos.....	37
7.1.2. Bioplásticos.....	40

7.1.3. Bioplásticos Obtenidos de los Residuos Agroindustriales: Biopolímeros.....	45
7.2. Obtención de Bioplásticos a partir de Residuos Agroindustriales del Banano	48
7.2.1. Producción del Banano	48
7.2.2. Agroindustria del banano en Colombia	49
7.2.2.1. Caracterización de la Cáscara del Banano	50
7.2.3. Obtención de Películas Biodegradables a partir de la Cáscara de Banano	51
7.2.3.1. Pretratamiento de la Cáscara	52
7.2.3.2. Extracción del Biopolímero	52
7.2.3.3. Aditivos en el procesamiento de biopolímeros	54
7.2.3.4. Procesos de formación de películas	55
7.2.3.5. Procesos Posteriores.....	57
7.2.3.6. Obtención de Películas a Escala Laboratorio.....	58
7.2.3.7. Caso de Éxito	59
7.3. Costos Asociados a los Bioplásticos	59
7.4. Análisis de la tecnología y costos de las películas biodegradables.....	61
8. Comportamiento del consumidor en torno al uso de los bioplásticos en los empaques de alimentos	63
8.1. Comportamiento del Consumidor	63
8.2. Economía Circular – Bioplásticos.....	68
8.2.1. Ecodiseño.....	70
8.2.2. Bioplástico Biodegradable.....	72
8.2.3. Impacto del Consumidor en los Bioplásticos.....	73
8.3. Sostenibilidad de los Empaques de Alimentos	74
8.3.1. Componente Técnico	75
8.3.2. Componente Económico – Gobernanza.....	76

8.3.3. Componente Ambiental	77
8.3.4. Componente Social	78
8.3.5. Relación con los ODS.....	79
8.3.5.1. Salud y Bienestar (ODS 3).....	79
8.3.5.2. Producción y Consumo Responsable (ODS 12)	80
8.3.5.2. Acción por el Clima (ODS 13).....	80
8.3.6. Integración de un Empaque Sostenible.....	81
9. Conclusiones	84
10. Recomendaciones.....	85
Referencias	86

Lista de tablas

Tabla 1 Normas Internacionales para la fabricación de empaques plásticos y/o de bioplástico...28
Tabla 2 Normatividad, Planes y Estrategias Colombianas asociados a la elaboración, fabricación y gestión de materiales y empaques plásticos31
Tabla 3 Normas Técnicas Colombianas asociadas a la elaboración, fabricación y gestión de materiales y empaques plásticos33
Tabla 4 Métodos de Extracción de biopolímeros a partir de Biorresiduos53
Tabla 5 Proceso de obtención de polímeros biodegradables.....56
Tabla 6 Obtención de películas a partir de la cascara de banano – Revisión Bibliográfica.....58
Tabla 7 Áreas para el análisis de los costos de los empaques61
Tabla 8 Revisión Bibliográfica sobre el Comportamiento del Consumidor y Percepción de las Industrias con relación a los Bioplásticos66

Lista de figuras

Figura 1 Interacciones entre el alimento, el envase y el medio ambiente (factores que pueden afectar la calidad del alimento).....	25
Figura 2 Clasificación de materiales plásticos	38
Figura 3 Impacto de los materiales plásticos	39
Figura 4 Principales Usos de los Plásticos Biodegradables	41
Figura 5 Clasificación de los Bioplásticos	42
Figura 6 Clasificación de los Plásticos Bio-Basado (Bioplásticos)	43
Figura 7 Proceso de Obtención de los Bioplásticos Biodegradables a partir de los Biopolímeros	44
Figura 8 Principales de Recursos de Biomasa Residual para la Obtención de Bioplásticos	46
Figura 9 Composición Bioquímica de la Cáscara del Banano	50
Figura 10 Aplicación de Empaques – Plásticos Biodegradables	51
Figura 11 Tipo de Aditivos y Modificadores para los Biopolímeros.....	55
Figura 12 Obtención de una película biodegradable a partir de la cáscara del banano	57
Figura 13 Componentes principales en el comportamiento del consumidor sobre productos biobasados (PBB) de acuerdo con la integración de los tres modelos	64
Figura 14 Ciclo de vida del empaque bioplástico	69
Figura 15 Importancia del Ecodiseño en la Economía Circular	70
Figura 16 Principios del Ecodiseño para un Empaque de Alimentos	71
Figura 17 Proceso y Factores que Impactan en la Biodegradación	73
Figura 18 Conceptos Asociados de un Empaque Sostenible	74
Figura 19 Impulsores que influyen en el componente técnico.....	75
Figura 20 Impulsores que influyen en la Sostenibilidad Económica y Gobernanza.....	76
Figura 21 Impulsores que influyen en la Sostenibilidad Ambiental	78

Figura 22 Impulsores que influyen en la Sostenibilidad Social.....79

Figura 23 Sostenibilidad de los Empaques Bioplásticos obtenidos a partir de los Biorresiduos..82

Siglas, acrónimos y abreviaturas

BPF	Buenas Prácticas de Fabricación
BPM	Buenas Prácticas de Manufactura
HDPE	Polietileno de Alta Densidad
LDPE	Polietileno de Baja Densidad
PBS	Succinato de Polibutileno
PC	Policarbonato
PE	Polietileno
PET	Polietileno Tereftalato
PHA	Polihidroxialcanoato
PLA	Ácido Poliláctico
PP	Polipropileno
PPR	Programas Prerrequisito
PS	Poliestireno
PVC	Policloruro de vinilo

Resumen

La contaminación por plásticos de un solo uso y el desperdicio de alimentos son grandes problemáticas y preocupaciones a nivel mundial debido a los impactos ambientales, sociales y económicos que han ejercido hasta la actualidad, los cuales han repercutido en la presión sobre los recursos naturales, gestión de residuos, generación de emisiones de gases de efecto invernadero, afectación a la salud y pérdida de biodiversidad. Por esta razón, el objetivo de la presente monografía fue evaluar los criterios de sostenibilidad en la elaboración de empaques de alimentos a base de bioplásticos obtenidos de la cáscara del banano como una alternativa a los plásticos convencionales. Para lograr el objetivo, se realizó una revisión bibliográfica sobre la normatividad, tecnologías, costos y percepción del consumidor asociada al uso de bioplásticos biodegradables obtenidos a partir de biomasa residual para los empaques de alimentos. Se pudo concluir que en el país no se cuenta con una normatividad específica para los empaques bioplásticos biodegradables en contacto con alimentos, sin embargo, se puede resaltar que la normatividad ambiental del país refuerza la importancia de innovar a partir de alternativas más sostenibles. Así mismo, se pudo identificar tecnologías emergentes para la obtención de empaques a partir de la biomasa residual. Por último, se pudo asociar los factores que influyen en la percepción del consumidor, la importancia del ecodiseño del empaque en la economía circular, el concepto de un empaque sostenible y la contribución a los objetivos de desarrollo sostenible.

Palabras clave: Bioplásticos; Empaques Alimentos; Cáscara Banano; Sostenibilidad.

Abstract

Plastic pollution from single-use products and food waste are major global issues and concerns due to their environmental, social, and economic impacts. These problems have placed increasing pressure on natural resources, complicated waste management, contributed to greenhouse gas emissions, affected public health, and led to biodiversity loss. For this reason, the objective of this monograph was to evaluate sustainability criteria in the development of food packaging made from bioplastics derived from banana peels as an alternative to conventional plastics. To achieve this goal, a literature review was conducted on regulations, technologies, costs, and consumer perception related to the use of biodegradable bioplastics obtained from residual biomass for food packaging. It was concluded that the country currently lacks specific regulations for biodegradable bioplastic packaging in contact with food. However, the country's environmental regulations do highlight the importance of innovating through more sustainable alternatives. Additionally, emerging technologies for producing packaging from residual biomass were identified. Finally, it was possible to associate the factors influencing consumer perception, the importance of eco-design in packaging within a circular economy, the concept of sustainable packaging, and its contribution to the Sustainable Development Goals (SDGs).

Keywords: Bioplastics; Food Packaging; Banana Peels; Sustainability.

Introducción

El crecimiento de la población y la urbanización ha ejercido presión sobre los recursos naturales y la gestión de residuos, lo cual ha contribuido a la contaminación por plásticos y el desperdicio de alimentos en el mundo, impactado así, en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero y afectación a la salud (Kumar & et al., 2024).

Los bioplásticos prometen ser una alternativa sostenible a los plásticos convencionales de un solo uso derivados de fuentes no renovables, promoviendo una transición hacia una economía circular (Serrano & Prieto, 2024) a partir del aprovechamiento de diversas fuentes renovables y biodegradables, como es el caso del material orgánico derivado de las cáscaras de las frutas.

Las cáscaras de banano son claves para la fabricación de películas biodegradables para los empaques de alimentos debido a su composición bioquímica, ya que presenta polisacáridos, proteínas, fibras, minerales, vitaminas, hierro, aminoácidos esenciales y ácidos grasos polinsaturados (Issara & et al., 2024). Así mismo, son una solución prometedora en el país, puesto que la producción de banano se centra en países como la India, China e Indonesia, y dentro de los líderes en exportación, se encuentra Colombia (Issara & et al., 2024).

A partir de la monografía, se evaluó los criterios de sostenibilidad en la elaboración de empaques de alimentos a base de bioplásticos obtenidos de la cáscara del banano. Para ello, mediante una revisión bibliográfica, se identificó los requisitos normativos en la elaboración de los empaques de alimentos, se analizó las tecnologías y costos de obtención, se examinó el comportamiento del consumidor en torno a la aceptación de los bioplásticos obtenidos de biomasa residual para la elaboración de los empaques de alimentos y, por último, se analizó el impacto de los empaques en los objetivos de desarrollo sostenible.

1. Planteamiento del problema

Los plásticos son materiales que se utilizan como insumo para la elaboración de diversos productos que impactan en la vida cotidiana de las personas, contribuyendo a mejorar su calidad de vida, además, son indispensables en la modernidad, ya que funcionan como envases, embalajes y piezas de equipos dentro del sector de la salud, industria de alimentos, desarrollo tecnológico, construcción, entre otros (Ecoplas, 2023). Aunque los plásticos han presentado muchos beneficios, el volumen de producción se ha convertido en una problemática a nivel ambiental, ya que se ha sobrepasado la capacidad de generar un equilibrio entre la cantidad producida y desechada, generando diversos impactos en los ecosistemas (European Parliament, 2020).

Se estima que se ha generado más de 6.300 millones de toneladas de basura plástica, de las cuales más de 150 millones de toneladas de plástico ingresan al océano, generando afectaciones a diversas especies marinas por su ingesta, siendo así, la contaminación por plástico de un solo uso catalogada una problemática de carácter mundial (MarViva, 2020). Adicionalmente, la contaminación por plástico ha generado impactos sociales y económicos relacionados con la salud y bienestar del ser humano, impactos en la pesca, agricultura, biodiversidad y agroecosistemas, afectación al turismo por la mala gestión de los plásticos, costos asociados a campañas de limpieza y disposición, entre otros, que ha puesto una carga para la sociedad y gobiernos (Brot & Yadav, 2024).

En Colombia, se estima que el 54% de producción de industria plástica corresponde a empaques y envases de productos de alimentos, de higiene y aseo, lubricantes e industriales, y que cada colombiano utiliza alrededor de 26 kilogramos de plástico al año (ANDI, 2022), razón por la cual el gobierno de Colombia ha aplicado medidas que promueven alternativas ambientales en los plásticos de un solo uso teniendo en cuenta su ciclo de vida y promoviendo la gestión de residuos que contribuya a reducir su impacto en el medio ambiente al disponerlos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021). Actualmente, el gobierno, a partir de la ley 2232 del 2022, establece medidas para la reducción gradual de la producción y consumo de ciertos productos plásticos de un solo uso que afecta a los ecosistemas y genera daños irreparables a la biodiversidad mediante una reconversión productiva a través de alternativas sostenibles, retirando del mercado un total de 14 tipos de productos plásticos en un tiempo límite de 8 años (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023).

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante contar con un diagnóstico de las alternativas de economía circular en el ciclo de vida del plástico que se desarrolla en Colombia, como es el caso de la producción de bioplásticos a partir de otras materias primas que pueden ser biodegradables, ya que aún quedan exceptuados productos plásticos utilizados en la industria de alimentos de acuerdo con las medidas establecidas en la normatividad vigente del país.

2. Justificación

El interés de este proyecto se enfoca en evaluar los criterios de sostenibilidad en la elaboración de empaques de alimentos a base de bioplásticos obtenidos de la cáscara del banano bajo un modelo de economía circular con el propósito de minimizar el impacto ambiental, social y económico generado por la contaminación de plástico de un solo uso proveniente de fuentes no renovables, ya que ingresan a diversos ecosistemas, afectando la calidad del suelo, el agua e inclusive llegando a impactar en la salud del ser humano y otras especies marinas (European Parliament, 2020).

Así mismo, mediante esta revisión bibliográfica y teniendo en cuenta que en Colombia la mayoría de los residuos se disponen en rellenos sanitarios (Minvivienda, 2021), se busca resaltar la importancia de aprovechar los residuos orgánicos, como la cáscara del banano, en la obtención de los bioplásticos y su uso en los empaques de alimentos, ya que este tipo de residuos funciona como materia prima en su elaboración.

Adicionalmente, al tener en cuenta la ley 2232 del 2022 en Colombia sobre la prohibición de plásticos de un solo uso y la excepción en torno a algunos productos necesarios para la conservación de alimentos, se resalta el uso de los bioplásticos en el modelo de economía circular y como una alternativa sostenible a esta problemática ambiental.

Por último, con este proyecto, se busca consolidar información que funcione como insumo para la sustitución de los plásticos convencionales en el país a partir de bioplásticos elaborados con la cáscara de banano, concretando tecnologías, costos y beneficios.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Evaluar criterios de sostenibilidad en la elaboración de empaques de alimentos a base de bioplásticos obtenidos de la cáscara del banano.

3.2. Objetivos específicos

- Identificar los requisitos normativos del uso de bioplásticos en la elaboración de los empaques de alimentos.
- Analizar las tecnologías y costos de obtención de bioplásticos a partir de la cáscara del banano mediante una revisión bibliográfica.
- Examinar el comportamiento del consumidor en torno al uso de los bioplásticos en la elaboración de los empaques de alimentos.

4. Marco Referencial

4.1. Marco Conceptual

Los plásticos, denominados también polímeros, son un grupo de materiales de moléculas grandes capaces de ser moldeados y formados, que pueden fundirse, maquinarse y unirse en diferentes formas con facilidad, además, de ser de bajo costo, baja densidad, baja conductividad eléctrica y térmica, resistentes a la corrosión y de diferentes colores y transparencias, lo cual permite que este material participe en las diferentes industrias debido a sus propiedades (Kalpakjian & Schmid, 2014).

La mayoría de los plásticos son elaborados a partir de polímeros sintéticos de fuentes no renovables, no biodegradables y difíciles de reciclar, lo cual sumado al uso creciente de plásticos desechables, como empaques, bolsas y botellas, ha generado una preocupación ambiental por la disposición final de estos productos, ya que representan un 16% de residuos sólidos urbanos, y entre un 50% a 80% de los residuos que llegan a los océanos (Kalpakjian & Schmid, 2014).

Lo anterior ha favorecido al desarrollo de Bioplásticos, que son productos elaborados a partir de biopolímeros en conjunto con otros insumos para su uso en el procesamiento y manufactura; actualmente se describe que la nueva economía de los bioplásticos, hacen referencia a los materiales que provienen de recursos renovables (Lackner, Mukherjee, & Koller, 2023).

Los bioplásticos pueden ser de base biológica, biodegradables o ambos, para el primer caso, hace referencia a un producto o material que se deriva de la biomasa, para el segundo caso, se refiere a que un bioplástico biodegradable, que por medio de un proceso bioquímico, microorganismos son capaces de transformar ese material en agua, dióxido de carbono y biomasa, y para el tercer caso, son materiales que cumplen con ser de base biológico capaces de biodegradarse; es importante aclarar que al ser de base biológica no implica que el bioplástico sea biodegradable, ya que eso depende de su estructura química (European Bioplastics, 2022).

Las ventajas de los bioplásticos es que son una estrategia para reducir la dependencia a los recursos fósiles limitados, además de caracterizarse por ser un mercado con potencial económico y ecológico debido a la economía circular, ya que los bioplásticos pueden provenir de plantas con alto contenido de carbohidratos como maíz o caña de azúcar, de plantas que no se utilizan en la producción de alimentos o de residuos orgánicos. El mercado actual del bioplástico ha crecido

debido a sus propiedades y funcionalidades, inclusive se ha utilizado en el sector de empaque para la industria de alimentos, en la construcción, entre otras (European Bioplastics, 2023).

En Colombia, desde el año 2016, se cuenta con una política nacional para la gestión integral de residuos sólidos, en el cual se busca prevenir la generación de residuos, minimizar los residuos destinados a la disposición final, promover la reutilización, aprovechamiento y tratamiento de los residuos sólidos, así mismo, busca promover la economía circular (CONPES , 2016).

En el año 2019, se decretó la Ley 1973, en el cual se regulo y prohibió el ingreso, comercialización y uso de las bolsas plásticas, platos, pitillos, vasos plásticos y poliestireno en el departamento archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina e islas menores que lo componen, siendo una de las primeras regulaciones en términos de reducción de plásticos de un solo uso (Congreso de Colombia, 2019).

Para ese mismo año, se elaboró la Estrategia Nacional de Economía Circular, en el cual se promueve el uso eficiente de los materiales y recursos, favoreciendo la transformación de esquemas lineales de los sistemas productivos a modelos circulares teniendo en cuenta la recuperación de los ecosistemas. Así mismo, contempla el flujo de materiales de envases y empaques, los cual representa una oportunidad en la economía a partir del ecodiseño y, por otra parte, al seguimiento de los planes de gestión de residuos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

En su compromiso para avanzar en soluciones a la problemática de los plásticos y su inadecuada disposición que afecta las fuentes hídricas, se formuló el plan nacional para la gestión sostenible de los plásticos de un solo uso en el año 2021, en el cual se asoció términos relacionados con la sustitución de materiales, reciclaje, ecodiseño, reincorporación de materiales, entre otras, y en su apartado de ecodiseño, indica que el Gobierno Nacional, incentiva la innovación que genere beneficios para el ambiente y el desarrollo sostenible (MinAmbiente, 2021).

Para el año 2022, se decretó la Ley 2232, en la cual se establecen medidas para la reducción de los plásticos de un solo uso tanto en la producción como en su consumo en todo el territorio nacional, así como alternativas sostenibles para su sustitución gradual; mediante esta ley, se prohibió y requirió la sustitución gradual de un total de 14 productos plástico en un terminado de 2 a 8 años de acuerdo con su tipo y funcionalidad, así mismo, declaró que el Gobierno Nacional debe asegurar la financiación y promoción de alternativas sostenibles, en la que se incluye, el desarrollo de productos mediante el ecodiseño (Congreso de Colombia, 2022). Para el año 2023, a partir del decreto 2192, se buscó extender su alcance en la prohibición de ingreso de plásticos de

un solo uso en las áreas protegidas y ecosistemas sensibles (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023).

4.2. Estado del Arte

Los bioplásticos se han promovido como una solución a la dependencia de los plásticos de fuentes no renovables; actualmente, desde el punto de vista de la ingeniería de materiales, se ha producido bioplásticos con propiedades mecánicas iguales o superiores a las de los plásticos convencionales, que al adicionar aditivos con propiedades antibacterianas, antifúngicas y antioxidantes, le ha permitido aumentar su participación en las diferentes industrias; para el caso del sector de alimentos, se ha desarrollado envases con activos antimicrobianos y antioxidantes en el empaque que permite la seguridad alimentaria y prolonga la vida útil de los productos (Abang & et al, 2023).

Sin embargo, los bioplásticos por sí solos presentan una baja resistencia mecánica, permeabilidad al agua, escasa estabilidad térmica y fragilidad, por lo cual es necesario adicionar agentes reforzantes, como lo son las fibras lignocelulosas, almidón y celulosas para mejorar sus propiedades, y con la cantidad óptimas de estos agentes, sus propiedades son comparables con los plásticos convencionales, lo que les permite que puedan ser un material de sustitución, sin embargo, aún falta información que permita revisar la biodegradabilidad de los bioplásticos reforzados en diferentes condiciones ambientales (Kong, Mohammad, & Seng, 2023).

Por otra parte, se ha desarrollado un estudio en la elaboración de los bioplásticos con concentraciones diferentes de almidón que le permita contar con propiedades adecuadas, ya que al adicionarles plastificantes y otros aditivos se mejora la propiedades mecánicas, lo que demostró que los envases hechos de plásticos convencionales se verán afectados con los bioplásticos de base biológica como sustitutos en el sector de alimentos y para ello, se sugiere realizar estudios adicionales para mejorar las técnicas de fabricación (Navasinh & et al, 2023).

Es importante resaltar que una de las materias primas para la obtención de los bioplásticos son los residuos agroindustriales, siendo una de las alternativas para sustituir el uso de fuentes no renovable y no biodegradable, para ello, un estudio realizó la elaboración de bioplásticos con residuos agrícolas en Honduras, como residuos de taro, yuca y banano, lo cual resultó que el bioplástico a base banano presentó mejores propiedades mecánicas, los de taro mayor capacidad

de absorción de agua, demostrando que son una alternativa ecológica y sostenible y que promueve la economía circular en el sector de la agroindustria (Castro & et al, 2023).

Aunque los residuos agrícolas, como la cáscara de las frutas, tallos y paja, se pueden utilizar como una fuente de polímeros naturales, en muchas industrias descartan el uso de estos, sin tener presente que los residuos agrícolas contienen los polímeros naturales renovables como: celulosa, hemicelulosa y lignina, en especial, el almidón, lo que permiten que sean considerados como una fuente de materia prima para la obtención de los bioplásticos, sin embargo, es importante resaltar que no todos los residuos agrícolas se pueden plastificar, además, de que la cantidad de residuos dependen de la región donde se cultiven; por otra parte, se relaciona que los bioplásticos a partir de residuos agrícolas requiere un complejo procesamiento y la mejora en sus propiedades mecánicas, hidrofóbicas, resistencia mecánica a la humedad, entre otras (Zhang & et al, 2023).

En Ecuador, se resalta la participación de la agroindustria en su economía, en la cual se genera residuos, que, gracias a la composición y posibilidad en su procesamiento, se convierte en materia prima para la elaboración de bioplásticos, ya que la mayoría está compuesta de almidón o residuos lignocelulosos, que son ideales para utilizar como materia prima o precursores para la elaboración de los bioplásticos a partir de procesos físicos, químicos o biotecnológicos, como es el caso del bagazo de caña de azúcar, cáscara de banano, racimos de palma, cascarillas de arroz, cáscara de plátano y cáscara de naranja (Riera, Maldonado, & Palma, 2018).

Para un caso de estudio, se utilizó la cáscara del plátano y la celulosa del pesudotallo junto con plastificantes (glicerol y sorbitol), que ayudaron a mejorar sus propiedades mecánicas y contar con un factor de biodegradabilidad, lo cual concluyó que este tipo de bioplástico se podía funcionar para envases de alimentos (Alcivar, Carrillo, & Rieral, 2022).

Para el caso de Colombia, se realizó un estudio en el norte del Cauca y el sur del Valle del Cauca, sobre la percepción de los consumidores y empresarios del uso de los bioplásticos en los empaques en la industria alimentos, donde se resaltó tanto las ventajas (menor huella de carbono, materia prima renovable, eficiencia energética, eco seguridad) y sus desventajas (alto costo, materias primas limitadas y falta de legislación); adicionalmente, se resaltó que los bioplásticos no son compostables bajo las condiciones de los rellenos sanitarios, por lo que la gestión inadecuada genera la misma problemática que los plásticos convencionales. Así mismo, se indicó que un 80% de los consumidores estarían dispuestos a pagar por un empaque más sostenible, pero por parte de

los empresarios, se indicó que, debido al costo de la materia prima, no era viable asumir dicho costo (Pinto, Cardona, & Polanco, 2023).

Al igual que los plásticos, los Bioplásticos también representan una problemática ambiental en términos de su disposición, y aunque son una alternativa sostenible y diferente en términos de la gestión de los residuos (biodegradación, degradación térmica y reciclaje mecánico), un estudio se comprobó que los bioplásticos a base de almidón, presentan buenas tasas de biodegradación y compostaje, siempre y cuando no se mezclan con otros biopolímeros. Así mismo, se demostró que la degradación térmica es prometedora en términos de reciclaje, ya que permite la recuperación de componentes, cumpliendo con principios de la economía circular y la sostenibilidad (Bartolucc & et al, 2023).

Teniendo en cuenta la problemática ambiental por la contaminación de los residuos plásticos, los Bioplásticos prometen contar con un potencial en la transición a una economía circular sostenible en la reducción de los plásticos convencionales, siempre y cuando se mantengan de estrategias de reducir, reutilizar y reciclar, así mismo contemplar sus diferentes aplicaciones. Sin embargo, los bioplásticos también se resaltan como una alternativa costosa y con información errónea que promueve prácticas de disposición inadecuadas, por lo cual se ha sugerido una estandarización de las etiquetas de los bioplásticos que permitan obtener más información sobre su química y reciclabilidad, y así incentive a su vez al consumidor al gestionarlos de manera adecuado y evitar una futura acumulación en el entorno (Serrano & Prieto, 2024).

Por otra parte, se resalta que el papel de los bioplásticos ha aumentado en la industria de alimentos en la obtención de películas, empaques, bolsas y fibras como respuesta a una mayor conciencia social sobre el impacto de los plásticos en los recursos naturales y como una alternativa para responder a la demanda de materiales plásticos, además, la sostenibilidad de estos materiales radica en analizar todas las etapas del ciclo de vida del producto, desde su materia prima, fabricación, uso y disposición, teniendo en cuenta factores como: materiales, tecnología, requisitos legales, factores sociales, factores financieros y actitudes del consumidor (Moshood & et al., 2022).

5. Metodología

El objetivo del proyecto fue evaluar los criterios de sostenibilidad en la elaboración de empaques de alimentos a base de bioplásticos obtenidos de la cáscara del banano bajo un modelo de economía circular, que se desarrolló bajo la modalidad de una monografía en la cual se utilizó la investigación cualitativa y documental.

Para el desarrollo del primer objetivo: **Identificar los requisitos normativos del uso de bioplásticos en la elaboración de los empaques de alimentos**, se realizó una búsqueda bibliográfica con relación con la normatividad de los empaques para alimentos y luego la normatividad aplicada para los bioplásticos. Por último, se realizó un comparativo y análisis, teniendo en cuenta las especificaciones o recomendaciones en su uso para la elaboración de los empaques de alimentos.

Para el segundo objetivo: **Analizar las tecnologías y costos de obtención de bioplásticos a partir de la cáscara del banano mediante una revisión bibliográfica**, se realizó una búsqueda en las diferentes bases de datos en relación con los proyectos enfocados a la elaboración de bioplásticos y de empaques de alimentos. En primer lugar, se describió el proceso para la obtención del bioplástico a partir de la cascará del banano especificando las tecnologías implementadas y, por último, se indicó la información asociada al costo en la obtención del bioplásticos.

Para el cumplimiento del tercer objetivo: **Examinar el comportamiento del consumidor en torno al uso de los bioplásticos en la elaboración de los empaques de alimentos**, se realizó una revisión bibliográfica con relación al comportamiento del consumidor con base a los bioplásticos en la industria de alimentos. Por último, se identificó los retos de sostenibilidad y se realizó un análisis del papel de los bioplásticos en cada componente de la sostenibilidad y la importancia de las estrategias de economía circular en torno al uso de los bioplásticos en los empaques de alimentos.

6. Identificación requisitos normativos de bioplásticos en la elaboración de los empaques de alimentos

6.1. Requisitos que deben cumplir los empaques de alimentos

Los empaques de alimentos son indispensables para asegurar la inocuidad y calidad del alimento, protegiéndolo de la contaminación, olores, polvo temperatura, luz, humedad y daños mecánicos, aumentando así la vida útil de los alimentos y evitando un desperdicio, ya que esto representa pérdidas económicas para la industria de alimentos y aumenta la generación de residuos (Khandeparkar & et al., 2024).

Así mismo, cumplen con una función esencial de proteger el alimento tanto del entorno externo como interno, brindar una mejor calidad y cumplir con las expectativas de los consumidores en relación con la conveniencia y seguridad del producto; por esta razón, los empaques plásticos cumplen con cuatro funciones básicas relacionadas con la contención, protección / preservación, comunicación y conveniencia (Singh & Heldman, 2014).

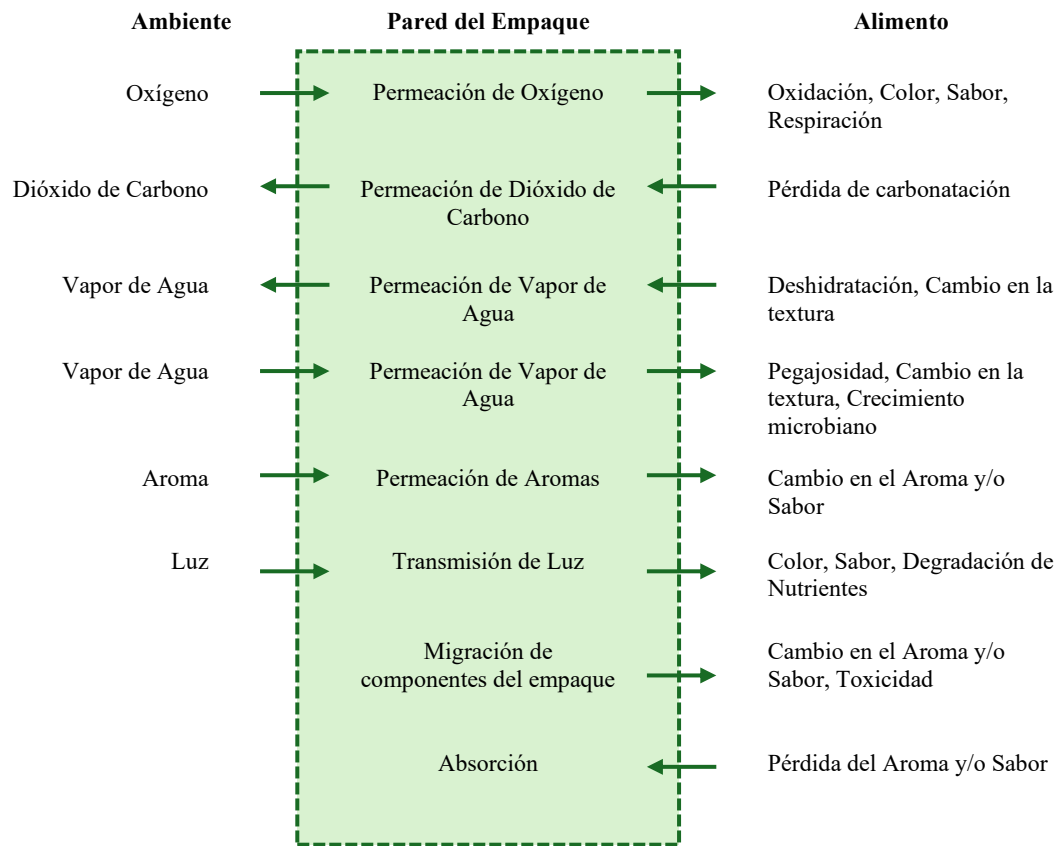
- **Contención:** Su objetivo es contener el producto (alimento) de acuerdo con su composición o presentación, ya sea líquido o sólido (Singh & Heldman, 2014), lo cual es indispensable en el proceso de transporte, almacenamiento y distribución (Berk, 2018).
- **Protección y Preservación:** Es la función más importante, ya que crea una barrera entre el alimento y medio ambiente, protegiéndolo de ataques o cambios físicos, químicos y microbiológicos, influyendo considerablemente en su vida útil (Berk, 2018).

Por otra parte, el grado de protección que requiere el alimento es clave para la selección y diseño del envase o empaque, puesto que se deben contemplar diversos factores como la permeación de oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua, migración de olores y componentes, entre otros, con el fin de evitar algún tipo de afección en la calidad durante el proceso de envasado hasta su consumo (Singh & Heldman, 2014).

En la figura 1, se relaciona los factores que pueden afectar la calidad del alimento y que se deben contemplar en el diseño de un empaque.

Figura 1

Interacciones entre el alimento, el envase y el medio ambiente (factores que pueden afectar la calidad del alimento)



Nota. Figura adaptada y traducida de Singh & Heldman (2014).

- **Conveniencia:** Se relaciona con el diseño del empaque de acuerdo con el tamaño, tipo de producto y función, es uno de los principales atributos en la venta de los productos (Berk, 2018).
- **Comunicación:** Hace referencia a la información indispensable sobre el alimento y empaque, que funciona para identificar el producto y marca; se conforma por textos y gráficos que contienen lista de ingredientes, peso neto, información nutricional, fechas de fabricación y vencimiento, lotes de trazabilidad, entre otras indispensables para el consumidor (Berk, 2018).

En la actualidad, existen tres categorías para el empaque de alimentos:

- **Empaques Pasivos:** Actúan como una barrera física entre el alimento y el entorno, garantizando que las propiedades del exterior y agentes no entren en contacto con el alimento, proporcionando la máxima protección al producto, sin embargo, no responden a los cambios que puedan producirse en el interior del empaque (Singh & Heldman, 2014).
- **Empaques Activos:** Actúa como un sistema que detecta cambios en el entorno del empaque y modifica sus propiedades en respuesta; dentro de este tipo de empaques, existe dos clasificaciones, activos simples, los cuales funcionan como un sistema que no incorpora ingredientes activos o polímeros con funcionalidad, y activos avanzados, los cuales contienen un ingrediente activo o polímero con funcionalidad activa. (Singh & Heldman, 2014).
- **Empaques Inteligentes:** Detecta cambios en el entorno y reacciona con medida correctivas en respuesta, se caracterizan por mejorar la calidad y valor del producto, presentar mayor comodidad, cambios en la permeabilidad de gases y brindar protección contra la falsificación y manipulación; dentro de este tipo de empaques se puede encontrar los sistemas inteligentes simples o sistemas inteligentes interactivos (Singh & Heldman, 2014).

El desarrollo de empaques ocupa un lugar central en el procesamiento de alimentos, puesto que la selección de los materiales son parte integral y fundamental para el diseño y producción del alimento (Berk, 2018). Es importante resaltar que se deben tener en cuenta factores técnicos para la selección de materiales y diseño de un empaque, los cuales, de acuerdo con Fellows (2022), consisten en que los empaques deben cumplir con los siguientes:

- Proteger al alimento contra la pérdida de calidad causada por la permeación de vapor de agua, humedad, calor, oxidación, entre otros.
- Ser materiales inertes que no interactúen con el alimento, no debe presentarse migración de compuestos tóxicos.

- Contar con la resistencia requerida para la protección contra daños como la contaminación por microorganismos, insectos y daños físicos.
- Presentar compatibilidad para un funcionamiento eficiente y económico en la líneas de producción con relación al llenado, cierre y agrupamiento del alimento de empaques.
- Compatibilidad con los métodos de manipulación y almacenamiento del envase por parte de los transportistas, distribuidores y consumidores asegurando la contención del alimento de forma segura.
- Contar con requisitos de comodidad o conveniencia para los consumidores, como el tamaño, facilidad de apertura o dispersión y resellado.
- Capacidad del material para reciclarse, reutilizarse o biodegradarse.
- Contar con una relación entre el valor del producto y costo del envase, de modo que ofrezca un grado de protección requerido a un costo total mínimo.

Dentro de las características esenciales del diseño de los empaques de alimentos, es que estos deben ser económicos, duraderos, fáciles de procesar, almacenar, transportar, tener propiedades de barrera y buenas propiedades mecánicas (Khandeparkar & et al., 2024). Además, existen otros factores que impacta a los empaques como la eficiencia en la fabricación, impactos ambientales y nivel de seguridad que proporciona al alimento (Singh & Heldman, 2014).

Es importante tener presente que existe diversos tipos de regulaciones que el diseño de los empaques deben cumplir, sin embargo, se resalta que la mayoría de las regulaciones no está específicamente dirigida a los empaques de plásticos, sino forman parte de otros requisitos más amplios relacionados con la seguridad laboral, prevención de la contaminación, etiquetado de productos, precintos de seguridad, entre otros; para el caso de la industria de alimentos, se cuenta con normatividad más genérica enfocada específicamente a la aprobación de un empaque que no adultere el alimento mediante la migración de componentes del material plástico en contacto con el alimento (Selke & et al, 2021).

6.2. Normatividad Internacional

Para el cumplimiento de los requisitos de los empaques de alimentos de material plástico y/o bioplástico, se cuenta con la normatividad especificada en la Tabla 1.

Tabla 1

Normas Internacionales para la fabricación de empaques plásticos y/o de bioplástico

Entidad	Norma / Año	Alcance	Fuente
Comité Europeo de Normalización (CEN)	EN 13432 de 2000	Específica los requisitos y procedimientos para determinar la compostabilidad y tratabilidad anaerobia de los envases o embalajes y materiales de envase o embalaje.	(CEN, 2000)
	EN 14046 de 2003	Especifica método de evaluación de la biodegradabilidad aeróbica de un material de embalaje basado en compuestos orgánicos en condiciones controladas de compostaje mediante la medición del dióxido de carbono liberado al final del ensayo.	(CEN, 2003)
	EN 16848 de 2016	Establece los requisitos de comunicación de características entre empresas mediante hoja de datos para los productos biobasados.	(CEN, 2016)
	EN 16935 de 2017	Especifica los requisitos para una comunicación transparente y no engañosa entre las empresas y los consumidores sobre las características de producto biobasado mediante etiquetado y declaraciones.	(CEN, 2017)
	EN 17228 de 2019	Especifica el vocabulario, métodos de caracterización y plantillas de los informes sobre polímeros biobasados, plásticos y productos plásticos; incluyendo términos sobre contenido biobasado, análisis de ciclo de vida, aspectos de sostenibilidad y herramientas de declaración.	(CEN, 2019)
Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea / Comisión Europea	Reglamento (CE) No. 1935/2004 de 2004	Establece que cualquier material u objeto que entre en contacto con el alimento directa o indirectamente debe ser lo suficientemente inerte para evitar cualquier transferencia de sustancias a los alimentos en cantidades que pongan en riesgo la salud humana u ocasione una modificación en la composición del alimento o alteración a las características organolépticas, el reglamento tiene como objeto garantizar un elevado nivel de protección de la salud humana y de los intereses de los consumidores	(Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea, 2004)

	Reglamento (UE) No. 10/2011 de 2011	Especifica los requisitos para la fabricación y comercialización de materiales y objetos plásticos, en los que se incluye los que están destinados a entrar en contacto con alimentos.	(Comisión Europea, 2011)
	Directiva (UE) 2019/904 de 2019	Establece la prevención y reducción gradual del impacto de ciertos productos plásticos al medio ambiente y en la salud humana, además fomenta una transición hacia un modelo de circular, donde se incluye materiales innovadores y sostenibles.	(Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea, 2019)
	Reglamento (UE) 2022/1616 de 2022	Establecer normas sobre el uso materiales u objetos plásticos, reciclados o destinados a ser reciclados, para su uso en contacto con alimentos.	(Comisión Europea, 2022)
	Reglamento (UE) N.º 2025/40 de 2025	Especifica los requisitos para todo el ciclo de vida de los envases en relación con la sostenibilidad y etiquetados medioambientales, así mismo, establece los requisitos asociados a la responsabilidad ampliada del productor y la prevención de residuos.	(Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, 2024)
Administración Nacional de Archivos y Registros (NARA) - Administración de Alimentos y Medicamentos (US FDA)	Código de Regulaciones Federales – Título 21 – Subcapítulo B	Establece las regulaciones sobre los componentes de los materiales que entran en contacto con lo alimento incluyendo los envases.	(NARA, 2025)
	ISO / TS 22002-4 de 2013	Especifica los requisitos para establecer, implementar y mantener los programas prerequisite que facilitan el control de los riesgos para la inocuidad en la fabricación de empaques de alimentos.	(ISO, 2013)
	ISO 16620-1 de 2015	Especifica los principios generales y métodos de cálculo para determinar la cantidad biobasado en el producto plástico.	(ISO, 2015 a)
Organización Internacional de Normalización (ISO)	ISO 16620-3 de 2015	Especifica el método para determinar la cantidad de polímeros sintéticos biobasados en productos plásticos.	(ISO, 2015 b)
	ISO 16620-5 de 2017	Especifica los requisitos para la declaración y etiquetado de contenido de carbón biobasado, contenido de polímeros sintéticos biobasado y contenido de masa biobasado en productos plásticos.	(ISO, 2017)
	ISO 16620-2 de 2019	Especifica el método para determinar el contenido de carbono biobasado en monómeros, polímeros y materiales y productos plásticos bajo la medición del contenido de radiocarbono.	(ISO, 2019)

ISO 22526-1 de 2020	Especifica los principios y límites del sistema de huella carbono y ambiental de productos plásticos biobasados.	(ISO, 2020 a)
ISO 22526-2 de 2020	Define la huella de carbono del material como la cantidad de dióxido de carbono extraído del aire e incorporado al plástico, específico para productos plásticos, materiales plásticos y resinas poliméricas biobasados total o parcialmente.	(ISO, 2020 b)
ISO 22526-3 de 2020	Especifica los requisitos y directrices para la cuantificación e informe de huella de carbono del proceso de los plásticos biobasados.	(ISO, 2020 c)
ISO 17088 de 2021	Especifica los procedimientos y requisitos para los plásticos y productos fabricados a partir de plásticos aptos para una recuperación por reciclaje orgánico, así mismo, sirve como referente para el sistema de etiquetado y especificaciones de materiales y productos plásticos compostables.	(ISO, 2021)
ISO 22526-4 de 2023	Proporciona los requisitos y orientación para el análisis del ciclo de vida y evaluación de los impactos a lo largo del ciclo de vida del producto, material y resina polimérica biobasado, que se basan total o parcialmente en componentes de origen biológico.	(ISO, 2023)
ISO 16620-4 de 2024	Especifica método para determinar el contenido de masa biobasado en productos plásticos, basado en el análisis de radiocarbono y el análisis elemental.	(ISO, 2024)

6.3. Normatividad Nacional

Para el cumplimiento de los requisitos de los empaques de alimentos de material plástico y/o bioplástico en el país, se cuenta con la normatividad especificada en las Tabla 2 y 3.

6.3.1. Resoluciones, leyes, políticas, entre otros, en Colombia

A continuación, se relaciona la normatividad asociada a los requerimientos de calidad, inocuidad, técnicos y ambientales que deben cumplir los empaques plásticos y/o de bioplásticos.

Tabla 2

Normatividad, Planes y Estrategias Colombianas asociados a la elaboración, fabricación y gestión de materiales y empaques plásticos

Clasificación	Norma / Año	Entidad	Alcance	Fuente
Calidad/ Inocuidad	Resolución 5109 de 2005	Ministerio de Salud y Protección Social	Estable el Reglamento técnico que señala los requisitos que deben cumplir las etiquetas o rotulados de los envases o empaques de alimentos para consumo humano envasado o empacado, así como materia prima, con el objetivo de brindar información sobre el producto al consumidor.	(Ministerio de Salud y Protección Social, 2005)
	Resolución 683 de 2012	Ministerio de Salud y Protección Social	Expide un reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos que están en contacto directo o indirectos con alimentos, bebidas y materias primas para consumo humano con el objetivo de proteger la salud humana, en los que se incluye envases, cierres, equipos y utensilios de la industria de alimentos y servicios de alimentación y de uso doméstico.	(Ministerio de Salud y Protección Social, 2012 a)
	Resolución 4143 de 2012	Ministerio de Salud y Protección Social	Establece un reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir específicamente los materiales, objetos, envases y equipamientos plásticos y elastoméricos y sus aditivos que están en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano con el fin de proteger la salud humana y prevenir cualquier practica que induzca a error o engaño de los consumidores.	(Ministerio de Salud y Protección Social, 2012 b)
	Resolución 2674 de 2013	Ministerio de Salud y Protección Social	Establece los requisitos sanitarios que se deben cumplir, tanto las personas naturales como jurídicas, que ejerzan actividades relacionada con toda la cadena de procesamiento de alimento o materia primas, en el que se incluye el envase de alimento.	(Ministerio de Salud y Protección Social, 2013 a)
Ambiental	Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos de 2016	Consejo Nacional de Política Económica y Social	Tiene como objetivo implementar la gestión integral de residuos sólidos como política nacional de interés social, económico, ambiental y sanitario, para contribuir al fomento de la economía circular, desarrollo sostenible, adaptación y mitigación al cambio climático	(Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2016)

Resolución 1407 de 2018	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio, metal y otras determinaciones, en el que se establece a los productores la obligación de formular, implementar y mantener actualizado un Plan de Gestión Ambiental de Residuos de Envases y Empaques, que fomente el aprovechamiento.	(MinAmbiente, 2018)
Estrategia Nacional de Economía Circular de 2019	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Ministerio de Comercio, Industria y Turismo	La estrategia tiene como objetivo promover la transformación productiva para maximizar el valor agregado de los sistemas industriales y agropecuarios en términos económicos, ambientales y sociales, a partir de la economía circular, innovación tecnológica, colaboración en nuevos modelos de negocio.	(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019)
Plan Nacional para la Gestión Sostenible de Plásticos de un Solo Uso de 2021	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Implementar la gestión sostenible del plástico, a partir de instrumentos y acciones en prevención, reducción, reutilización, aprovechamiento, consumo responsable, generación de nuevas oportunidades de negocio, encadenamientos, empleos y desarrollos tecnológicos, con el fin de proteger los recursos naturales y fomentar la competitividad.	(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021)
Ley 2232 de 2022	Congreso de la República de Colombia	Establece las medidas tendientes a la reducción gradual de la producción y consumo de ciertos productos plásticos de un solo uso y se dictan otras disposiciones con el propósito de resguardar los derechos fundamentales a la vida, salud y goce de un ambiente sano. En la ley se conceptos relevantes como: Alternativas sostenibles, Bioeconomía, Ecodiseño y Plástico Biobasado.	(Congreso de Colombia, 2022)

6.3.2. Normas Técnicas Colombianas - ICONTEC

Adicionalmente, se cuenta con normas técnicas colombianas (NTC) elaboradas o adaptadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), las cuales tiene el propósito de establecer estándares de calidad y seguridad para los diferentes sectores económicos. A continuación, se relaciona las NTC asociadas con la elaboración y fabricación de materiales, envases y embalajes plásticos.

Tabla 3

Normas Técnicas Colombianas asociadas a la elaboración, fabricación y gestión de materiales y empaques plásticos

Clasificación	NTC / Año	Alcance	Fuente
Calidad/ Inocuidad	NTC 5023 de 2001	Especifica los materiales y las BPM de compuesto y artículos plásticos en contacto o no con alimentos y bebidas y sus derivados, de modo que en condiciones normales y previstas de uso no presente migración en cantidad que pueda representar peligro para la salud humana y ocasionar modificaciones inaceptables en la composición o alteraciones en las propiedades organolépticas.	(ICONTEC, 2001)
	NTC 5991 de 2014 (Reaprobada 2021)	Especifica los requisitos y procedimiento para determinar la compostabilidad y tratamiento (anaerobio) de los envases o embalajes y materiales, mediante cuatro características: biodegradabilidad, desintegración, efecto sobre el proceso y efecto sobre la calidad del compost.	(ICONTEC, 2014)
Ambiental	NTC 6130 de 2015	Define los términos asociados al campo de los envases, empaques y embalajes de plásticos poliméricos, medio ambiente y manejo integral para todos los agentes o actores implicados en la cadena: agentes económicos, autoridades, privadas y consumidores.	(ICONTEC, 2015)
	NTC 22002-4 de 2018	Modificada por traducción de la ISO 22002-4:2013 confirmada el 2016: Define los requisitos para establecer, implementar y mantener los programas prerequisites (PPR) con el objetivo de facilitar el control de peligros para la inocuidad de los alimentos en la fabricación de envases y empaques para alimentos; la norma está destinada para su uso en conjunto con la NTC ISO 22000.	(ICONTEC, 2018 a)
	NTC 6302-1 de 2018	Adaptación modificada respecto al documento de referencia ISO 21067-1:2016: Especifica los términos y definiciones relacionada con envases, empaques y embalajes y productos para el manejo de materiales de uso comercial a nivel nacional e internacional; se resalta que en la NTC 6302-1 define los bioplásticos como materiales poliméricos de origen biogénico completo o parcial.	(ICONTEC, 2018 b)
	NTC 6302-2 de 2018	Especifica términos usados en el campo de envases, empaques y embalajes y medio ambiente adicional a la NTC 6302-1.	(ICONTEC, 2018 c)
	NTC 3205 de 2021	Adopción modificada de la ASTM D7611 / D7611M: 2020: Estipulas los tipos, nombre y tamaños de los códigos para identificar los materiales en que están fabricados los productos plásticos que llegan al consumidor final.	(ICONTEC, 2019)

NTC 6525-1 de 2022	Adopción modificada de la EN 13130-1:2004: Proporciona una guía de métodos de ensayo para la migración específica de sustancias procedentes de materiales plásticos a los alimentos.	(ICONTEC, 2022 a)
NTC-ISO 17088 de 2022	Norma idéntica a la norma ISO 17088:2021: Especifica los procedimientos y requisitos para los plásticos, y productos fabricados a partir de este material, que son aptos de su recuperación mediante un proceso de reciclaje orgánico.	(ICONTEC, 2022 b)
NTC-ISO 16620-1 de 2022	Norma idéntica a la ISO 166201:2015: Especifica los principios generales y método para calcular la cantidad de contenido biobasado en productos plásticos.	(ICONTEC, 2022 c)
GTC 376 de 2022	Guía técnica - adopción modificada BS PAS 600:2013: Proporciona una guía de normas, códigos de prácticas y orientaciones claves que pueden adaptarse en las fases de producción, uso y disposición final de los productos biobasados.	(ICONTEC, 2022 d)
GTC 377 de 2022	Guía técnica idéntica a la PD CEN TR 17341:2019: Proporciona ejemplo de informes de empresa a empresa de acuerdo con la NTC 6643 Productos biobasado – criterios de sostenibilidad.	(ICONTEC, 2022 e)
GTC 378 de 2022	Guía técnica idéntica a la UNE CEN/TR 16957:2016: Informe técnico que proporciona una orientación sobre como compilar un inventario para la fase de fin de vida en ACV de productos biobasado.	(ICONTEC, 2022 f)
NTC 6639 de 2022	Norma idéntica a la UNE EN 16575:2015: Define términos generales que se deben utilizar en el campo de productos biobasado.	(ICONTEC, 2022 g)
NTC 6640 de 2022	Norma idéntica a la UNE EN 16848:2017: Especifica los requisitos para una comunicación transparente e inequívoca entre empresas de las características de los productos biobasado a partir de ficha técnica específica.	(ICONTEC, 2022 h)
NTC 6641 de 2022	Norma idéntica a la UNE EN 16935:2017: Especifica los requisitos para una comunicación transparente e inequívoca entre empresa y consumidor de las características de los productos biobasado a partir de etiquetas y afirmaciones.	(ICONTEC, 2022 i)
NTC 6642 de 2022	Norma idéntica a la UNE EN 16760:2016: Proporciona los requisitos relativos al análisis de ciclo de vida y directrices para los productos biobasados.	(ICONTEC, 2022 j)
NTC 6643 de 2022	Norma idéntica a la UNE EN 16751:2016: Especifica los criterios de sostenibilidad aplicables a la parte de biobasado de todos los productos biobasados, aplicando a la cadena de suministro.	(ICONTEC, 2022 k)
NTC-ISO 16620-1 de 2022	Especifica los principios y los métodos de cálculo para determinar la cantidad de contenido de biobasado en los productos de plástico.	(ICONTEC, 2022 l)

NTC-ISO 22526-1 de 2022	Norma idéntica a la norma ISO 22526-1:2020: Especifica los principios generales y límites del sistema de huella de carbono y medioambiental de productos plásticos biobasado.	(ICONTEC, 2022 m)
-------------------------	---	-------------------

6.4. Análisis del Contexto Normativo

En Colombia se cuenta con normatividad asociada a los envases destinados a entrar en contacto con alimentos, como la Resolución 683 de 2012, la cual se resalta los requisitos sanitarios y la clasificación de los tipos de envase para alimentos, como los primarios, secundarios, terciarios, compuestos, de un único uso y retornables.

Así mismo, se cuenta con la Resolución 4143 de 2012, la cual especifica los requisitos sanitarios de los materiales, objetos y envases plásticos y aditivos en contacto directo con los alimentos, los cuales deben cumplir con los requisitos sanitarios, la lista de sustancias permitidas y límites máximos de composición y migración (específica y total). Sin embargo, cabe resaltar que en el país no se cuenta con una resolución emitida por el Ministerio de Salud y Protección Social específica para los envases o empaques de bioplásticos en contacto el alimento.

En la actualidad se cuenta con normatividad emitida por el ICONTEC, desde guías a normas técnicas, para los requisitos de los productos biobasado a nivel general, es decir, que no son específicas para la industria de alimentos, las cuales son un referente de adaptaciones de normas internacionales, que establecen la terminología asociada a los productos biobasado, así como los requisitos para el cálculo de huella de carbono, análisis de ciclo de vida del producto (AVC), criterios de sostenibilidad y la comunicación entre empresas que fabrican estos productos, y también la comunicación con el consumidor.

Por otra parte, es importante resaltar que, dentro de la normatividad ambiental del país, se refuerza la importancia de innovar en la industria de empaques a partir de alternativas más sostenibles, para ello se cuenta con documentos claves como la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos de 2016, la Resolución 1407 de 2018, la Estrategia Nacional de Economía Circular de 2019 y el Plan Nacional para la Gestión Sostenible de Plásticos de un Solo Uso de 2021, los cuales que fomentan en las industrias la reducción gradual de plásticos de un solo uso, la transición hacia un modelo de economía circular y una producción más responsable con el medio ambiente.

Adicionalmente, con la ley 2232 de 2022 emitida por el Congreso de la República, fomenta los productos biobasado como alternativas sostenibles a los plásticos de un solo uso; además, dentro de la ley, se resalta el plan de reconversión productiva y adaptación laboral, educación cuidada, compromiso ambiental, responsabilidad extendida del producto y la formalización de los actores de la cadena de valor de los plásticos.

Dentro del artículo 10 de esta ley, se menciona el apoyo económico e incentivo a productores nacionales de envases o empaques biodegradables en condiciones ambientales naturales existentes o que se puedan generar, valorizando o reutilizando residuos orgánicos de la agricultura, siendo así, una solución a la sustitución de materias primas no renovables como lo es el combustible fósil, además, en el artículo 20, el Gobierno Nacional promueve la transición hacia el uso de empaques y envases elaborados con materiales biodegradables en condiciones naturales y/o de un solo material.

7. Tecnologías y costos de obtención de bioplásticos a partir de la cáscara del banano

7.1. Aplicación de los Bioplásticos

7.1.1. Impacto de los Materiales Plásticos

Los plásticos son materiales ampliamente utilizados a nivel comercial, industrial y doméstico, los cuales se obtienen a partir de reacciones de polimerización y se caracterizan porque la mayoría proviene de fuentes no renovables; sus aplicaciones varían en las diferentes industrias como la construcción, automotriz, medica, alimentos, entre otras, ya que estos materiales son capaces de deformarse, moldearse y contar con propiedades físicas, químicas, térmicas y mecánicas específicas que permiten variedad de usos (Selke & et al., Chapter 2: Basic Concepts and Definitions, 2021).

Debido a su maleabilidad y plasticidad, este material se puede fundir, prensar o extruir para obtener diversas formas y productos terminados al modificar su estructura química y desarrollar formulaciones (Millet & et al., 2019). Dentro de las aplicaciones de los plásticos, se puede encontrar la producción de películas, placas, tubos, material de empaque, embalaje, productos médicos y sanitarios, piezas técnicas, articulas del hogar, piezas del sector automotriz, componentes eléctricos y electrónicos, entre otros (Subramanian, Chapter 4: Plastics Processing Technology, 2019). En la Figura 2 se observa la clasificación de los materiales plásticos.

Los polímeros se clasifican en: termoestables, termoplásticos y elastómeros

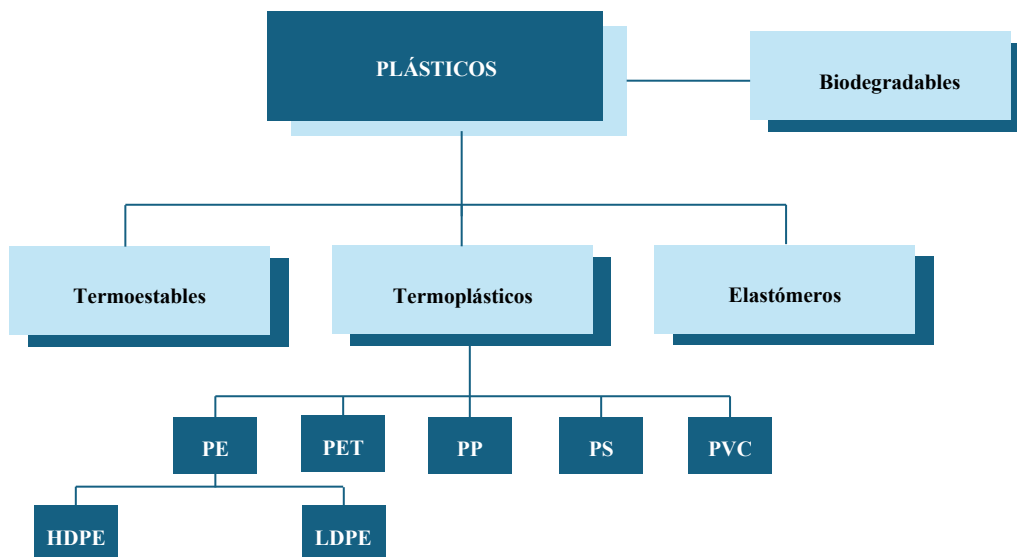
- **Termoestables:** Plástico con estructura tridimensional conformada por macromoléculas unidas permanentemente, insoluble y resistente a la deformación térmica; dentro de sus aplicaciones, se encuentra los envases de paredes gruesas como lo son contenedores, su aplicación dentro de los envases es limitada (Klooster & et al., 2019).
- **Termoplásticos:** Plásticos obtenidos por una reacción química de los monómeros, donde influyen iniciadores químicos, catalizadores, temperatura y presión, dentro de sus características se resalta la capacidad de moldearse y formarse, además de ser, la categoría de plástico con mayor crecimiento, sin embargo, a diferencia de los

plásticos termoestables, estos materiales son susceptibles a la deformación por calor, algunos son solubles. Dentro de las aplicaciones en los empaques, se puede encontrar botellas, vasos, tapas, cajas y películas tapas, cajas y películas (Klooster & et al., 2019).

- **Elastómeros:** Tipo de polímero capaz de estirarse y deformarse, recuperando su forma inicial, como el caucho y látex, su aplicación en envases es limitada (Klooster & et al., 2019).

Figura 2

Clasificación de materiales plásticos



Nota. Información resumida de Subramanian (2019), Bruder (2019) y Millet & et al. (2019).

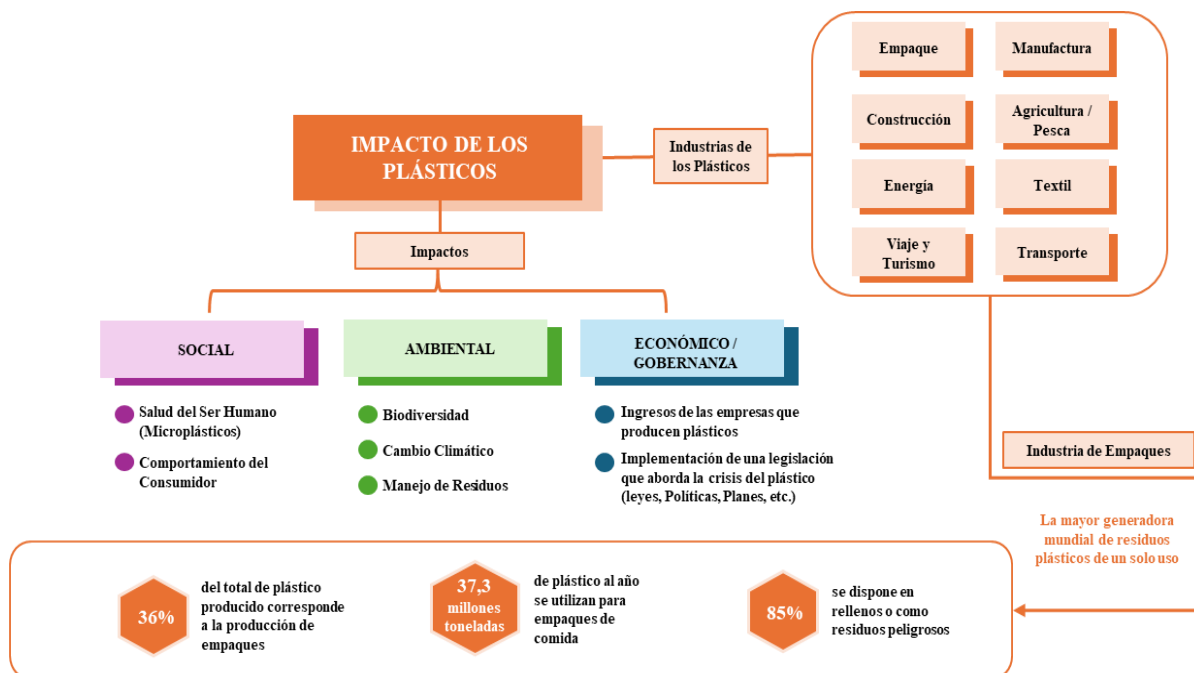
Los empaques son una de las principales aplicaciones de los plásticos (Millet & et al., 2019), incluyendo la industria de alimentos, ya que estos materiales no afectan la calidad, permite conservar las propiedades organolépticas y proteger al alimento de factores externos (Millet & et al., 2019), retrasando el deterioro del producto y garantizando la seguridad (Subramanian, Chapter 2: Plastics and Additives, 2019).

Los materiales más utilizados en la elaboración de empaques y productos usados a diario, son el polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE), tereftalato de polietileno (PET), poliestireno (PS), polipropileno (PP), y policloruro de vinilo (PVC), la mayoría son plásticos de un solo uso, los cuales poseen una gran estabilidad que dificulta su degradación, lo que ha generado un impacto ambiental por la contaminación a causa de su acumulación e inadecuada disposición, además del impacto en la salud del ser humano y animales (Khandeparkar & et al., 2024).

La contaminación por plástico ha generado preocupaciones medioambientales, sanitarias, económicas y sociales, ya que de acuerdo con la Naciones Unidas (2023), se producen más de 430 millones de toneladas de plásticos al año, de los cuales se estima que el 46% se disponen en rellenos o vertederos, el 22% está mal gestionado y no es recolectado, 17% se incinera y el 15% se destina reciclaje, pero según cifras, menos del 9% se recicla realmente, además de que el 85% de los residuos que ingresan al océano son plásticos. En la Figura 3 se muestra el impacto de los materiales plásticos.

Figura 3

Impacto de los materiales plásticos



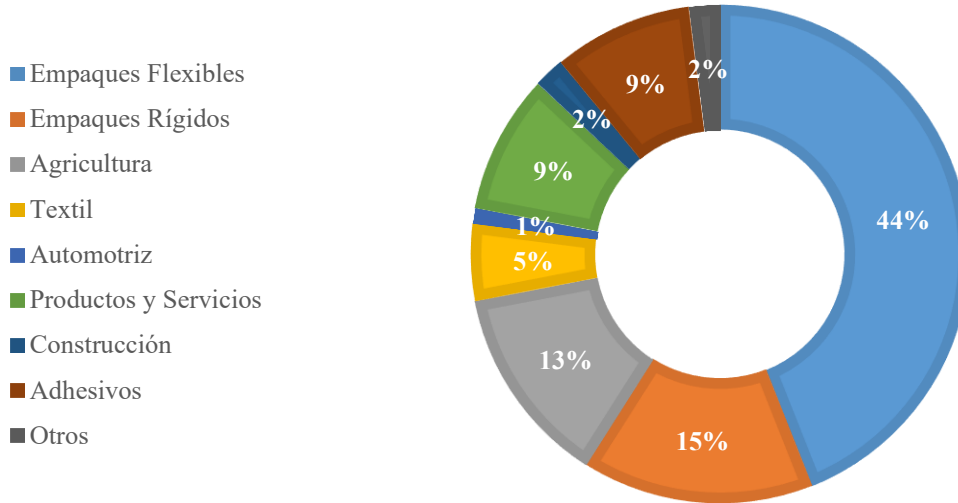
Nota. Información resumida de UN (2023).

Aunque los empaques de plásticos obtenidos de combustible fósil ofrecen rentabilidad y buenas prácticas de resistencia, debido al impacto ambiental, se ha impulsado la búsqueda de fuentes alternativas biodegradables como es el caso del uso de plásticos biodegradables (Nithya & Thirunavukkarasu, 2023). Mediante las alternativas sostenibles, se busca usar materias primas de origen biológico renovables y asegurar un uso eficiente de energía y recursos, en el que principal objetivo de los empaques sostenibles es que sean seguros, no afecten la salud del ser humano ni los ecosistemas, promoviendo un uso informado y razonable (Khandeparkar & et al., 2024).

7.1.2. Bioplásticos

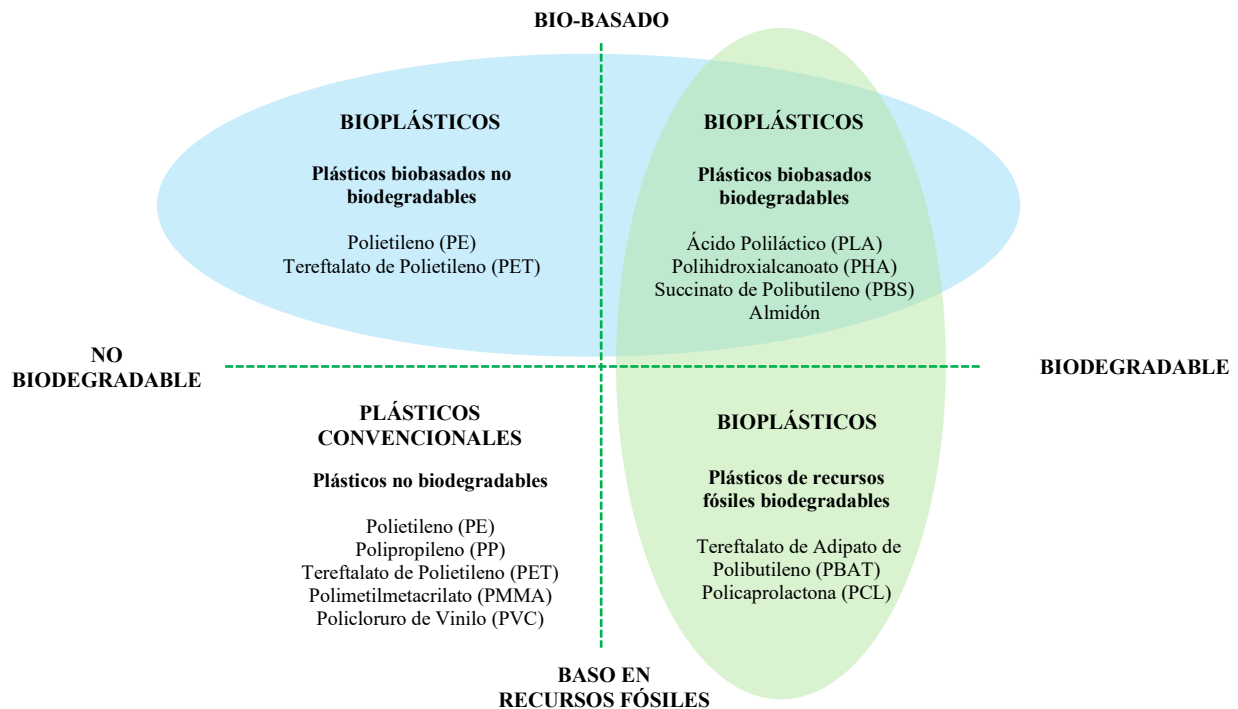
La producción de polímeros a partir de recursos renovables ha crecido significativamente en los últimos años, su desarrollo se debe a la demanda actual por parte de la sociedad para reemplazar los polímeros derivados del petróleo por la limitación que tienen estos recursos, así como por la volatilidad en precios, impacto ambiental y la eliminación de residuos (Ashter, Chapter 1: Introduction, 2016).

Dentro de las alternativas sostenibles, se encuentra el uso de los bioplásticos, ya que estos brindan beneficios para una producción y consumo sostenibles a partir de una mayor eficiencia, uso de recursos renovables y reducción de huella de carbono; además, los bioplásticos han sido ampliamente utilizados en la industria de los empaques, donde han tenido el mayor campo de aplicación (Ashter, Chapter 1: Introduction, 2016). En la Figura 4, se muestra los principales usos de los bioplásticos.

Figura 4*Principales Usos de los Plásticos Biodegradables*

Nota. Figura adaptada y traducida de EuRIC AISBL (2020).

Los bioplásticos comprenden una gran variedad de materiales con propiedades y aplicaciones diferentes, y se definen si son de origen biológico, biodegradable o si presentan ambas propiedades; se pueden clasificar en tres grupos: Plásticos biobasados o parcialmente biobasados no biodegradables, Plásticos biobasado y biodegradables y Plásticos basado en recursos fósiles pero que son biodegradables (European Bioplastics, 2022), así como se muestra en la Figura 5.

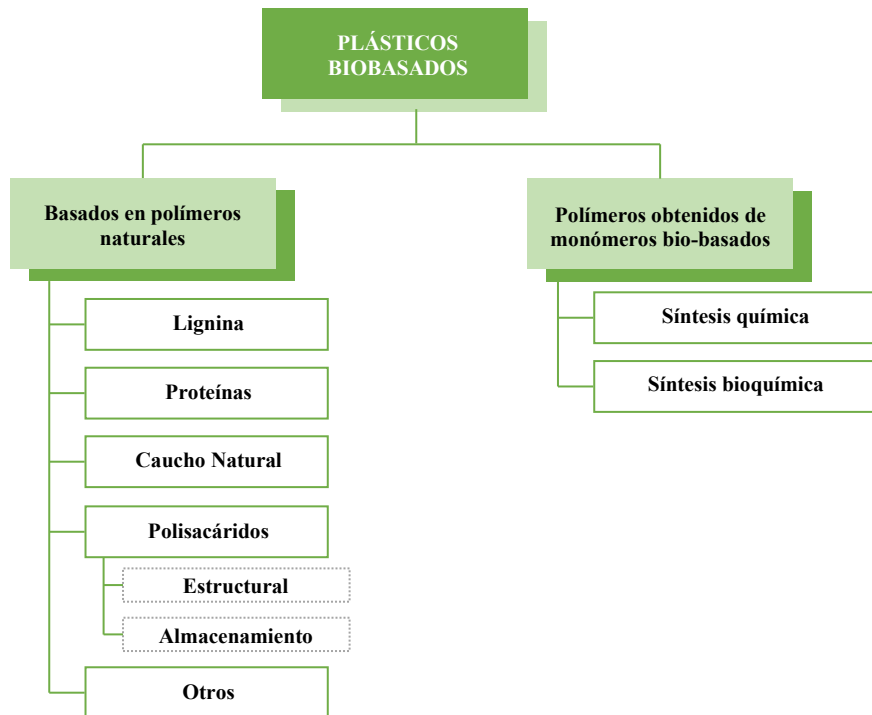
Figura 5*Clasificación de los Bioplásticos*

Nota. Figura adaptada y traducida de European Bioplastics (2022).

Los plásticos biobasados o bioplásticos se definen como los plásticos derivados de la biomasa, la cual se refiere al material orgánico biodegradable derivado de plantas, animales y microorganismos, considerados como renovables (Ashter, 2016), y se caracterizan por ser biodegradables y no biodegradables; la primera generación de estos polímeros se derivó de materias primas agrícolas y con el avance de la biotecnología, se desarrolló la segunda generación, en la que los polímeros se obtienen por medio de proceso de fermentación bacteriana a partir de recursos renovables (*Ashter, Chapter 5: Types of Biodegradable Polymers, 2016*).

En la Figura 6, se muestra la clasificación de los plásticos biobasados de acuerdo con la obtención de polímeros naturales y de monómeros biobasados.

Figura 6
Clasificación de los Plásticos Bio-Basado (Bioplásticos)



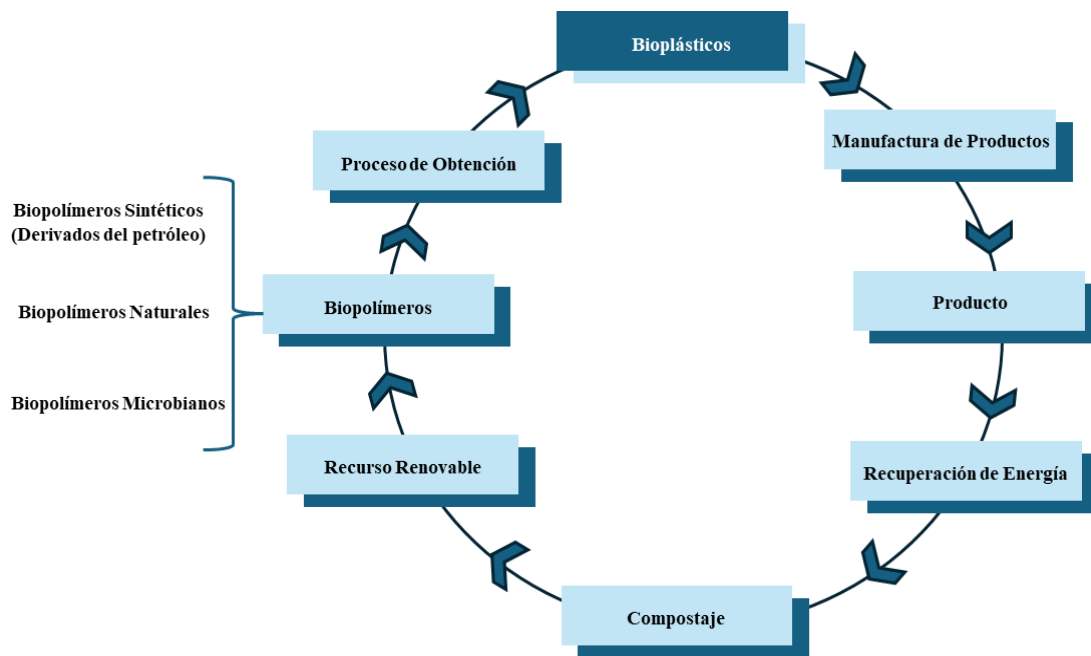
Nota. Figura adaptada y traducida de Ashter (2016).

En el grupo de plásticos bio-basados biodegradables, se clasifican los biopolímeros, los cuales se obtienen de la biomasa, material orgánico obtenido de las plantas, animales y microorganismos; los biopolímeros, al igual que cualquier polímero, son moléculas formadas por bloques químicos repetitivo de gran longitud, el término “bio” hace referencia a que son producidos por organismo vivos y son biodegradables. Dentro de las ventajas, se resalta que contienen carbono renovable (carbono biógeno), algunos pueden degradarse mediante compostaje, y cuando no pueden reciclarse, sirven para producir energía renovable o producir biocombustibles, reducen el consumo energía y así mismo, reduce las emisiones de dióxido de carbono (Ashter, Chapter 2: Overview of Biodegradable Polymers, 2016).

En la Figura 7, se relaciona proceso de obtención de los bioplásticos biodegradables a partir de los biopolímeros.

Figura 7

Proceso de Obtención de los Bioplásticos Biodegradables a partir de los Biopolímeros



Nota. Figura adaptada y traducida de Khosravi & Yazdian (2022).

Las primeras formulaciones de plásticos basados en biopolímeros, comparados con los plásticos convencionales, presentaron propiedades inferiores respecto a la resistencia mecánica, estabilidad térmicas y propiedades de barrera, por lo cual, con el avance del desarrollo de bioplásticos, se ha incorporado aditivos, como nanopartículas y compuestos naturales, que permiten mejorar sus propiedades fisicoquímicas, antimicrobianas, y antioxidantes, mejorando así, su viabilidad como una solución sostenible para los empaques de alimentos (Kumar & et al., 2024).

Al igual que los plásticos convencionales, los plásticos biodegradables han presentan una amplia variedad de aplicaciones en la industria de empaques como es el caso de bolsas para compost, laminas para la agricultura y diversos materiales para la industria de alimentos como lo son los cubiertos desechables, platos, vasos, pitillos, laminas o películas de envoltura y laminados, tablas, etc. (Ashter, Chapter 9: Commercial Applications of Bioplastics, 2016).

Dentro de las opciones y alternativas para la elaboración de empaques biodegradables, se encuentra el uso de los subproductos o productos de la biomasa residual, los cuales ofrecen una mejor opción respecto a la disponibilidad, no toxicidad y biodegradación (Nithya & Thirunavukkarasu, 2023).

7.1.3. Bioplásticos Obtenidos de los Residuos Agroindustriales: Biopolímeros

El crecimiento de la población y la urbanización ha ejercido presión sobre los recursos naturales y la gestión de residuos, lo que ha conllevado a generar implicaciones ambientales y socioeconómicas; dentro de la problemáticas y preocupaciones mundiales se encuentra la contaminación por plásticos y el desperdicio de alimentos. Durante el año 2022, se desperdiciaron un total de 1050 millones de toneladas de alimentos, de los cuales 631 millones de toneladas provienen de hogares, cifras que tienen repercusión sobre la seguridad alimentario y la contribución a la generación de emisiones de gases de efecto invernadero (Kumar & et al., 2024).

Se ha estimado que el 13,8% de los alimentos producidos en el mundo se han desperdiciado en etapas de cosecha, almacenamiento, procesamiento y venta al por mayor, dentro de los cuales se encuentran las cascarras, pieles, semillas, tallos, ente otros, que representan una fuente de polisacáridos, proteínas, lípidos y fitoquímicos, que son componentes de gran valor para la obtención de nuevos biomateriales (Merino & et al., 2022).

Un caso de ejemplo, se encuentra dentro del procesamiento de productos como vino, cerveza, caña de azur, verduras, frutas, té, entre otros, donde se generan cáscaras, hojas, semillas, pulpa no utilizadas, las cuales se desechan en durante la precosecha y postcosecha, lo que ha repercutido con efectos no deseados en el medioambiente y el impacto en diversos sectores socioeconómicos, ya que estos residuos se disponen en rellenos, lo que promueve la aparición de malos olores, plagas, parásitos y microorganismos (Jamwal & et al., 2023). Además, los métodos convencionales de disposición o eliminación (rellenos sanitarios, incineración, reciclaje limitado) de este tipo de residuos han probado ser insuficientes para frenar la contaminación por plástico, por lo cual el uso de biorresiduos como materia prima para la obtención de bioplásticos es una innovación como material sostenible (Kumar & et al., 2024).

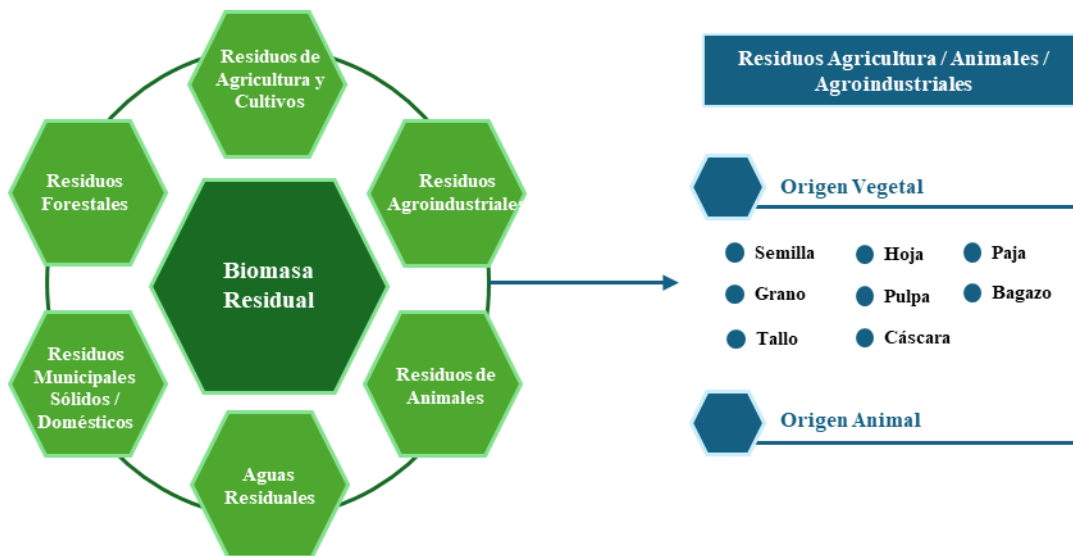
Estos subproductos mal gestionados son una fuente importante de biopolímeros (celulosas, almidón, pectina, proteínas), compuesto bioactivos, vitaminas, taninos, pigmentos y aceites esenciales, los cuales pueden utilizarse como biomateriales o como aditivos menores que facilitan la optimización de las de películas de empaque (Jamwal & et al., 2023).

Por esta razón, se busca implementar alternativas innovadoras para utilizar eficientemente los residuos mediante un enfoque sostenible, como es el caso de la obtención de biopolímeros

biodegradables (Mutmainna & et al., 2025), aprovechando los biorresiduos como materia prima en diferentes industrias y así garantizando un enfoque ecológico y sostenible bajo un modelo de economía circular (Khandeparkar & et al., 2024). En la Figura 8 se resumen los principales recursos de biomasa para la producción de bioplásticos.

Figura 8

Principales de Recursos de Biomasa Residual para la Obtención de Bioplásticos



Nota. Información obtenida de Singh & et al. (2022), Chejne & al. (2024) y Singh & et al. (2022).

Entre las ventajas de utilizar los biorresiduos, se incluye el aprovechamiento de partes no comestibles de las plantas, evitando así el riesgo de agotamiento de alimentos. Adicionalmente, estos materiales, por ser susceptibles a la fragmentación y a la acción de microorganismos, no generan un impacto significativo en los ecosistemas, ya que pueden degradarse a temperatura ambiente, con un contenido adecuado de humedad y bajo acción enzimática por parte de microorganismos (Nithya & Thirunavukkarasu, 2023).

La identificación y caracterización de los biorresiduos es la etapa inicial en el proceso de valorización para la obtención de los bioplásticos (Ali & et al., 2022), como es el caso de las fuentes que contienen polisacáridos y derivados, los cuales se utilizan para producir materiales de empaque biodegradables, que se caracterizan por presentar propiedades de barrera contra gases y aromas,

así mismo, presentar buenas propiedades mecánicas y capacidad para transportar activos, sin embargo, debido a su naturaleza hidrofílica, presentan baja barrera contra el vapor de agua.

A continuación, se describe algunos de los polisacáridos esenciales en la obtención de los bioplásticos biodegradables:

- **Celulosa:** polisacárido que presenta una estructura lineal rígida con unidades repetidas de d-glucosa, se caracteriza por tener baja solubilidad en agua a causa de la presencia de los enlaces de hidrogeno, ser transparente, mecánicamente rígido y estable; al presentar una estructura química con altos grupos hidroxilo, es posible obtener derivados de celulosa (Nithya & Thirunavukkarasu, 2023) y formar biopelículas, las cuales brindan una protección contra la migración de oxígeno, aceites, grasas y agua, estas películas se utilizan comúnmente en el empaque de diversos productos alimenticios, especialmente las frutas y verduras (Popovic & et al., 2018).
- **Hemicelulosa:** polisacárido ramificado compuesto por pentosanos y hexosanos, se caracteriza por tener una gran solubilidad en agua, además de presentar resistencia contra aceites/grasas y oxígeno; estas películas suelen ser susceptibles la humedad y presentan baja resistencia mecánica, por lo cual se deben combinar con otros compuestos, los cuales permitieron evidenciar que las películas obtenidas, prestan una mayor resistencia térmica y mejora sus propiedades mecánicas (Nithya & Thirunavukkarasu, 2023).
- **Lignina:** polisacárido complejo con estructuras reticuladas que generalmente interactúan con la hemicelulosa, que debido a su estructura específica y distintos grupos funcionales, se puede obtener biopelículas para la industria de alimentos. Presenta propiedades antimicrobianas, capacidad antioxidantes y filtrado UV. Al incorporarse con otros compuestos, las películas obtenidas se caracterizan por ser rígidas y con una baja permeación de oxígeno y dióxido de carbono; las biopelículas obtenidas a partir de la lignina funcionan en el empaque de diferentes alimentos como los granos (Nithya & Thirunavukkarasu, 2023).
- **Almidón:** polisacárido compuesto por cadenas lineales de amilosa y cadenas ramificadas de amilopectina, las biopelículas obtenidas del almidón se caracterizan

por ser transparentes, inodoras e insípidas, lo que evita que se altere el sabor, aroma y apariencia de los alimentos, adicionalmente, presentan una baja permeabilidad a los gases, ser resistentes e isotrópicas. Sin embargo, para mejorar sus propiedades mecánicas es necesario la adición de un plastificante adecuado (Popovic & et al., 2018).

- **Pectina:** Grupo complejo de polisacáridos, es uno de los materiales más utilizados en el empaque e la industria de alimentos; se caracteriza por presentar mayor compatibilidad con otros biopolímeros, por lo cual se puede mejorar sus propiedades resistentes, mecánicas, antioxidantes, antimicrobianas, entre otras (Nithya & Thirunavukkarasu, 2023).

7.2. Obtención de Bioplásticos a partir de Residuos Agroindustriales del Banano

7.2.1. Producción del Banano

Los bananos son frutas cultivadas y cosechadas durante todo el año en regiones trópicas y subtropicas; la producción de banano se centra en países como la India, China e Indonesia, sin embargo, los países líderes en exportación son Ecuador, Colombia, Filipinas y Costa Rica (Issara & et al., 2024). Los bananos, así como los plátanos, pertenecen a la especie *Musa*, de las cuales hay dos especies distinguidas *Musa Paradisiaca* y *Musa Sabentum*, en la actualidad los cultivos de banano y plátano están relacionados con la hibridación de dos especies, *Musa Acuminata* y *Musa Balbisiana*. Se resalta que, dentro de la especie de *Musa Paradisiaca*, se encuentra el banano Cavendish (Issara & et al., 2024)

A nivel mundial, el banano es una de la frutas más producidas, comercializadas y consumidas, además, se caracteriza por contribuir con la seguridad alimentaria al ser un alimento básico en los hogares debido a sus nutrientes vitales y por contribuir a la generación de ingreso como cultivo comercial (FAO, s.f). En el mundo se producen más de 1000 variedades de banano, de los cuales el banano tipo Cavendish es más comercializada, representando un 47% de la producción mundial (GIZ, 2021). Para el caso de Colombia, normalmente se produce y comercializa dos tipos de banano: el tipo exportación, Cavendish Valery, y el de consumo interno, criollo, los cuales se producen principalmente en los departamentos de Antioquia, Magdalena y la

Guajira; se estima que se cuenta con 50 mil hectáreas sembradas de banano para exportación nacional (Organización Internacional del Trabajo, 2020); adicionalmente, se estima que los mayores volúmenes de producción de banano se presentan en los meses de mayo y junio (Unidad de Gestión de Riesgos Agropecuarios, 2018).

De acuerdo con la Asociación Nacional de Comercio Exterior (s.f.), la exportación de frutas ha mantenido un crecimiento, resaltando el papel del del banano (Cavendish Valery), el cual tuvo durante el año 2024, un incremento de 65,3% en volumen exportado y un 63,4% sobre el valor total de las frutas frente al año 2023, siendo la Unión Europea y Estados Unidos los países con mayor porcentaje de participación del lugar a exportar.

7.2.2. Agroindustria del banano en Colombia

La agroindustria se entiende como las actividades económicas que involucran la producción, procesamiento, transformación y comercialización de productos agrícolas y ganaderos, incluyendo las industrias que agregan valor a los productos primarios como lo son la industria de alimentos, agroquímicos, biotecnología, biocombustibles, entre otros (González, 2023); debe comprenderse en un sentido amplio que incluya toda la cadena productiva, desde la producción y transformación de un producto agrícola, pecuario, forestal o pesquero hasta los procesos industriales de valor agregado, que permiten llevar los productos a los mercados nacionales e internacionales (ANDI, 2023)

El desarrollo agroindustrial ha generado un incremento en la generación de los subproductos o residuos, los cuales se convierten en un gasto para las empresas a causa de su disposición; para el caso de la agroindustria alimentaria en Colombia, en la etapa de procesamiento se generan una gran cantidad de subproductos o residuos que presenta un impacto al medio ambiente debido al alto contenido de materia orgánica (Peñaranda & et al., 2017).

En Colombia, así como en otros países de América Latina, se generan residuos principalmente de la actividad agrícola y en el procesamiento de productos como el café, caña de azúcar, maíz, arroz, banano y plátano, llegando a producir 71.943.813 toneladas al año de residuos, los cuales la mayoría se disponen en rellenos sanitario o son incinerados (Peñaranda & et al., 2017).

Adicionalmente, para el caso de los residuos de banano y plátano en el proceso de exportación, donde la fruta no cumple con las características requeridas y son rechazados, estas

frutas se convierten en residuos, las cuales se disponen para la alimentación de animales, compostaje o se llevan a rellenos sanitarios (Peñaranda & et al., 2017).

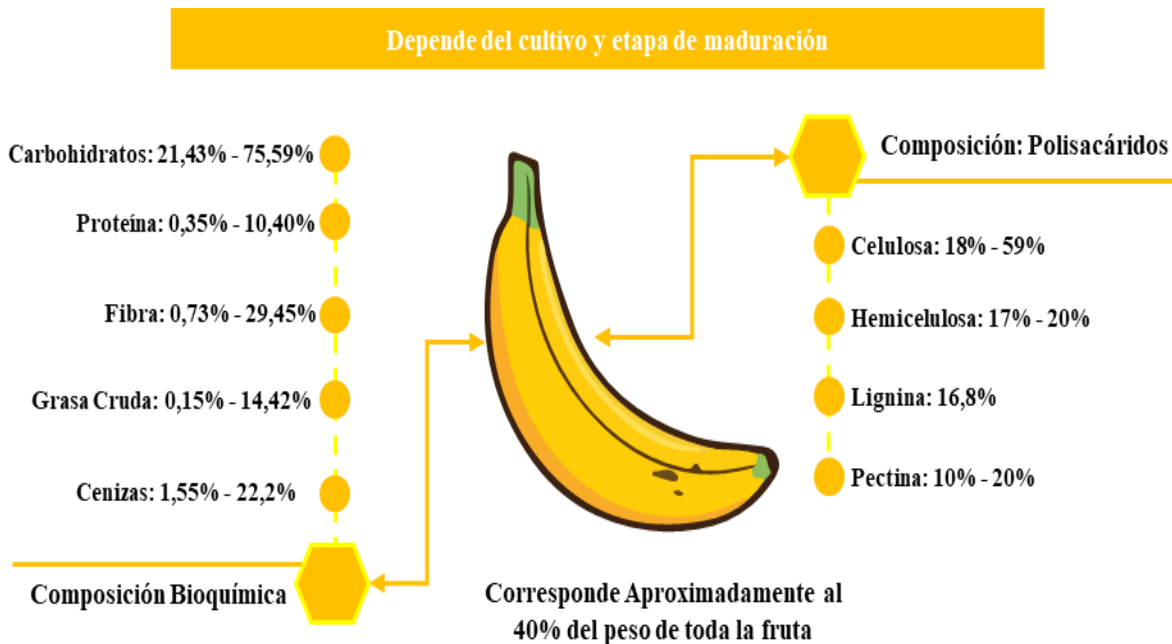
7.2.2.1. Caracterización de la Cáscara del Banano

La cáscaras de banano es la piel que cubre del exterior la fruta, ocupa el 40% del peso de fruta fresca y se caracteriza porque en su composición presenta polisacáridos, proteínas, fibras, minerales (calcio, potasio y fosforo), vitaminas, hierro, aminoácidos esenciales y ácidos grasos polinsaturados, como se muestra en la Figura 8; los polisacáridos en la pared celular de la cáscara del banano están conformados por celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina, la cantidad puede variar o verse afectada por la madurez de la fruta (Issara & et al., 2024).

En la Figura 9, se representa la composición bioquímica aproximada de la cáscara del banano de acuerdo con la revisión bibliográfica.

Figura 9

Composición Bioquímica de la Cáscara del Banano



Nota. Información obtenida Issara & et al. (2024)

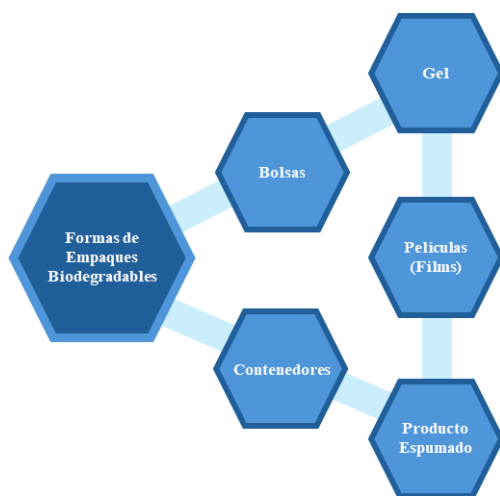
Las cáscaras de banano son claves para la fabricación de película biodegradable debido al contenido de almidón, fibra dietética, pectina y compuestos fenólicos; el almidón funciona como una matriz formadora de películas, brindando flexibilidad, transparencia y una adhesión a la superficie del alimento, además, estas películas pueden presentar una resistencia a vapor de agua, actividad antimicrobiana y antioxidante (Kumari & et al., 2025).

7.2.3. Obtención de Películas Biodegradables a partir de la Cáscara de Banano

Las películas obtenidas a partir de biopolímeros son una alternativa prometedora y sostenible a los plásticos convencionales en el empaque de alimentos, los cuales deben cumplir con estándares con relación a sus propiedades mecánicas (contar con suficiente tracción para soportar la manipulación y almacenamiento), barrera (vapor de agua, oxígeno), propiedades ópticas (transparencia y la protección UV) y propiedades hidrófilas o hidrófobas, dependiendo del alimento (Arroyo & et al., 2025). Además, con la incorporación de diversos agentes a las películas, permiten que adquieran propiedades antimicrobianas y antioxidantes (Abdullah & et al., 2022)

Dentro de las aplicaciones de los empaques biodegradables en la industria de alimentos, se cuenta con la siguiente clasificación de empaques mostrado en la Figura 10.

Figura 10
Aplicación de Empaques – Plásticos Biodegradables



Nota. Información obtenida Shaikh & et al. (2021).

Para obtener un componente (biopolímero) a partir de los biorresiduos, es necesario realizar procesos de extracción para su posterior procesamiento, ya que, debido a la composición y estructura de los biorresiduos, no es posible obtenerla directamente (Krbeckova & Plachá, 2024).

7.2.3.1. Pretratamiento de la Cáscara

Es indispensable someter a los biorresiduos en primera instancia a un pretratamiento para aumentar la eficiencia en los procesos de obtención, ya que mediante estos métodos se puede aumentar el área superficial y porosidad, reducir consumo de energía, costos y productos inhibidores en procesos posteriores (Awogbemi & Kallon, 2022). Adicionalmente, es importante priorizar que estos métodos sean rentables, amigables con el medio ambiente, simples de operar y con menos procesos involucrados; para el pretratamiento de biorresiduos, se utilizan métodos físicos, químicos, biológicos o una combinación (Xu & et al., 2023).

Para el caso de las técnicas del pretratamiento físico, estas tienen como objetivo reducir el tamaño de las partículas y aumentar el área superficial de los biorresiduos para lograr un mayor acceso durante el procesamiento, mayor eficiencia en la conversión y un mejor rendimiento del producto; dentro del pretratamiento físico se encuentran los pretratamientos mecánicos (Awogbemi & Kallon, 2022), los cuales ejercen una fuerza mecánica para romper la estructura y reducir el tamaño de la partícula, contenido y grado de polimerización, facilitando el acceso a productos químicos y enzimas de los procesos posteriores; dentro de estos mecanismos se encuentra el corte, la molienda y la agitación (Awogbemi & Kallon, 2022).

7.2.3.2. Extracción del Biopolímero

Posterior al pretratamiento, se requiere el proceso de la extracción de biopolímeros naturales a partir de los biorresiduos, como el caso de los residuos agroindustriales, en la cual se ha implementado diversos mecanismos físicos, químicos o combinación de ambos, como la extracción con agua, extracción ácido-base, extracción enzimática, extracción ultrasónica y asistida por microondas, cromatografía en columna de gel (Klaia & et al., 2021). En la Tabla 4 se muestran los métodos de extracción consultados.

Tabla 4*Métodos de Extracción de biopolímeros a partir de Biorresiduos*

Método de Extracción	Técnica	Descripción / Alcance
Químicos	Hidrolisis Alcalina	Método que utiliza soluciones alcalinas para extraer el biopolímero dependiendo de la solubilidad del compuesto y puede requerir pasos adicionales como: coloración, purificación, centrifugación, filtración, entre otros (Kumar & et al., 2024). Las soluciones alcalinas, se utilizan para degradar la lignocelulosa en la cáscara y así, liberar los polisacáridos hasta monosacáridos (azúcar) (Pandey & et al., 2024).
	Hidrolisis Acida	Método que utiliza soluciones acidas para extraer el biopolímero dependiendo de la solubilidad del compuesto y puede requerir pasos adicionales como la coloración, purificación, centrifugación, filtración, entre otros (Kumar & et al., 2024). Las soluciones ácidas desconocen los carbohidratos complejos en azúcares / polisacáridos para proceso posteriores (Pandey & et al., 2024).
	Hidrolisis Alcalina - Acida	Método que utiliza soluciones acidas y básicas para extraer el biopolímero; puede requerir pasos adicionales: coloración, purificación, centrifugación, filtración, entre otros (Kumar & et al., 2024).
	Extracción Solventes Orgánicos	Método ecológico emergente que utiliza solventes orgánicos y/o agua para solubilizar el compuesto, fraccionando la biomasa en componentes como la celulosa, lignina y hemicelulosa con alta pureza, además este método que permite la facilidad de recuperación y reutilización del solvente (Abolore & et al., 2024).
Físicos	Extracción asistida por ultrasonido	Método que utiliza el ultrasonido para mejorar la ruptura de los biorresiduos, exponiendo así a la estructura interna de este al solvente para la extracción del biopolímero (Roman & et al., 2023). Puede mejorar la eficiencia de la ruptura cuando se combina con solventes adecuados (Abolore & et al., 2024).
	Extracción asistida por microondas	Método que emplea energía electromagnética para calentar y provocar una alteración de los tejidos vegetales de los biorresiduos, lo que facilita la disolución en el solvente (Roman & et al., 2023). Esto implica que exista una interacción entre el campo electromagnético del microondas con las moléculas de la biomasa, lo que provoca un calentamiento y descomposición para obtener los biopolímeros (Abolore & et al., 2024). El uso de este método para descomponer las cáscaras de la fruta, mejora el proceso de hidrolisis (Pandey & et al., 2024).

Fluidos Supercríticos	Método que se basa en las propiedades de un fluido supercrítico (fluido expuesto a condiciones de presión y temperatura por encima del punto crítico) para extraer biopolímeros específicos, para ello se ha empleado el dióxido de carbono, agua, etanol, fenol, entre otros (Abolore & et al., 2024). Esto fluidos, bajo las condiciones óptimas, se convierten en excelentes solventes para la biomasa, además se caracterizan porque permite penetrar materiales porosos de manera efectiva, incluyen una mayor reactividad de la biomasa al alterar la estructura y aumentar la eficiencia de los procesos de conversión posteriores, adicionalmente, este método requiere menos productos químicos y reduce el impacto ambiental (Abolore & et al., 2024).
Hidrolisis Enzimática	Método que utiliza enzimas para hidrolizar los biorresiduos y convertirlos en biopolímero, es decir, que descomponen la pared celular de la biomasa y liberan los biopolímeros; este método se caracteriza por tener un mayor rendimiento (Roman & et al., 2023).
Biológico	
Fermentación	Método que utiliza microorganismos para descomponer los biorresiduos, de sustratos más complejos a formas más sencillas, como los biopolímeros, como el caso de la degradación de los lignocelulósicos, que da lugar biopolímeros como la celulosa (Kumar & et al., 2024).

En la actualidad se busca utilizar métodos de extracción ecológicos y sostenibles para prevenir la generación de residuos peligrosos, minimizar la generación de emisiones de gases efecto invernadero, métodos asequibles, aumentar el rendimiento, generar un menor consumo de energía y un uso mínimo de productos químicos (Abolore & et al., 2024).

7.2.3.3. Aditivos en el procesamiento de biopolímeros

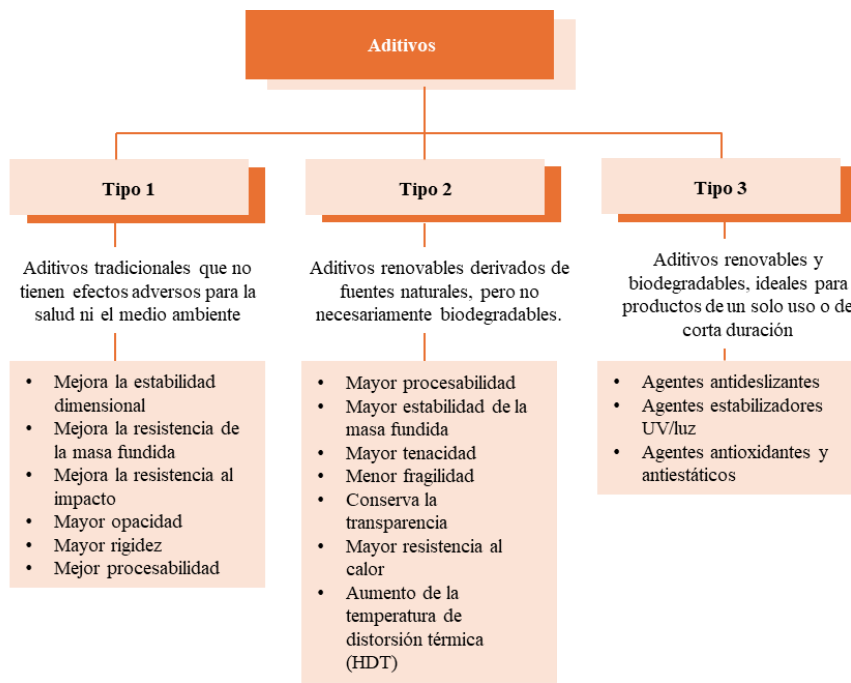
En el proceso de fabricación de los bioplásticos es común utilizar aditivos con el objetivo de obtener propiedades similares a los plásticos convencionales, de modo que permitan mejorar las características funcionales o incluir nuevas, mejorar el rendimiento, la apariencia, las propiedades mecánicas, la estabilidad térmica, las propiedades de barrera y la degradación, además, permiten en algunos casos reducir los costos. Estos aditivos se pueden adicionar en cualquier etapa de polimerización o procesamiento, sin embargo, es importante resaltar que ninguno de los aditivos incorporados en el proceso, genere un efecto adverso a la salud, medio ambiente o afecte la biodegradabilidad del bioplástico (Ashter, Chapter 6: Additives and Modifiers for Biopolymer, 2016).

Los aditivos se clasifican en modificadores (plastificantes, agentes nucleantes, clarificadores, modificadores de impacto, agentes de soplado, colorantes y agentes de

acoplamiento), estabilizadores (antioxidantes, estabilizadores térmicos y UV, retardantes de fuego, agentes antiestáticos y fungicidas) y coadyuvantes (lubricantes y compatibilizadores) (Ashter, Chapter 6: Additives and Modifiers for Biopolymer, 2016). En la Figura 11 se ilustra los tipos de aditivos y modificadores para los biopolímeros.

Figura 11

Tipo de Aditivos y Modificadores para los Biopolímeros



Nota. Información obtenida de Ashter (2016), Chapter 6: Additives and Modifiers for Biopolymer.

7.2.3.4. Procesos de formación de películas

Para la formación de películas a partir de los biopolímeros se cuentan con diversas técnicas, las cuales dependen de las propiedades inherentes al biopolímero como de finalidad del material. En la Tabla 5 se muestran algunos procesos de obtención de polímeros biodegradables.

Tabla 5*Proceso de obtención de polímeros biodegradables*

Técnica de Obtención de Película	Descripción
Fundición de Película (Film Casting / Solution Casting)	<p>La fundición de película o fundición con solvente consiste en disolver el polímero en solvente, formando una fina capa de la solución polimérica sobre una superficie o sustrato y posteriormente se deja evaporar el solvente a temperatura ambiente; este método es uno de los más utilizados para preparar películas de biopolímero a escala pequeña, para ello se debe tener en cuenta las condiciones ambientales (temperatura) y el solvente, el cual puede afectar las propiedades de la película (Westlake & et al., 2023).</p> <p>La concentración de la solución del polímero es fundamental para determinar las propiedades finales, las cuales oscilan entre el 3% al 10% (p/v) de acuerdo con el material; es comúnmente usado para producir empaques biodegradables a partir de almidón, en la cual se utiliza el agua o una mezcla de agua y glicerol, así mismo, en la calidad de la película influye la temperatura, humedad y espesor (Singh & et al., 2025).</p>
Moldeo por inyección (Injection moulding)	<p>El polímero fundido se inyecta en un molde y se deja enfriar, es una tecnología escalable y se utiliza para fabricar plásticos duros (Westlake & et al., 2023).</p> <p>El polímero fundido se inyecta por la cavidad de un molde, se deja enfriar hasta solidificarse, adquiriendo la forma deseada de película. En este proceso es importante controlar la temperatura a la que se produce el moldeo, la presión de inyección, velocidad, diseño del molde y espesor. Es ideal para películas a base de almidón (Singh & et al., 2025).</p>
Electrohilado (Electrospinning)	<p>Técnica que utiliza un campo eléctrico de alto voltaje para formar nanofibras mediante el estiramiento del polímero en solución o fundido, es considerada como una de las tecnologías prometedoras para acortar la distancia entre la investigación a pequeña escala y los métodos de escalado convencional, sin embargo, para ello es importante considerar que los biopolímeros requieren combinarse con otros componentes; esta técnica se usa para la encapsulación en envases activos (Westlake & et al., 2023).</p> <p>Esta técnica permite obtener una película con una excelente resistencia mecánica, gran área superficial y propiedades de barrera, además presenta ventajas, ya que permite la incorporación uniforme y controlada de compuestos bioactivos como agentes antioxidantes o antimicrobianos (Singh & et al., 2025).</p>
Impresión 3D (3D printing)	<p>Técnica que permite fabricar capa a capa la película del empaque, la cual se caracteriza por el contrario con diseños personalizados; el método permite un control preciso sobre el grosor, porosidad y composición, ideal para películas multifuncionales para los empaques inteligentes (Singh & et al., 2025).</p>
Extrusión (Extrusion Process)	<p>Técnica utilizada normalmente para la formación de películas plásticas tradicionales o convencionales; el proceso inicia con una mezcla del biopolímero fundido con un componente activo, el material se calienta y enfría para formar las películas (Westlake & et al., 2023).</p> <p>Este proceso cuenta con una zona de alimentación, zona de amasado y zona de calentamiento / salida, a la salida se fija una matriz en el extremo, la cual determina la forma y el espesor de la película extruida. Esta técnica funciona con pequeñas cantidades de agua o disolventes, así mismo, requiere de plastificantes para aumentar la flexibilidad. Por otra parte, cuando se requiere una película multicapa, se utiliza la técnica de coextrusión (Gupta & et al., 2022).</p>

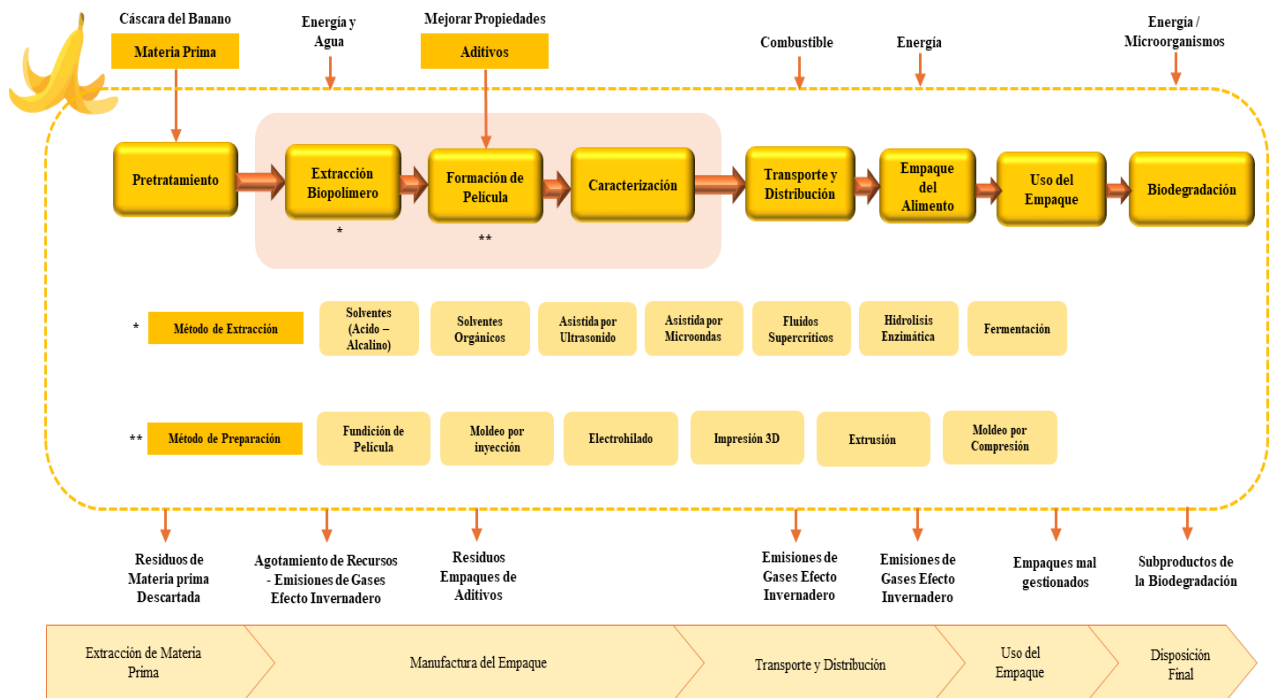
<p>Moldeo por Compresión (Compression molding)</p>	<p>Técnica que implica calentar el polímero y aplicar una presión dentro de un molde para crear la película, es indispensable controlar la temperatura, presión, llenado, tiempo de moldeo, velocidad de enfriamiento, además, los plastificantes pueden aumentar la flexibilidad. Es ampliamente usada para la fabricación de películas biodegradables a partir de almidón (Singh & et al., 2025).</p>
--	---

7.2.3.5. Procesos Posteriores

Los procesos posteriores a la obtención son esenciales para mejorar las propiedades de los biopolímeros formados, como lo son el lavado y secado: Eliminar disolventes y productos químicos residuales, garantizando una pureza y estabilidad (Kumari & et al., 2025). Por otra parte, es indispensable que se realice la caracterización del biopolímero obtenido a partir de la cáscara de banano con el objetivo de comprender la propiedades mecánicas, térmicas y morfológicas (Kumari & et al., 2025).

En la Figura 12, se puede relacionar las etapas de obtención de una película biodegradable a partir de la cáscara de banano de acuerdo con la revisión bibliográfica.

Figura 12
Obtención de una película biodegradable a partir de la cáscara del banano



7.2.3.6. Obtención de Películas a Escala Laboratorio

En la Tabla 6 se presenta una recopilación de estudios que abordan la obtención de películas biodegradables a partir de la cáscara de banano, destacando los métodos de procesamiento, condiciones experimentales y principales características obtenidas en los materiales resultantes. Esta revisión bibliográfica permite identificar las tendencias en el uso de este residuo agroindustrial como fuente de biopolímeros, así como las propiedades más relevantes evaluadas en cada trabajo, tales como la resistencia mecánica, la permeabilidad al vapor de agua y la biodegradabilidad. La información recopilada evidencia el potencial de la cáscara de banano como materia prima para el desarrollo de empaques sostenibles, al tiempo que resalta la necesidad de estandarizar los procesos para mejorar la reproducibilidad y escalabilidad de estos materiales.

Tabla 6
Obtención de películas a partir de la cascara de banano – Revisión Bibliográfica

Especie	Descripción	Fuente
Banano	* Escala Laboratorio: Formación de una película – Extracción de Fibra Lignocelulósica * Proceso de Obtención: Inmersión en $K_2S_2O_5$, Secado, Trituración – Tamizaje, Extracción Alcalina, Lavado, Blanqueamiento, Filtración, Adición de Solvente (Hinchazón – Aumento de volumen), Solubilización con $ZnCl_2$ y Cross-link $CaCl_2$, Coagulación en etanol, Dispersión, Secado. * Resultado: Películas de resistentes, transparentes, alta resistencia a la tracción, biodegradables, menor solubilidad en agua, absorción de humedad, contenido de humedad y permeabilidad al vapor de agua. Películas con potencial para usar en los empaques biodegradables de alimentos. * Por mejorar: Flexibilidad, Propiedades de barrera a la humedad. *Tener en cuenta: Escalabilidad y viabilidad de comercial	(Hoque & Janaswamy, 2023)
Banano Cavendish	*Escala Laboratorio: Formación de 8 películas bajo diferentes condiciones. *Proceso de Obtención: Blanqueado, Pelado, Secado, Molienda, Pretratamiento (Hidrotérmico), Extracción con solventes (H_2O y H_2SO_4), Autoclave, Enfriamiento, Adición de Plastificante, Homogenización, Dispersión de película y Secado. *Resultados: Películas con mejores propiedades ópticas, menor resistencia a la tracción e hidrofílicas, además, algunas presentaron bloqueo o barrera contra las UV y propiedades antimicrobianas. Películas con potencial para usar en los empaques biodegradables de alimentos.	(Silva & et al., 2024)

Banano Silvestre
(*Musa Acuminata*
L)

*Escala Laboratorio: Formación de una película
 *Proceso de Obtención: Pretratamiento (inmersión en metabisulfito de potasio, corte, cocción para formar pasta, trituración), extracción con solventes (HCL - NaOH) con adición de plastificante (glicerol) y secado.
 *Resultado: Película con características hidrofílicas, soluble, baja resistencia a la tracción, estabilidad térmica moderada y propiedades ópticas prometedoras.
 *Por mejorar: Resistencia Mecánica, Resistencia al agua, Refuerzo con nanocompuesto, incorporación de compuestos bioactivos.

(Sánchez & et al., 2025)

7.2.3.7. Caso de Éxito

La Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA) desarrollo una película de bioplástico similar al papel film a partir de la cáscara del banano con el objetivo de utilizar en empaque activos de alimentos, la cual cuenta con propiedades antioxidantes y protección contra los rayos ultravioletas (UV), la empresa genero la oportunidad al estimar que por cada tonelada de banano producido se genera alrededor de 417 kilogramos de cáscaras (EMBRAPA, 2024)

7.3. Costos Asociados a los Bioplásticos

El procesamiento y producción de los biopolímeros para el empaque de alimentos suponen costos más elevados comparado con los plásticos convencionales, esto ocurre por diversos factores, en el que se incluye la limitada escalabilidad de producción, que implica costos unitarios más elevados, así como una inversión inicial significativa para la infraestructura necesaria para producir y procesar los biopolímeros, lo cual ha representado una gran barrera para estas soluciones alternativas (Nahar & et al., 2025).

Un factor clave en la definición de los costos, es comprender que la cadena de producción de bioplásticos es diferente a la tradicional, llegando a ser más compleja y costosa comparada con la fabricación de los plásticos convencionales, ya que esta última presenta cadenas de suministro consolidadas, eficientes, rentables y económicas, implicando una mayor ventaja en costos debió al tamaño y escala de producción, logrando obtener mayores unidades producidas a menor costo por unidad y una mejor distribución de los costos fijos de la producción (Symons, 2022).

Por otra parte, es importante resaltar que para obtención de los bioplásticos biodegradables a partir de residuos agroindustriales, se puede reducir los costos asociados a la adquisición de materias primas (Teixeira & et al., 2024), teniendo en cuenta la variación en su disponibilidad de acuerdo con el área y periodo en el año generan, además se deben tener en cuenta factores asociados al almacenamiento y transporte específico que requiere la biomasa (Symons, 2022).

Otro mecanismo para reducir el costo de los bioplásticos es la implementación de innovaciones tecnológicas en la fabricación para agilizar la producción y reducir el consumo de energía, para ello, se requiere el desarrollo de plantas piloto, que permita facilitar una transición de la escala laboratorio a la producción industrial (Nahar & et al., 2025).

Para el avance tecnológico en la producción de bioplásticos, es indispensable la inversión en investigación y desarrollo (I+D) (Symons, 2022), ya que esto permite avanzar en el desarrollo de nuevas técnicas en la fabricación de los empaques, así como, la estandarización de protocolos de pruebas y programas de certificación de los bioplásticos, lo cual impacta en una mejor aceptación de estos productos en el mercado, generado una mayor confianza al consumidor, además, mediante la investigación y desarrollo, se puede mejorar la reducción de costos mediante la fabricación de materiales híbridos que mejoren la propiedades del empaque y permitan una reducción en el costo (Teixeira & et al., 2024).

Para la viabilidad económica de los bioplásticos biodegradables a partir de los residuos agrícolas o agroindustriales, es indispensable tener en cuenta factores asociados a costos de materias primas (recolección y transportes), gastos en el procesamiento (tecnologías de conversión – equipos e instalaciones), demanda del mercado y competitividad (análisis del mercado), economía a escala, inversiones, incentivos y regulaciones gubernamentales (Thakare, 2024). Además, se debe tener en cuenta los costos, el consumo de electricidad, insumos, mantenimiento y reparación, depreciación, retorno de inversión, mano de obra y los costos unitarios fijos y variables (Wellenreuther & et al., 2022).

Para mejorar la competitividad y viabilidad económica de los empaques biodegradables, es indispensable, es necesario la ampliación de la producción, optimización de métodos de procesamiento (Nahar & et al., 2025), así como la innovación, inversión y colaboración de todos los actores en la cadena de valor del empaque (Teixeira & et al., 2024).

Es importante resaltar que acuerdo con Symons (2022), los costos y beneficios cualitativos de los bioplásticos se han explorado en las revisiones literarias, pero se han encontrado pocos

estudios que cuantifiquen estos costos asociados a su producción. Además, es importante resaltar que el costo, rendimiento, escalabilidad y cumplimiento normativo son los desafíos y limitaciones más grandes en torno a los bioplásticos (Teixeira & et al., 2024).

En la Tabla 7, se puede relacionar algunos costos adicionales que se pueden contemplar dentro del sector de empaques.

Tabla 7
Áreas para el análisis de los costos de los empaques

Área	Costos Asociado
Costos de Empaque	Costos directos de los materiales de embalaje, el embalaje secundario, el embalaje terciario.
Costos Integrales del Empaque	Incluye los costos del proceso de embalaje y paletizado.
Costos Logística	Cubre todos los costos directos que dependen del propio paquete (costes de transporte, costes de desembalaje, almacenamiento en estanterías, etc.)
Total de Costos de Propiedad	Incluye los costos indirectos (costos de eliminación, riesgos de daños al producto, costos de las planchas de impresión, costos de pedidos, etc.)

Nota. Fuente (Klooster & et al, Chapter 17: Costs of Packaging, Costs in Relation to the Chain, and Costs of Failures 2019).

7.4. Análisis de la tecnología y costos de las películas biodegradables

Para el análisis técnico y económico de la fabricación de empaques de alimentos a base de un material bioplástico biodegradable obtenido a partir de biomasa residual, como las cáscaras del banano, es importante tener presente diversos factores que influyen en toda la cadena de valor del empaque, así mismo, la importancia de la presión social, ambiental y económica que promueve un mercado interesado en productos sostenibles y ecológicos.

Desde el análisis técnico, se encontró información asociada a tecnologías emergentes para la obtención de biopolímeros y formación películas de empaque, sin embargo, el rendimiento en la extracción y propiedades de las películas se ha evidenciado a escala laboratorio, por lo cual no fue posible determinar la viabilidad a escala industrial, además, se encontró diversos estudios con biomasa residual diferente, lo que hace más más complejo la estandarización del procesamiento a

nivel industrial, ya que las propiedades y composición bioquímica de las películas van a variar de acuerdo con la materia prima seleccionada.

Finalmente, para el análisis de los costos, no fue posible encontrar información específica sobre la rentabilidad y viabilidad económica de los bioplásticos obtenidos a partir de la biomasa residual, lo cual impacta en la percepción de innovaciones tecnológicas costosas, así mismo, se asoció factores a nivel general que influyen en el costos de producción y precio del bioplástico como lo son las inversiones iniciales en infraestructura, en tecnología, costo de materias primas, mano de obra, servicios, gastos en el procesamiento, logística, variación de la demanda del mercado y apoyos económicos (incentivos) por parte del gobierno. Además se puede evidenciar que el aprovechamiento de la biomasa residual representa una oportunidad para Colombia en la incursión de materias primas para la fabricación de empaques de alimentos, y aunque la viabilidad técnica y económica presente aún varias dificultades con relación a la escalabilidad industrial, esto genera una oportunidad de inversión I+D para el país, ya que esto permite avanzar en nuevas técnicas para la fabricación de los empaques sostenibles, así mismo, fortalecería la competitividad a nivel agroindustrial, puesto que se obtendría materia prima no aprovechada durante toda la cadena de valor de los productos agrícolas.

8. Comportamiento del consumidor en torno al uso de los bioplásticos en los empaques de alimentos

8.1. Comportamiento del Consumidor

El comportamiento del consumidor con relación a los bioplásticos es indispensable para el desarrollo del diseño de los empaques, marketing y estrategia empresarial, que tienen como objetivo fomentar un comportamiento o compra sostenible. Para ello, se ha relacionado diferentes teorías, como lo es la teoría de acción razonada, la teoría de valor-creencia-norma o la teoría de la jerarquía de efectos, la cual relaciona diversos factores influyentes en el comportamiento del consumidor, en la que se puede presentar impulsores o barreras en la decisión de compra, asociadas con la conciencia, conocimiento, gusto, preferencia y convicción por parte del consumidor (Findrik & Meixner, 2023).

Dentro de la teoría de la jerarquía de efectos junto con el modelo de difusión de la innovación, se relaciona que el consumidor no pasa inmediatamente de ser un comprador indiferente a un comprador dedicado, y así mismo, la decisión del consumidor sobre una innovación se desarrolla gradualmente, además, bajo el modelo de actitud-comportamiento-contexto, se relaciona la interacción entre los factores individuales y la influencia del contexto, como es el caso de las creencias, valores personales y comportamiento con variables contextuales, como la conveniencia, costos, aspectos legales, políticas públicas, entre otros (Nejadrezaei & et al, 2024).

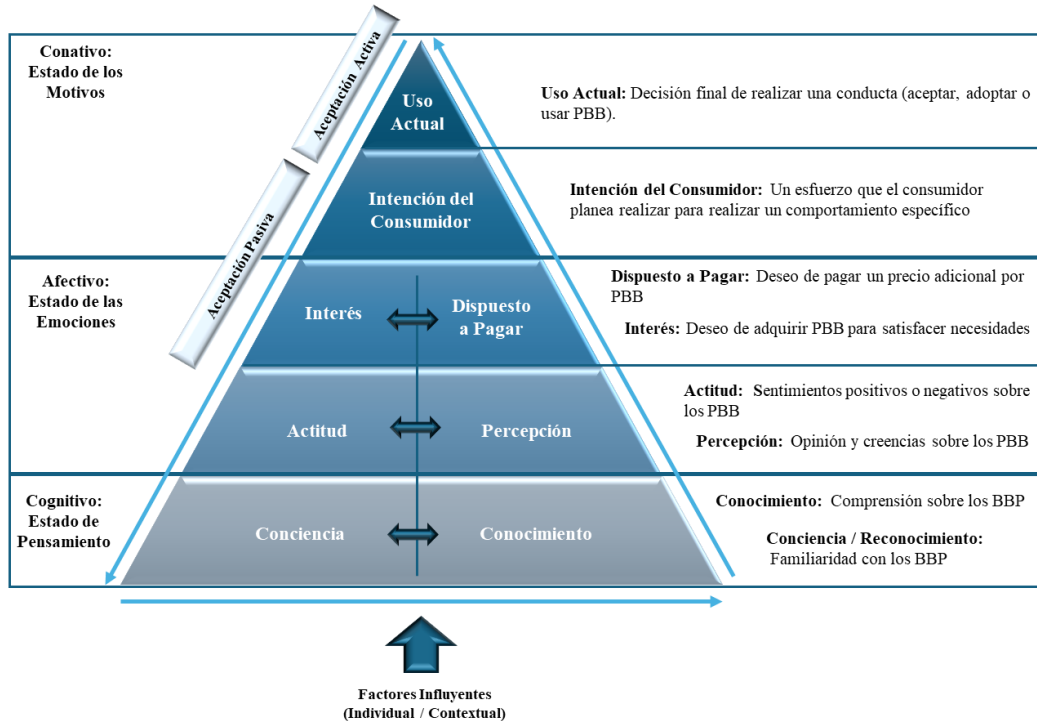
Con base en los tres modelos, se relacionó tres componentes principales en el comportamiento del consumidor, lo cuales se muestran en la Figura 13.

- **Cognitivo (estado de pensamiento):** Etapa intelectual y racional que implica la conciencia y el conocimiento del producto con base a información e ideas que tiene el consumidor (Nejadrezaei & et al, 2024).
- **Afectivo (estado de las emociones):** Implica el gusto y preferencias del consumidor con base a actitudes o sentimientos desarrollados sobre un producto, en la que se relaciona la actitud, percepción, interés y disposición a pagar (Nejadrezaei & et al, 2024).

- **Conativo (estado de los motivos):** Relaciona el impulso motivacional, sea positivo o negativo, la convicción, intención de compra y uso real del producto (Nejadrezaei & et al, 2024).

Figura 13

Componentes principales en el comportamiento del consumidor sobre productos biobasados (PBB) de acuerdo con la integración de los tres modelos



Nota. Figura adaptada y traducida de Nejadrezaei & et al (2024)

Se han relacionado tres elementos claves que afectan el comportamiento del consumidor: la orientación del consumidor hacia la sostenibilidad ambiental, conocimiento sobre las alternativas y las expectativas que tienen en torno a los bioplásticos, que está relacionada con el nivel de satisfacción que presenta con el reemplazo de los plásticos convencionales (Fletcher & et al, 2024). La aceptación por parte del consumidor es indispensable para que un material de empaque logre su máximo potencia, ya que este puede determinar el éxito o fracaso en el mercado, para esto se debe tener en cuenta la disposición del consumidor de comprar y pagar por alternativas que reemplacen los plásticos convencionales (Herrmann & et al, 2022).

Dentro del segmento de consumidores, se resalta el papel de aquellos con una actitud consciente respecto a las características de los bioplásticos y medio ambiente, ya que este segmento está dispuesto a pagar un sobreprecio, ya que los bioplásticos implican una inversión inicial elevada y un costo más alto en la producción (Findrik & Meixner, 2023).

La disposición de pagar por diferentes tipos de empaque se ha asociado a referencias bibliográficas o encuestas, los cuales han revelado que los consumidores estaban dispuestos a pagar por empaques biodegradables y que existía una tendencia por parte de consumidores más jóvenes, sin embargo, así mismo, revisiones bibliográficas demostraron que para el caso de los bioplásticos, esta se ha asociado a una alternativa con alta incertidumbre y es una de las últimas alternativas dispuesta a pagar por un mayor precio (Herrmann & et al, 2022).

Aunque existe una voluntad a nivel general, de comprar empaques más sostenibles o productos sin empacar, es importante resaltar que para los consumidores es difícil evaluar si es un empaque realmente sostenible, lo que ha generado una preocupación y ha demostrado que los consumidores no cuentan con el conocimiento para emitir juicios respecto a la sostenibilidad, ya que para ellos el conocimiento es limitado y las características de estos materiales son desconocidas, además de que el material del empaque influye en la percepción de la sostenibilidad del producto (Herrmann & et al, 2022).

Una de las principales barreras en la compra de bioplásticos, se ha asociado la falta de conocimiento, incertidumbre en el reconocimiento y sentimientos ambivalentes sobre los impactos de los bioplásticos con relación a las características al final de la vida útil, greenwashing y calidad, por esta razón, es indispensable la educación del consumidor con información en la etiquetas y mediante canales de comunicación que permitan mejorar la conciencia ecológica, además, es indispensable tener en cuenta que, la preferencia del consumidor implica que los bioplásticos deben contar con características importantes y atractivas con relación al precio, materia prima y origen (Findrik & Meixner, 2023).

En la Tabla 8, se relaciona estudios sobre el comportamiento del consumidor y percepción de las industrias en diferentes países con relación a uso de productos bioplásticos.

Tabla 8

Revisión Bibliográfica sobre el Comportamiento del Consumidor y Percepción de las Industrias con relación a los Bioplásticos

Lugar	Descripción Impacto en el Consumidor	Fuente
Suecia	<p>Este estudio exploró la percepción a nivel industrial, por lo cual se realizó una encuesta a 17 empresas sucas asociadas al sector de empaques, alimentos y ventas minoristas, los cuales relacionaron una actitud positiva sobre el uso de bioplásticos en el empaque de alimentos. Sin embargo, se asociaron barreras como el conflicto sobre la seguridad alimentaria, cultivo de materias primas, problemas de rendimiento técnico, costos de producción, confusión de los consumidores, dudas sobre los beneficios ambientales reales sobre este tipo de materiales y la falta de información asociada a los impactos ambientales de los bioplásticos.</p> <p>En el estudio se resaltó un bajo interés por parte de las industrias sobre el uso de bioplásticos biodegradables, ya que indican que generan una preocupación por la posibilidad que los consumidores no gestionen adecuadamente los residuos a causa de la falta de sistemas de recogida y tratamiento para estos residuos y la falta de conocimiento por parte de consumidor, además de la deficiencia de tecnología (máquinas de procesamiento/envasado), aumento de costos de producción y precios. Lo anterior se refleja en que las empresas de empaques y alimentos utilizan en su mayoría bioplásticos no biodegradables como el polietileno (PE).</p> <p>Dentro de los factores influyentes, se destaca a los clientes (consumidores), ya que estos pueden tanto apoyar como inhibir el uso de bioplásticos en el empaque de alimentos; actualmente se ha demostrado que existe una tendencia hacia productos con una mejor huella de carbono.</p> <p>Las empresas asocian a indicadores claves a la Huella de Carbono, reciclabilidad e impacto en todo el ciclo de vida. además de que se debe tener encuesta el precio, capacidad del consumidor de pagar, proveedores, propiedades técnicas, objetivos de la compañía, acceso a datos y ventajas claras, reciclaje y conciencia del consumidor.</p>	(Molina & Keszleri, 2022)
Alemania	<p>Se aplico una encuesta a 3025 alemanes por medio de una agencia de investigación de mercado, de la cual se selección una muestra de 2755 participantes. El objetivo del estudio fue investigar las intenciones de compra y factores influyentes de los consumidores respecto a empaques bioplásticos en comparación con los plásticos reciclables.</p> <p>El estudio demostró que hay una mayor intención de compra para las alternativas de empaques de origen biológico (biobasados) en algunos productos. Además, se resaltó que dentro de los factores que influyen en la intención de compra, está la precepción del consumidor, como es el caso de la precepción de aspectos ambientales y la conveniencia del producto, ya que a mayor precepción ecológica y de conveniencia, mayor es la intención de compra.</p> <p>Adicionalmente, se demostró que los consumidores piensan principalmente en las características al final de vida del empaque y su respectiva disposición, por lo cual, si el consumidor no percibe las diferencias respecto al medio ambiente y conveniencia, es probable que la</p>	(Macht & et al, 2023)

	<p>intención de compra de bioplásticos en comparación con empaques reciclados sea menor. Esto implica la importancia de crear conciencia sobre los beneficios ambientales y conciencia de los bioplásticos.</p> <p>Por otra parte, el estudio menciona la relevancia de promocionar los empaques bioplásticos a un grupo específico de consumidores, los cuales tienen un alto consumo ecológico (mayor conciencia ambiental).</p>	
Colombia	<p>Este estudio se aplicó a consumidores e industrias en la región del norte del departamento del Cauca y sur del Valle del Cauca con relación al uso de bioplásticos para empaques de alimento de consumo masivo, para lo cual se obtuvo una muestra de 177 participantes.</p> <p>De acuerdo con los resultados, se puede evidenciar que un gran porcentaje de consumidores está dispuesto a pagar más por empaques bioplásticos y empaques con impactos positivos para el medio ambiente, sin embargo, desde la perspectiva de las industrias, el uso de los bioplásticos no es rentable, ya que el mercado se mueve principalmente por el precio, y con la fabricación de Bioplásticos, se generarían pérdidas de rentabilidad por el uso de materiales más costoso, lo que implica en sobrecostos al consumidor y pérdidas de ventas.</p>	(Pinto & et al, 2023)
Reino Unido	<p>Se aplicó una encuesta en los diferentes países que conforman el Reino Unido: Inglaterra, Escocia y Gales, logrando obtener una muestra final de 1177 consumidores, de los cuales 597 eran mujeres y 575 era hombre, en un promedio de edad de 18 a 65 años.</p> <p>Mediante la metodología aplicada se logró determinar percepciones de los consumidores a nivel cuantitativo y cualitativo, en las cuales influyeron los factores sociodemográficos y variables ambientales, resaltando que las características de reciclabilidad y compostabilidad son de gran valor, además los consumidores mostraron diferentes percepciones y expectativas de sostenibilidad diferentes de acuerdo con los diferentes materiales de empaque.</p> <p>Por otro lado, se pudo evidenciar que los consumidores se preocupan más por la etapa final de vida útil del material que por la etapa inicial del ciclo de empaque plástico. Así mismo, se demostró, que el porcentaje de consumidores con un alto nivel de educación y visión ambiental valoran todas las características ambientales relevantes (alta circularidad, bajo impacto ambiental) de los empaques, ya que presentan una alta conciencia ambiental.</p> <p>Cabe resaltar que, se ha determinado que los consumidores podrían aceptar mayor facilidad los plásticos biodegradables, pero así mismo, demostraron ser más tolerantes con relación a que estos materiales no alcancen escenarios favorables al final de su vida útil, lo que implica que se afecte la disposición del consumidor a garantizar la eliminación, por lo tanto, por lo que es indispensable que los fabricantes de empaques brinden información clara y precisa al consumidor sobre las características, propiedades y métodos de eliminación adecuada.</p> <p>Se resalta que los participantes recibieron una compensación económica por la participación.</p>	(Nuojuá & et al, 2024)

Japón	<p>El estudio tuvo como objetivo comprender el conocimiento, percepción y preferencias de los consumidores respecto a los bioplásticos por medio de una encuesta en línea, que permitió determinar que había un desconocimiento respecto al término “bioplásticos” y así mismo, los bioplásticos tienen una menor aceptación en productos con contacto con la piel o aditivos alimentarios en comparación con otros productos.</p> <p>Así mismo, se relacionó factores positivos que influyen en la compra de productos bioplásticos como son las preocupaciones ambientales, conocimiento, preferencia local (productos nacionales), innovaciones para la adopción de hábitos ecológicos, actitud a los plásticos, conocimiento de políticas e ingresos.</p>	(Cao & et al, 2025)
-------	---	---------------------

Adicionalmente, es indispensable tener en cuenta que actualmente existe una creciente presión en la sociedad sobre los problemas ambientales, los cuales ha favorecido en la adopción de comportamientos más sostenibles por parte de los consumidores, como es el cambio de hábitos, comportamiento y patrones de consumo por alternativas sostenibles (Raggiotto & et al, 2024).

8.2. Economía Circular – Bioplásticos

La economía circular tiene como objetivo dejar de producir residuos a partir de la desvinculación de una economía lineal basada en el consumo de recursos finitos a una economía resiliente, respaldada bajo una transición hacia energías y materiales renovables, que aporta al medioambiente, personas y empresas, la cual se basa en tres principios: Eliminar los residuos y la contaminación, Circular los productos y materiales y Regenerar la naturaleza (Ellen Macarthur Foundation, s.f).

Teniendo en cuenta lo anterior, los empaques son uno de los mayores problemas al considerar una transición hacia una economía circular, ya que la mayoría de ellos están diseñados a partir de recursos no renovables y con características no reciclables, siguiendo un proceso lineal (extraer-fabricar-usar-desperdiciar), además, presentan otros desafíos que impactan en esta transición, como es el caso de la tecnología, costo y la participación de los consumidores finales (Raggiotto & et al, 2024).

Sin embargo, la transición hacia una economía circular es indispensable para abordar las problemáticas asociadas a la contaminación por plásticos, ya que los métodos convencionales de eliminación son considerados inadecuados para detener y abordar esta problemática, por lo cual se busca promover el uso sostenible de los recursos y reducir los residuos (Kumar & et al., 2024), por

esta razón, dentro de las alternativas más prometedoras, se encuentra la producción de bioplásticos a partir de los biorresiduos.

El ciclo de vida de los bioplásticos elaborados a partir de biorresiduos incluye las actividades agrícolas, producción agroindustrial, fabricación del empaque, inclusión del alimento, el consumo y la disposición final, en la cual se promueve la sostenibilidad y la valorización de los residuos (Ferreira & et al, 2025). Dentro de la circularidad del producto, es indispensable tener en cuenta factores asociados a barreras en el inicio del ciclo, donde puede asociarse impactos en la materia prima por el uso de agua para riego, fertilizante, pesticidas y el riesgo de deforestación para el cultivo de materias primas, además de la dificultad en su uso a gran escala y la baja participación en el mercado (Molina & Keszleri, 2022).

Es importante resaltar que además de los aspectos ambientales, los aspectos sociales y económicos, impulsaba la transición hacia una bioeconomía (Fletcher & et al, 2024). En la Figura 14, se relaciona el ciclo de vida del empaque de bioplástico bajo el modelo de economía circular.

Figura 14
Ciclo de vida del empaque bioplástico

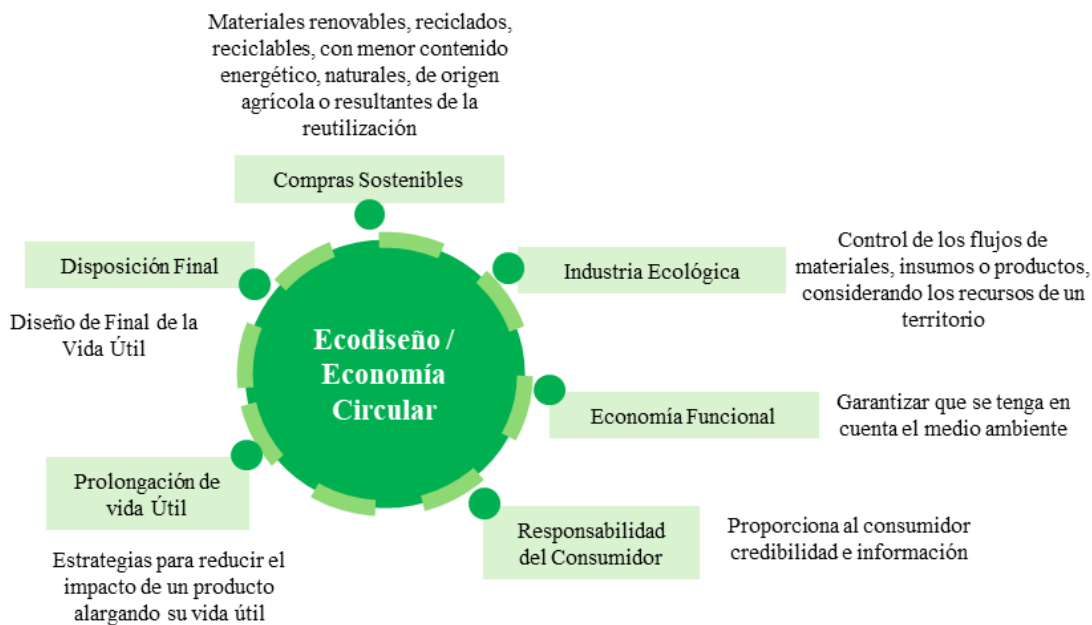


Nota. Figura adaptada de Parveen & et al, (2024).

8.2.1. Ecodiseño

Para comprender el concepto de ecodiseño, es importante entender en primera instancia el concepto de diseño de productos, el cual se refiere al conjunto de procesos o etapas que cumplen con requisitos funcionales, técnicos, de seguridad, legales, de mercado o de cualquier otro requerimiento que impacte al mismo. Con base a lo anterior, el ecodiseño se define como la integración de los aspectos ambientales en el diseño del producto, el cual tiene como propósito de mejorar el rendimiento ambiental a lo largo del ciclo de vida, así mismo, se ha asociado este término al concepto de diseño sostenible, diseño verde o diseño ambiental; dentro de las prioridades del ecodiseño, se tiene como objetivos utilizar materiales naturales que puedan reciclarse en ciclos de descomposición biológica, utilizar fuentes de energía renovable, evitar los procesos que generen residuos peligrosos, entre otros (Has, 2022). El ecodiseño desempeña un rol importante en la economía circular, así como se ilustra en la Figura 15.

Figura 15
Importancia del Ecodiseño en la Economía Circular

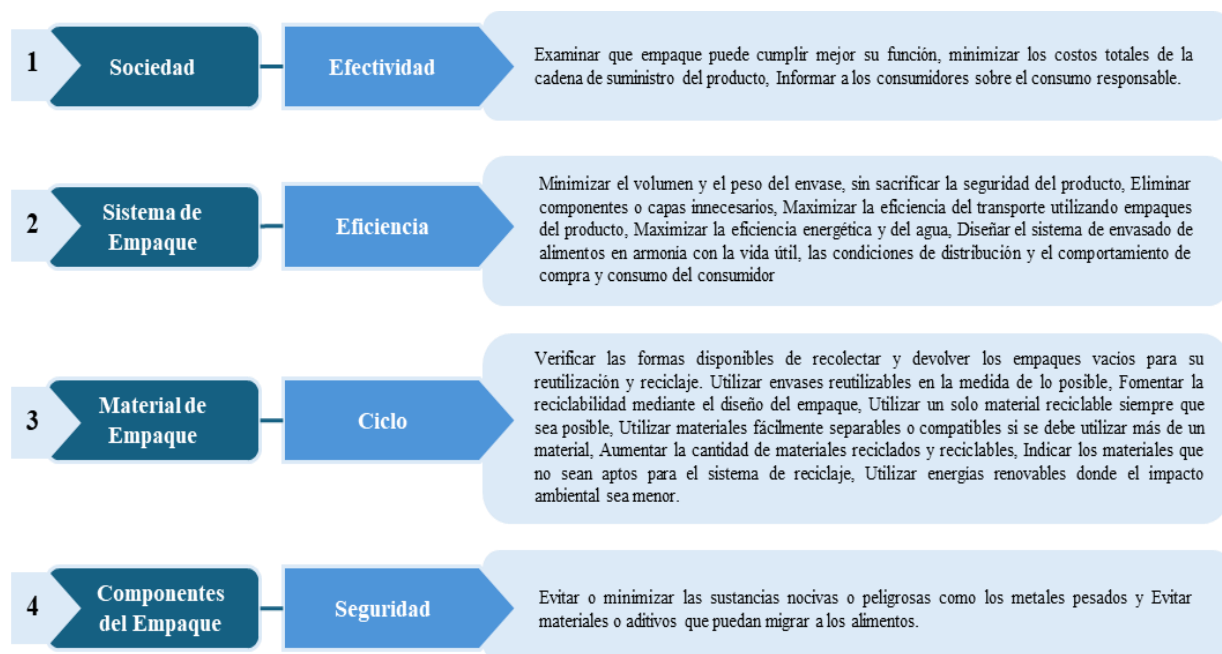


Nota. Información obtenida de Delchet (2020)

En la industria de los empaques de alimentos, el diseño es la etapa más importante para asegurar que se mejoren los aspectos o resultados ambientales, se garantice la calidad y seguridad alimentaria, la satisfacción del consumidor y se reduzcan costos, así mismo, mediante el ecodiseño se asegura la selección de materiales renovables, reciclados o reciclables. Para lograr ecodiseños innovadores es necesario que se incluya un enfoque producción limpia y control de la cadena de suministro, para ello es indispensable la selección de materiales, distribución y consumo de productos y la gestión de residuos, así mismo, dentro de una visión holística del ecodiseño se debe contemplar la viabilidad económica, procesamiento, distribución, comercialización, seguridad y la gestión de residuos, además, debe cumplir con los principios de un empaque sostenible (Park & al., 2014), así como se muestra en la Figura 16.

Figura 16

Principios del Ecodiseño para un Empaque de Alimentos

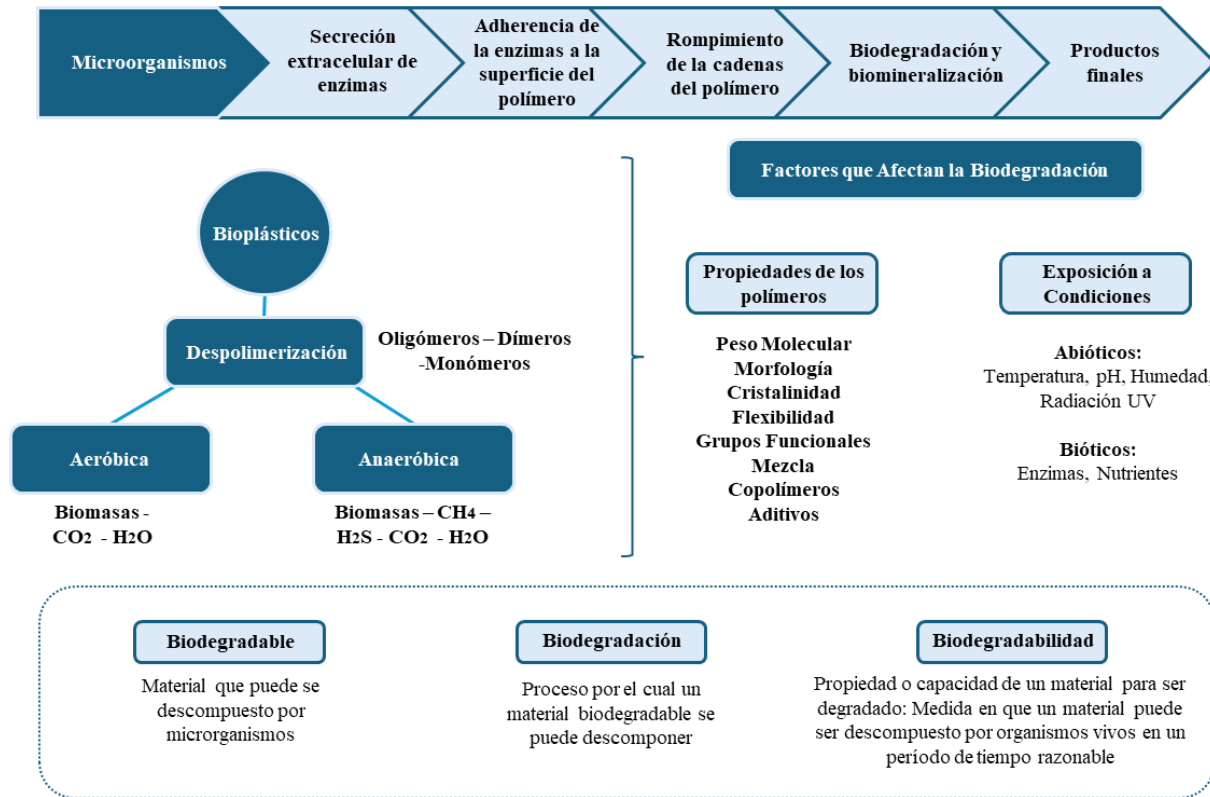


Nota. Información obtenida de Park & al. (2014)

8.2.2. Bioplástico Biodegradable

El término de biodegradable se define, de acuerdo con la norma europea EN 13432, como el mecanismo de degradación que se caracteriza por la descomposición de las sustancias químicas orgánicas por la acción de microorganismos en presencia de oxígeno, transformándolas en dióxido de carbono, agua, sales minerales y nueva biomasa, o en ausencia de oxígeno, en dióxido de carbono, metano, sales minerales y nueva biomasa, esto ocurre porque los microorganismos utilizan el carbono de la materia orgánica para extraer energía en sus procesos vitales, descomponiendo el material en moléculas más pequeñas, las cuales transporta al interior de sus células, oxidándolas aún más a dióxido de carbono y agua, liberando así energía (Ashter, Chapter 2: Overview of Biodegradable Polymers, 2016).

La biodegradación depende de la bioactividad, la temperatura y los niveles de humedad, así mismo, este método se puede evaluar mediante pruebas como: Determinación de la pérdida de peso con el tiempo, Medición de la evolución de dióxido de carbono, Medición de la demanda biológica de oxígeno y Análisis de las propiedades mecánicas (Rasheed & et al, 2024), para demostrar la biodegradabilidad del material, se debe alcanzar un nivel de biodegradación de al menos el 90% aproximadamente en 6 meses (Ashter, Chapter 2: Overview of Biodegradable Polymers, 2016). En la Figura 17 se muestra el proceso y factores que impactan en la biodegradación.

Figura 17*Proceso y Factores que Impactan en la Biodegradación*

Nota. Información obtenida de Rasheed & et al (2024)

8.2.3. Impacto del Consumidor en los Bioplásticos

La percepción de la sostenibilidad de un empaque se ha asociado a la contribución con la economía circular, ya que para los consumidores es indispensable enfatizar en la reutilización, reciclabilidad y biodegradabilidad del empaque (Nuojuá & et al, 2024), esto implica, que participación de los consumidores finales representan una mayor relevancia en la circularidad del material y no deben darse por sentado, ya que son los consumidores los que permiten que se produzca una circularidad real, extendido el ciclo de vida de los materiales, además, impactan en la conciencia colectiva relacionada a cuestiones ecológicas de como los consumidores perciben la reutilización de productos y materiales ya utilizados u obtenidos a partir de recursos y cómo estas

percepciones afectan sus procesos de toma de decisiones con respecto a los productos circulares (Raggiotto & et al, 2024).

Aunque los bioplásticos producidos a partir de biomasa se encuentre como una alternativa con potencial para la circularidad de los empaques, los consumidores expresan una preocupación respecto a la calidad y origen de la materias primas, siendo un aspecto más complejo en compras que involucraran productos en contacto con alimentos, por lo cual la percepción del consumidor tiende a afectar negativamente la percepción del valor del empaque, predominando el disgusto por parte del consumidor (Raggiotto & et al, 2024).

8.3. Sostenibilidad de los Empaques de Alimentos

La sostenibilidad se ha asociado a un concepto complejo en la producción de empaques, ya que es necesario evaluar el diseño y materiales utilizados, así mismo, se ha relacionado a la sostenibilidad de un empaque con la integración de materiales funcionales e innovadores que permitan mejorar la economía y la salud ambiental; inclusive en la actualidad, un empaque sostenible es considerado parte integral del sistema de suministro de los alimentos y un aspecto clave para la formulación de políticas y el desarrollo de una producción enfocada en un consumo sostenible de alimentos debido al impacto ambiental (Binu & et al., 2023). En la Figura 18, se ilustra los conceptos importantes asociado a un empaque sostenible.

Figura 18

Conceptos Asociados de un Empaque Sostenible



Nota. Figura adaptada de Binu & et al. (2023)

Es importante resaltar que los bioplásticos no pueden considerarse inmediatamente como una alternativa sostenible, ya que se debe evaluar aspectos relacionados con la obtención de la materia prima, proceso de fabricación, costos de producción (desafíos económicos) y la actitud de los consumidores (Herrmann & et al, 2022).

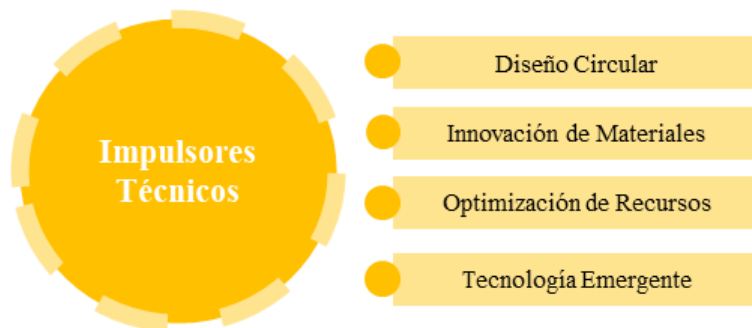
Con base a lo anterior y teniendo en cuenta el ciclo de vida de los bioplásticos, se ha identificado diversos desafíos técnicos, económicos, ambientales y sociales que involucran a diversos actores y que requieren atención estratégica, de modo que permita el uso de impulsores claves dentro de cada componente y así, se favorezca, la innovación, viabilidad económica, se promueva la sostenibilidad ambiental y se incluya los valores sociales (Parveen & et al, 2024).

8.3.1. Componente Técnico

Para la obtención de los empaques bioplásticos se requiere de diversas técnicas explicadas en el apartado 6.2. (Obtención de Bioplásticos a partir de Residuos Agroindustriales: Cáscara de Banano), sin embargo, para facilitar el diseño, desarrollo e integración de materiales y tecnologías sostenibles, se propone el uso de impulsores técnicos para la fabricación de los bioplásticos, como se muestra en la Figura 19, los cuales incluyen la optimización de recursos regionales, diseño circular, innovación, actualización técnica de la infraestructura de procesamiento y de disposición final, la integración de los actores en toda la cadena de valor y la optimización de los procesos de la cadena de suministro (Parveen & et al, 2024).

Figura 19

Impulsores que influyen en el componente técnico



Nota. Figura adaptada de Parveen & et al (2024)

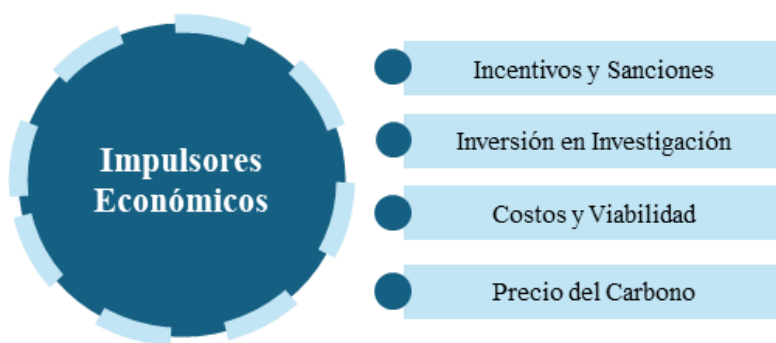
8.3.2. Componente Económico – Gobernanza

Como se mencionó en el apartado 6.3 (Costos Asociados a los Bioplásticos), el procesamiento y producción de biopolímeros para los empaques de alimentos ha supuesto costos más elevado en comparación con los plásticos convencionales debido a la limitada escalamiento de producción, inversión inicial, gastos en el procesamiento, demanda del mercado y competitividad, entre otros. Por esta razón, se ha establecido el uso de impulsores económicos ilustrados en la Figura 20, como lo son los incentivos, apoyos económicos, financiación, inversiones y el entorno de mercado que promueve la producción y consumo sostenible, además de la gestión al final de los bioplásticos, favoreciendo así un entorno positivo para el sector de los bioplásticos (Parveen & et al, 2024).

Por otra parte, como parte de las estrategias que promueven la sostenibilidad, se incluye la formulación de políticas y regulaciones con relación al comercio, que favorezca y priorice los productos bioplásticos y demás alternativas sostenibles, fortaleciendo así, la presencia en el mercado y la generación de oportunidades (Parveen & et al, 2024).

Figura 20

Impulsores que influyen en la Sostenibilidad Económica y Gobernanza



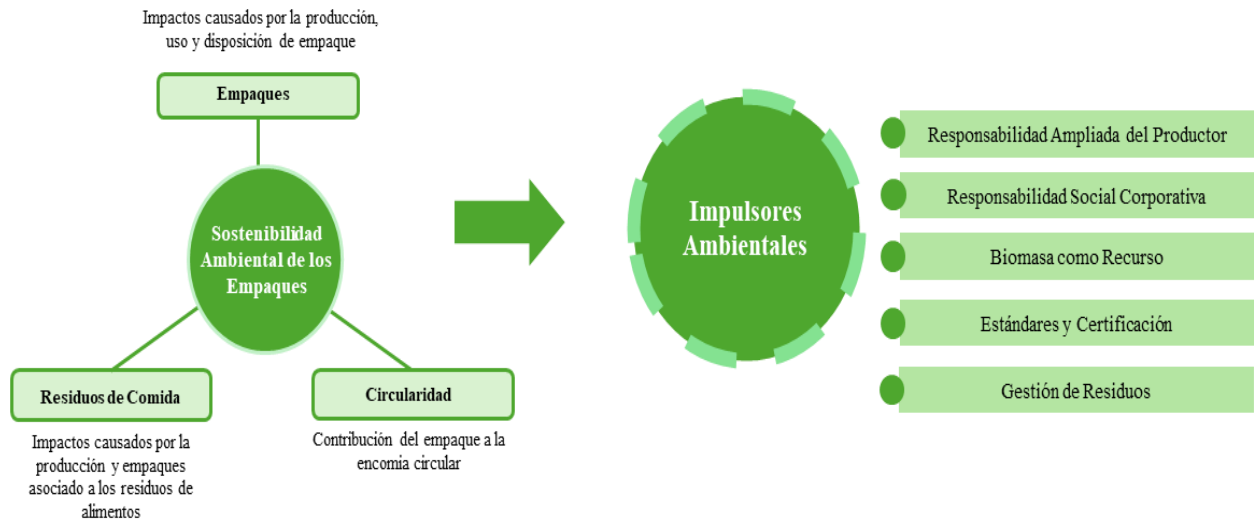
Nota. Figura adaptada de Parveen & et al (2024)

8.3.3. Componente Ambiental

Actualmente se han asociado impactos ambientales negativos por parte de los empaques de alimentos, ya que la mayoría proviene de recursos no renovables, no son biodegradables, presentan un bajo nivel de reciclabilidad y usan grandes cantidades de recursos naturales en su producción como el agua, carbón y gas natural, además, se asocia una sobreproducción que refleja un exceso de empaques; para el caso de los empaques plásticos, se ha evidenciado un aumento en la cantidad residuos, lo que ha impactado en la circularidad de los empaques (Binu & et al., 2023).

Sin embargo, para los empaques biodegradables se ha asociado una disminución en el consumo de combustibles fósiles, una reducción en la contaminación durante la producción y eliminación, ya que muchos provienen de recursos naturales renovables, que pueden descomponerse de forma natural bajo determinadas condiciones (para que exista una biodegradación eficaz, se de tener condiciones específicas de humedad, temperatura y actividad microbiana), adicionalmente, se ha asociado a la producción de empaques biodegradables un requerimiento menor de energía, que implica una menor producción de emisiones de gases efecto invernadero (Nahar & et al., 2025).

Con el fin de fortalecer el componente ambiental de la sostenibilidad del empaque, se relaciona impulsores, como se muestra en el Figura 21, asociados al establecimiento de directrices para el abastecimiento a partir de biorresiduos, regulaciones sobre el uso de aditivos tóxicos o nocivos, certificaciones de biodegradabilidad o reciclabilidad (cumplan con los estándares), políticas de compras sostenibles, la integración de prácticas sostenibles en la gestión de residuos, fortalecimiento de la responsabilidad extendida del productor, la responsabilidad social empresarial, estrategias de marketing éticas y prácticas de comunicación eficaces (Parveen & et al, 2024).

Figura 21*Impulsores que influyen en la Sostenibilidad Ambiental*

Nota. Información obtenida de Binu & et al. (2023). Figura de Impulsores Ambientales adaptada de Parveen & et al, (2024)

8.3.4. Componente Social

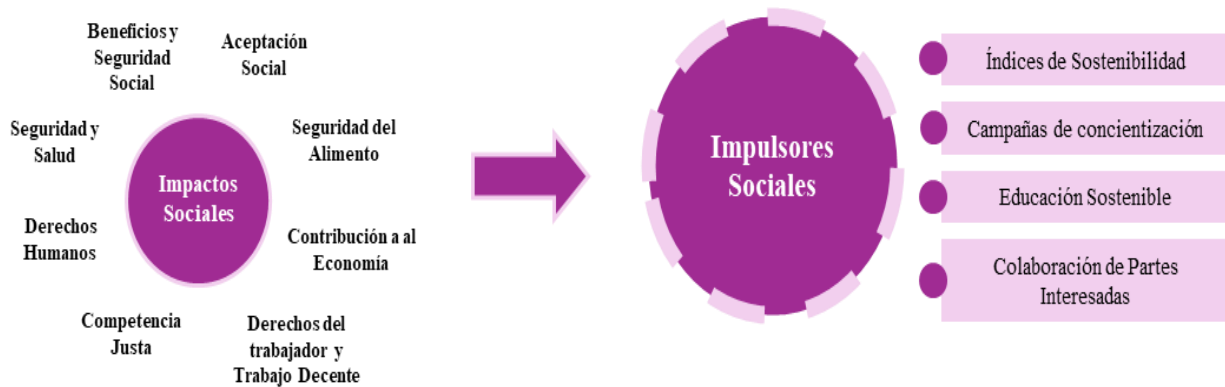
El componente social en la sostenibilidad de los bioplásticos se relaciona con la interacción de los diferentes partes interesadas (gobierno, trabajadores, comunidad, sociedad, consumidores y actores en toda la cadena de valor) en la evaluación de la innovación sostenible del empaque, en la cual se debe incluir aspectos con impactos directos e indirectos, como los son los derechos humanos, condiciones laborales, creación de empleo, seguridad y salud, equidad, responsabilidad social, participación en la sociedad, acceso a las necesidades y recursos básicos, entre otros; por lo cual, teniendo en cuenta lo anterior, es necesario identificar las partes interesadas claves, evaluar el interés y poder de cada parte interesada en el desarrollo de los bioplásticos (Imbert & Falcone, 2020).

Como parte de los impulsores que favorecen la sostenibilidad, como se muestra en la Figura 22, se incluye el conocimiento, actitudes y conciencia del consumidor con relación al consumo y disposición de los bioplásticos, favoreciendo la comunicación eficaz entre la empresa y el consumidor mediante etiquetas, sensibilización, educación sostenible, fomento de la colaboración

y participación comunitaria, logrando que se fomente la demanda de productos y empaques ecológicos (Parveen & et al, 2024).

Figura 22

Impulsores que influyen en la Sostenibilidad Social



Nota. Información obtenida de Imbert & Falcone, (2020). Figura de Impulsores Sociales adaptada de Parveen & et al, (2024)

8.3.5. Relación con los ODS

En Colombia se cuenta con documentos claves, como lo son la Estrategia Nacional de Economía Circular y el Plan Nacional para la Gestión Sostenible de Plásticos de un Solo Uso, que permiten fortalecer la implementación de alternativas sostenibles en la cadena de valor de materiales plásticos y así mismo, a nivel industrial, fomentar el cumplimiento de algunos de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

8.3.5.1. Salud y Bienestar (ODS 3)

Los bioplásticos derivados de materias primas renovables permiten contribuir con la reducción de la acumulación de plástico en el medio ambiente, lo que limita la exposición a sustancias nocivas que pueden afectar la salud humana por la acumulación en el ambiente y la descomposición en microplásticos. Así mismo, al dejar de depender del combustible fósil, se

reduce la cantidad de emisión de gases efecto invernadero al ambiente, los cuales afectan la calidad del aire y repercuten en la salud.

Con base a lo anterior, se puede establecer que, mediante la transición a materiales bioplásticos biodegradables, se contribuye al cumplimiento de la meta propuesta en el ODS, la cual busca reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo.

8.3.5.2. Producción y Consumo Responsable (ODS 12)

A partir de la innovación en los empaques para los alimentos obtenidos de biomasa residual, se promueve la economía circular y su principio de regenerar la naturaleza, ya que fomenta el uso de los recursos renovables de forma sostenible, la reducción de residuos no biodegradables y la contaminación. Además, mediante la producción y consumo responsable, se fortalece la responsabilidad extendida del productor y las practicas sostenibles por parte del consumidor.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede establecer que, mediante la transición a materiales bioplásticos y biodegradables, se contribuye al cumplimiento de diversas metas propuestas en el ODS 12, como es el caso de lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales, reducir a la mitad el desperdicio de alimentos per cápita mundial en la venta al por menor y a nivel de los consumidores y reducir las pérdidas de alimentos en las cadenas de producción y suministro, incluidas las pérdidas posteriores a la cosecha.

8.3.5.2. Acción por el Clima (ODS 13)

La producción de bioplástico requiere de recursos renovables y de menor consumo energético, por lo cual se emite menos gases de efecto invernadero en comparación con los plásticos convencionales, así mismo, para los bioplásticos biodegradables, reduce la acumulación de residuos en el medio ambiente, disminuyendo la contaminación y ayudando a mantener ecosistemas saludables que son esenciales para la regulación del clima.

A partir de lo anterior, se puede establecer que con los bioplásticos biodegradables se contribuye al cumplimiento de la meta propuesta en el ODS 13, la cual mejorar la educación, la

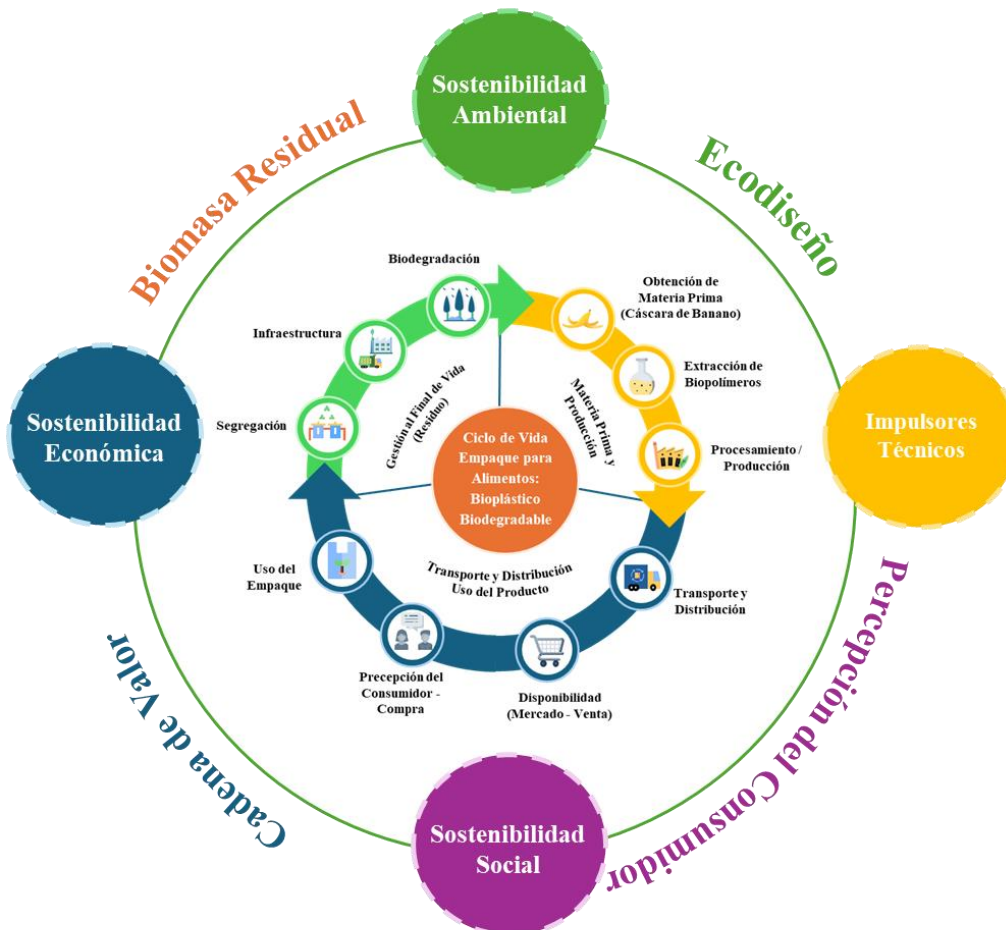
sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.

8.3.6. Integración de un Empaque Sostenible

En la Figura 23, se puede evidenciar la integración de la sostenibilidad de los empaques de alimentos obtenidos a partir de la cáscara del banano con su ciclo de vida, en la cual existe factores claves para asegurar una transición hacia una económica circular, en la cual la biomasa residual, el ecodiseño, la percepción del consumidor y la cadena de valor son indispensable para asegurar la aceptación y participación del bioplástico biodegradable en el mercado. Así mismo, refleja la importancia que tiene un modelo circular en los pilares de la sostenibilidad, ya no solo contribuye con la reducción de impactos ambientales, sino que adicionalmente influye en factores económicos y sociales, como es fortalecimiento del sector agroindustrial, aseguramiento de buenas prácticas sostenibles en la cada productiva, relacionamiento de agricultores, empresarios y gobierno para contribuir al cumplimiento del Plan Nacional para la Gestión Sostenible de los Plásticos de Un Solo Uso y cumplimiento de la Ley 2232 de 2022.

Figura 23

Sostenibilidad de los Empaques Bioplásticos obtenidos a partir de los Biorresiduos



Mediante la utilización de la biomasa residual, se puede obtener la fabricación de empaques con un ecodiseño que aseguren la contención, protección / preservación, comunicación y conveniencia para el alimento, cumpliendo con los requisitos sanitarios y la reducción de impactos ambiental al utilizar materias primas renovables, que permiten reducir las emisiones de gases efecto invernadero que contribuyen con el cambio climático, disminuir los residuos no biodegradables que ingresan a los ecosistemas y a fomentar la colaboración de las partes interesadas en toda la cadena de valor.

Por último, se puede concluir, que el impacto de la transición a un empaque sostenible contribuye con el cumplimiento de las metas trazadas en algunos de los objetivos de desarrollo

sostenible, como lo es el ODS 3, 12 y 13, los cuales buscan minimizar los impactos a la salud, económicos y medio ambiente generado por la contaminación de plásticos de un solo uso.

9. Conclusiones

De acuerdo con el desarrollo de la presente monografía se concluye que:

En Colombia se cuenta con normatividad que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos plásticos que están en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano, sin embargo, no se cuenta con una reglamentación técnica específica para los empaques bioplásticos. Por otra parte, desde la normatividad ambiental del país, se impulsa y se refuerza la importancia de innovar en la industria de empaques a partir de alternativas más sostenibles, como es el caso de empaques biodegradables en condiciones ambientales naturales existentes o que se puedan generar, valorizando los residuos orgánicos de la agricultura.

Desde el análisis técnico, se identificó información asociada con tecnologías emergentes para la obtención de bioplásticos y la formación de películas de empaque para alimentos. No obstante, el rendimiento en la extracción y las propiedades de las películas sólo se han evaluado a escala de laboratorio, lo que impide determinar su viabilidad a nivel industrial, además que, al contar con diferentes tipos de biomasa, se dificulta la estandarización de los procesos industriales. Para el análisis de costos, no se encontró información específica sobre la rentabilidad y viabilidad económica de los bioplásticos derivados de biomasa residual, lo cual influye en la percepción de estas innovaciones como tecnologías de alto costo.

Los empaques de alimentos bioplásticos derivados de biomasa residual son una solución a la sustitución de materias primas no renovables que impactan en un modelo de economía circular e influye en la sostenibilidad, ya que se concibe como un ecodiseño que asegura el cumplimiento de los requisitos sanitarios, la reducción de impactos ambiental al utilizar materias primas renovables y la colaboración de las partes interesadas en toda la cadena de valor.

Por último, se puede concluir que las cáscaras de banano pueden emplearse como materia prima para la fabricación de películas biodegradables destinadas al empaque de alimentos, lo cual representa una alternativa viable frente a los plásticos convencionales producidos en el país, ya que Colombia, como país productor y exportador de bananos, ha visto un aumento en la generación de subproductos y residuos derivados del desarrollo agroindustrial, y estos residuos pueden ser utilizados en la producción de bioplásticos.

10. Recomendaciones

La industria de los biopolímeros es muy dinámica y avanza a pasos agigantados, es importante realizar una revisión bibliográfica continua sobre las tecnologías e impactos de los aditivos en la formulación de los bioplásticos de acuerdo con los principios del ecodiseño, así como realizar un diseño experimental que permita analizar las diferentes propiedades de las películas biodegradables en contacto con el alimento y realizar pruebas sobre la biodegradabilidad el material.

Se recomienda realizar un estudio con mayor cobertura sobre la percepción del consumidor en Colombia sobre los bioplásticos y el uso de biomasa residual como materia prima para la obtención de un empaque de alimento. Adicionalmente, se sugiere realizar un detalle a profundidad sobre el etiquetado y los indicadores de sostenibilidad que impactan en la producción del bioplástico para los empaques de alimentos teniendo en cuenta la normatividad o guías existentes a nivel nacional e internacional.

Referencias

- Abang, S., & et al. (2023). Bioplastic classifications and innovations in antibacterial, antifungal, and antioxidant applications. *Bioresources and Bioproducts* (8), 361 - 387.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobab.2023.06.005>
- Abdullah, & et al. (2022). Biopolymer-based functional films for packaging applications: A review. *Nutrition and Food Science Technology* (9).
doi:<https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1000116>
- Abolore, R., & et al. (2024). Green and sustainable pretreatment methods for cellulose extraction from lignocellulosic biomass and its applications: A review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications* (7). doi:<https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100396>
- Alcivar, M., & et al. (2022). Development of a Bioplastic from Banana Peel. *Chemical, Food, and Environmental Engineering*, 42 (3). doi:<https://doi.org/10.15446/ing.investig.92768>
- Ali, S., & et al. (Septiembre de 2022). Biowastes for biodegradable bioplastics production and end-of-life scenarios in circular bioeconomy and biorefinery concept. *Bioresource Technology* (363). doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127869>
- Ali, Z., & et al. (2024). Organic waste-to-bioplastics: Conversion with eco-friendly technologies and approaches for sustainable environment. *Environmental Research* (244).
doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117949>
- ANDI. (25 de Noviembre de 2022). *Memoria Justificada*.
<https://www.andi.com.co/Uploads/MEMORA%20JUSTIFICATIVA.pdf>
- ANDI. (24 de Agosto de 2023). *Abastecer a Colombia y al mundo: reflexiones para el IV Congreso Agroindustrial de la ANDI*. <https://www.andi.com.co/Home/Noticia/17509-abastecer-a-colombia-y-al-mundo-reflexi>
- Arroyo, L., & et al. (2025). Plasticizers improved flexibility, homogeneity, and color stability in pitahaya (*Hylocereus* sp.) peel-based biopolymer films aimed at food packaging. *Industrial Crops & Products* (227). doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.120757>
- Ashter, S. (2016). Chapter 1: Introduction. En *Introduction to Bioplastics Engineering* (pp. 1 - 17). Elsevier.
- Ashter, S. (2016). Chapter 2: Overview of Biodegradable Polymers. *Introduction to Bioplastics Engineering* (pp. 19 - 30). Elsevier.

- Ashter, S. (2016). Chapter 5: Types of Biodegradable Polymers. En *Introduction to Bioplastics Engineering* (pp. 81 - 151). Elsevier.
- Ashter, S. (2016). Chapter 6: Additives and Modifiers for Biopolymer. En *Introduction to Bioplastics Engineering* (pp. 153 - 178). Elsevier.
- Ashter, S. (2016). Chapter 9: Commercial Applications of Bioplastics. En *Introduction to Bioplastics Engineering* (pp. 227 - 249). Elsevier.
- Asociación Nacional de Comercio Exterior . (s.f). *Informe de exportaciones colombianas de frutas Enero a Junio 2024*. <https://analdex.org/2024/08/30/informe-de-exportaciones-colombianas-de-frutas-enero-a-junio-2024/>
- Awogbemi, O., & Kallon, D. (2022). Pretreatment techniques for agricultural waste. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* (6), 1 - 9.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100229>
- Bartolucci, L., & et al. (2023). Sustainable Valorization of Bioplastic Waste: A Review on Effective Recycling Routes for the Most Widely Used Biopolymers. *Molecular Sciences*, 24.
- Berk, Z. (2018). Chapter 27: Food Packaging. En Z. Berk, & 3th (Ed.), *Food Process Engineering and Technology* (pp. 625 - 641). Elsevier.
- Binu, P., & et al. (2023). Chapter 15: Marketing, Environmental, and Future Perspectives of Natural Materials in Packaging. En J. Parameswaranpillai, & et al, *Natural Materials for Food Packaging Application* (pp. 333 - 351). John Wiley & Sons.
- Birania, S., & et al. (2022). Advance in development of biodegradable food packaging material form agrowaste agricultural and agro-industry waste. *Food Process Engineering*, 45 (1).
doi:<https://doi.org/10.1111/jfpe.13930>
- Bonten, C. (2019). Chapter 1: Introduction. En *Plastics Technology - Introduction and Fundamentals* (pp. 1-11). Munich: Hanser Publishers.
- Brot, S., & Yadav, V. (2024). Chapter 17: Social and Economic Impacts of Plastics in the Environment. En V. Yadav, & S. Shrotriya, *Waste-to-Wealth* (pp. 251 - 271). Taylor & Francis.
- Bruder, U. (2019). Chapter 1: Polymers and Plastics. En *User's Guide to Plastic* (pp.1 - 6). Hanser Publishers.

- Cao, Y., & et al. (2025). Consumers' knowledge, perceptions, and preferences regarding bioplastics: Evidence from a survey in Japan. *Sustainable Production and Consumption* (55). doi:<https://doi.org/10.1016/j.spc.2025.02.003>
- Castro, D., & et al. (2023). Valorization of Honduran Agro-Food Waste to Produce Bioplastics. *Polymers*, 15 (2625). doi:<https://doi.org/10.3390/polym15122625>
- CEN. (2000). *EN 13432:2000 - Packaging - Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation - Test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging.*
- CEN. (2003). *EN 14046:2003 Packaging - Evaluation of the ultimate aerobic biodegradability of packaging materials under controlled composting conditions - Method by analysis of released carbon dioxide.*
- CEN. (2016). *EN 16848:2016 Bio-based products - Requirements for Business to Business communication of characteristics using a Data Sheet.*
- CEN. (2017). *EN 16935:2017 Bio-based products - Requirements for Business-to-Consumer communication and claims.*
- CEN. (2019). *EN 17228:2019 Plastics - Bio-based polymers, plastics, and plastics products - Terminology, characteristics and communication.*
- Chejne, F., & al., e. (2024). Chapter 1: Applications of Biomass-Derived Materials for Bioproducts and Bioenergy. En *Applications of Biomass-Derived Materials for Bioproducts and Bioenergy* (pp. 1 - 11). Hanser Publishers.
- Comisión Europea. (14 de Enero de 2011). *Reglamento (UE) No. 10 /2011.*
<https://www.boe.es/doue/2011/012/L00001-00089.pdf>
- Comisión Europea. (15 de Septiembre de 2022). *Reglamento (UE) 2022/1616.*
<https://www.boe.es/doue/2022/243/L00003-00046.pdf>
- Congreso de Colombia. (19 de Julio de 2019). *Ley No 1973.*
<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/ley-1973-2019.pdf>
- Congreso de Colombia. (2022). *Ley 2232.*
https://www.cancilleria.gov.co/sites/default/files/Normograma/docs/ley_2232_2022.htm#:~:text=Ministerio%20de%20Relaciones%20Exteriores%20%2D%20Normograma,2232%20de%202022%20Congreso%20Nacional%5D&text=Por%20la%20cual%20se%20establecen,y%20se%20dictan%20ot

- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (21 de Noviembre de 2016). *CONPES 3874: Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Economicos/3874.pdf>
- Delchet, K. (2020). Chapter 2: The Circular Economy and Lifecycle. En *Circular Economy - From Waste Reduction to Value Creation* (pp. 13 - 27). John Wiley & Sons.
- Ecoplas. (Septiembre de 2023). *Guía Los plásticos en la Economía Circular*. <https://ecoplas.org.ar/site2020/wp-content/uploads/2023/08/Guia-Los-Plasticos-en-la-Economia-Circular-ECOPLAS-2023-1.pdf>
- Ellen Macarthur Foundation. (16 de febrero de 2022). *Regenerar la naturaleza*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/regenerar-la-naturaleza>
- Ellen Macarthur Foundation. (s.f). *¿Qué es una economía circular?* <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/temas/presentacion-economia-circular/vision-general>
- EMBRAPA. (9 de abril de 2024). *Simple method turns banana peels into bioplastic films*. <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/88182302/simple-method-turns-banana-peels-into-bioplastic-films>
- EuRIC AISBL. (Junio de 2020). *Plastic Recycling Factsheet*. https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/euric_-_plastic_recycling_fact_sheet.pdf
- European Bioplastics. (2022). *What are bioplastics? Material types, terminology, and labels – an introduction*. https://docs.european-bioplastics.org/publications/fs/EuBP_FS_What_are_bioplastics.pdf
- European Bioplastics. (2023). *Frequently asked questiones on bioplastics*. https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_FAQ_on_bioplastics.pdf
- European Parliament. (Octubre de 2020). *The environmental impacts of plastics and micro-plastics use, waste and pollution: EU and national measures*. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/658279/IPOL_STU\(2020\)658279_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/658279/IPOL_STU(2020)658279_EN.pdf)
- FAO. (s.f). *Babano*. <https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities-overview/bananas-tropical-fruits/bananas/es>

- Fellows, P. (2022). Chapter 23: Packaging. En *Food Processing Technology - Principles and Practice* (pp. 633 - 709). Elsevier.
- Ferreira, A., & et al. (2025). Valuing agro-industrial waste in the development of sustainable food packaging based on the system of a circular bioeconomy: A review. *Cleaner Waste Systems*, 11. doi:<https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100275>
- Findrik, E., & Meixner, O. (2023). Drivers and barriers for consumers purchasing bioplastics – A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production* (410). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137311>
- Fletcher, C., & et al. (2024). Implications of consumer orientation towards environmental sustainability on the uptake of bio-based and biodegradable plastics. *Current Research in Environmental Sustainability* (7). doi:<https://doi.org/10.1016/j.crsust.2024.100246>
- Ghanta, C., & et al. (2025). Ecologically sustainable biodegradable polymers fabricated from banana peel pectin reinforced with silver zeolite nanoparticles (Ag/zeolite NPs). *International Journal of Biological Macromolecules* (300). doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.140209>
- GIZ. (28 de Junio de 2021). *Costo de producción en el sector bananero: Estudio de costos de producción en el sector bananero de Colombia*. https://www.sustainable-supply-chains.org/fileadmin/user_upload/Costos-de-produccion-Colombia-ES.pdf
- González, R. (8 de Octubre de 2023). *¿Qué es la agroindustria en Colombia? – Descubre su Definición y Contribución Económica*. <https://agroenlace.co/que-es-la-agroindustria-en-colombia/#:~:text=La%20Agroindustria%20en%20Colombia%20se,de%20productos%20agr%C3%ADcolas%20y%20ganaderos>.
- Gupta, V., & et al. (2022). A Comprehensive Review of Biodegradable Polymer-Based. *Materials*, 15. doi:<https://doi.org/10.3390/ma15175899>
- Has, M. (2022). Chapter 6: Eco-Design. En *Sustainable Products - Life Cycle Assessment, Risk Management, Supply Chains, Eco-Design* (pp. 97 - 118). De Gruyter.
- Herrmann, C., & et al. (2022). Consumers' sustainability-related perception of and willingness-to-pay for food packaging alternatives. *Resources, Conservation & Recycling* (181). doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106219>
- Hoque, M., & Janaswamy, S. (2023). Biodegradable packaging films from banana peel fiber. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101400>

- Hussain, S., & et al. (2024). Advancements in sustainable food packaging: from eco-friendly materials to innovative technologies. *Sustainable Food Technology* (2), 1297-1364. doi:<https://doi.org/10.1039/D4FB00084F>
- ICONTEC. (2001). *NTC 5023:2001*. Materiales, compuestos y artículos plásticos para uso en contacto con alimentos y bebidas.
- ICONTEC. (2014). *NTC 5991:2014*. Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación. Programa de ensayo y criterios de evaluación para la aceptación final del envase o embalaje.
- ICONTEC. (2015). *NTC 6130:2015*. Envase, empaque y embalaje de plástico polimérico y medio ambiente. Terminología.
- ICONTEC. (2018 a). *NTC 22002-4:2018*. Programas prerequisite para inocuidad alimentaria.
- ICONTEC. (2018 b). *NTC 6302-1:2018*. Envases, empaques y embalajes. Vocabulario. Parte 1: Términos generales.
- ICONTEC. (2018 c). *NTC 6302-2:2018*. Envases, empaques y embalajes. Vocabulario. Parte 2: Términos sobre envases, empaques, embalajes y medio ambiente.
- ICONTEC. (2019). *NTC 6334:2019*. Determinación de la biodegradación aeróbica de materiales plásticos en el suelo.
- ICONTEC. (2019). *NTC 6335:2019*. Plásticos. Evaluación de la compostabilidad. Programa de ensayo y especificaciones.
- ICONTEC. (2022 a). *NTC 6525-1:2022 Materiales y artículos en contacto con alimentos. Sustancias plásticas sometidas a limitaciones. Parte 1: Guía de métodos de ensayo para la migración específica de sustancias procedentes de materiales plásticos a los alimentos y simulantes.*
- ICONTEC. (2022 b). *NTC-ISO 17088:2022 Plásticos. Reciclaje orgánico. Especificaciones para plásticos compostables.*
- ICONTEC. (2022 c). *NTC-ISO 16620-1: Plástico. Contenido biobasado. Parte 1: Principios.*
- ICONTEC. (2022 d). *GTC 376:2022 Productos biobasados. Guía de normas y declaraciones.*
- ICONTEC. (2022 e). *GTC 377:2022 Productos biobasados. Ejemplos de elaboración de informes sobre los criterios de sostenibilidad.*
- ICONTEC. (2022 f). *GTC 378:2022 Productos biobasados. Directrices para el inventario del ciclo de vida (icv) para la fase final de su vida útil.*

- ICONTEC. (2022 g). *NTC 6639:2022 Productos biobasados. Vocabulario.*
- ICONTEC. (2022 h). *NTC 6640:2022 Productos biobasados. Requisitos para la comunicación de características de empresa a empresa mediante una ficha técnica.*
- ICONTEC. (2022 i). *NTC 6641:2022 Productos biobasados. Requisitos para la comunicación y las afirmaciones entre empresa y consumidor.*
- ICONTEC. (2022 j). *NTC 6642:2022 Productos biobasados. Análisis del ciclo de vida.*
- ICONTEC. (2022 k). *NTC 6643:2022 Productos biobasados. Criterios de sostenibilidad.*
- ICONTEC. (2022 l). *NTC-ISO 16620-1:2022 Plástico. Contenido biobasado. Parte 1: Principios generales.*
- ICONTEC. (2022 m). *NTC-ISO 22526-1:2022 Plásticos. Huella de carbono y medioambiental de los plásticos biobasados. Parte 1: Principios generales.*
- Imbert, E., & Falcone, P. (2020). Chapter 6: Social Assessment. En *Transition towards a Sustainable Biobased Economy* (pp. 166 - 191). Royal Society of Chemistry (RSC).
- ISO. (2013). *ISO/TS 22002-4:2013 Prerequisite programmes on food safety — Part 4: Food packaging manufacturing.*
- ISO. (2015 a). *ISO 16620-1:2015 Plastics — Biobased content — Part 1: General principles.*
- ISO. (2015 b). *ISO 16620-3:2015 Plastics — Biobased content — Part 3: Determination of biobased synthetic polymer content.*
- ISO. (2017). *ISO 16620-5:2017 Plastics — Biobased content — Part 5: Declaration of biobased carbon content, biobased synthetic polymer content and biobased mass content.*
- ISO. (2019). *ISO 16620-2:2019 Plastics — Biobased content — Part 2: Determination of biobased carbon content.*
- ISO. (2020 a). *ISO 22526-1:2020 Plastics — Carbon and environmental footprint of biobased plastics — Part 1: General principles.*
- ISO. (2020 b). *ISO 22526-2:2020 Plastics — Carbon and environmental footprint of biobased plastics — Part 2: Material carbon footprint, amount (mass) of CO₂ removed from the air and incorporated into polymer molecule.*
- ISO. (2020 c). *ISO 22526-3:2020 Plastics — Carbon and environmental footprint of biobased plastics — Part 3: Process carbon footprint, requirements and guidelines for quantification.*

- ISO. (2021). *ISO 17088:2021 Plastics — Organic recycling — Specifications for compostable plastics*.
- ISO. (2023). *ISO 22526-4:2023 Plastics — Carbon and environmental footprint of biobased plastics — Part 4: Environmental (total) footprint (Life cycle assessment)*.
- ISO. (2024). *ISO 16620-4:2024 Plastics — Biobased content — Part 4: Determination of biobased mass content*.
- Issara, U., & et al. (2024). Chapter 1: Banana Peels: identification, quantification, and characterization. En M. Jeguirim, & B. Khiari, *Banana Peels Valorization Sustainable and Eco-friendly Applications*. Academic Press.
- Jamwal, V., & et al. (10 de Agosto de 2023). Valorization of agro-industrial waste in composite films for sustainable packaging applications. *Materials Today: Proceedings* (113), 94-100. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.08.042>
- Kalita, P., & et al. (2025). Improving the hydrophobic nature of biopolymer based edible packaging film: A review. *Food Chemistry*, (479). doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143793>
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2014). Capítulo 7. Polímeros: estructura, propiedades generales y aplicaciones. En *Manufactura, ingeniería y tecnología: tecnología de materiales* (pp. 169 - 187). Pearson Educación.
- Karthikeyan, P., & et al. (2024). A comparative analysis of pre-treatment technologies for enhanced biogas production from anaerobic digestion of lignocellulosic waste. *Industrial Crops & Products* (215), 1-17. doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118591>
- Karthikeyan, P., & et al. (2024). A comparative analysis of pre-treatment technologies for enhanced biogas production from anaerobic digestion of lignocellulosic waste. *Industrial Crops & Products* (215). doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118591>
- Khandeparkar, A., & et al. (2024). Eco-friendly innovations in food packaging: A sustainable revolution. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* (39). doi:<https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101579>
- Khosravi, K., & Yazdian, F. (2022). Chapter 10: Downstream Processing Strategies for Synthesis of Biodegradable Polymers. En A. Tripathi, & et al., *Biodegradable Polymer-Based Food Packaging* (pp. 197 - 206). Springer Nature.

- Klaia, N., & et al. (2021). Chapter 18: Agro-Industrial Waste Valorization for Biopolymer Production and Life-Cycle Assessment Toward Circular Bioeconomy. En A. Pandey, & et al., *Biomass, Biofuels, Biochemicals - Circular Bioeconomy - Current Developments and Future Outlook* (pp. 515 - 555). Elsevier.
- Klooster, R., & et al. (2019). Chapter 17: Costs of Packaging, Costs in Relation to the Chain, and Costs of Failures. En *Packaging Design Decisions - A Technical Guide* (pp. 367 - 383). DEStech Publications.
- Klooster, R., & et al. (2019). Chapter 8: Plastics. En *Packaging Design Decisions - A Technical Guide* (pp. 183-237). Pennsylvania: DEStech Publications.
- Kong, U., Mohammad, N., & Seng, G. (2023). The Potential Applications of Reinforced Bioplastics in Various Industries: A Review. *Polymers*, 15(2399).
doi:<https://doi.org/10.3390/polym15102399>
- Krbeckova, V., & Plachá, D. (2024). Raw biowaste conversion to high-value compounds for food, cosmetic and pharmaceutical industries. *Environmental Research* (263).
doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.120134>
- Kumar, D., & et al. (Noviembre de 2024). Ecofriendly bioplastics from biowaste: Antimicrobial and functional enhancements for sustainable packaging. *European Polymer Journal* (221). doi:<https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2024.113557>
- Kumar, S., & et al. (Octubre de 2024). Combating micro/nano plastic pollution with bioplastic: Sustainable food packaging, challenges, and future perspectives. *Environmental Pollution* (363). doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125077>
- Kumari, S., & et al. (2025). Banana waste valorisation and the development of biodegradable biofilms. *Waste Management Bulletin* (3). doi:<https://doi.org/10.1016/j.wmb.2025.100213>
- Lackner, M., Mukherjee, A., & Koller, M. (2023). What Are “Bioplastics”? Defining Renewability, Biosynthesis, Biodegradability, and Biocompatibility. *Polymers*, 15 (24).
doi:<https://doi.org/10.3390/polym15244695>
- Lakkimsetty, N., & et al. (2025). Banana Peel and Beyond: Transforming Agricultural Waste into Eco-Friendly, Biodegradable Plastics. *Journal of Environmental & Earth Sciences*, 7 (5), 17-29.

- Macht, J., & et al. (2023). Eco-friendly alternatives to food packed in plastics: German consumers' purchase intentions for different bio-based packaging strategies. *Food Quality and Preference* (109). doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.104884>
- Mannan, S. (2012). Chapter 40: Sustainable Development. En *Lees' Loss Prevention in the Process Industries, Volumes 1-3 - Hazard Identification, Assessment and Control* (pp. 2507 - 2521). Elsevier.
- MarViva. (2020). *Guía de acciones para reducir la contaminación por plásticos de un solo uso en los municipios de Colombia*. <https://marviva.net/wp-content/uploads/2022/04/10D8-Contaminación-plásticos-CARTILLA-DIGITAL-WEB.pdf>
- Merino, D., & et al. (2022). A second life for fruit and vegetable waste: a review on bioplastic films and coatings for potential food protection applications. *Green Chemistry* (24), 4703-4727. doi:<https://doi.org/10.1039/D1GC03904K>
- Millet, H., & et al. (2019). Chapter 1: The Nature of Plastics and Their Societal Usage. En R. Hester, & R. Harrison, *Plastics and the Environment* (pp. 1 - 20). Royal Society of Chemistry (RSC).
- MinAmbiente. (26 de Julio de 2018). *Resolución 140*. https://www.cancilleria.gov.co/sites/default/files/Normograma/docs/resolucion_minambientes_1407_2018.htm
- MinAmbiente. (2021). *Plan Nacional para la Gestión Sostenible de los Plásticos de un solo Uso*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/02/plan-nacional-para-la-gestion-sostenible-de-plasticos-un-solo-uso-minambiente.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Estrategia Nacional de Economía Circular: Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Estrategia-Nacional-de-Economia-Circular-2019-Final.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (21 de Noviembre de 2023). *Colombia avanza hacia la reducción de los plásticos de un solo uso*. <https://www.minambiente.gov.co/colombia-avanza-hacia-la-reduccion-de-los-plasticos-de-un-solo-uso/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). *Decreto 2192*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=227250>

- Ministerio de Salud y Protección Social. (29 de Diciembre de 2005). *Resolución 5109*.
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=122459>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (28 de Marzo de 2012 a). *Resolución 683*.
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=46773>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (7 de Diciembre de 2012 b). *Resolución 414*.
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=50951>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (26 de Marzo de 2013 a). *Resolución 834*.
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=71175>
- Minvivienda. (2021). *Estructuración y formulación de la NAMA de Residuos Sólidos Municipales*. https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/resumen-ejecutivo-nama-rsm-colombia_final.pdf
- Molina, K., & Keszleri, H. (2022). Exploring the industrial perspective on biobased plastics in food packaging applications– Insights from Sweden. *Sustainable Production and Consumption* (35), 72-84. doi:<https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.10.018>
- Moshood, T., & et al. (2022). Current Research in Green and Sustainable Chemistry. *Sustainability of biodegradable plastics: New problem or solution to solve the global plastic pollution?*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2022.100273>
- Mutmainna, I., & et al. (Enero de 2025). Can agriculture and food waste be a solution to reduce environmental impact of plastic pollution? zero-waste approach for sustainable clean environment. *Bioresource Technology* (420).
doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2025.132130>
- Naciones Unidas (UN). (25 de Agosto de 2023). *¿Qué es la contaminación por plástico?*
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2023/08/explainer-what-is-plastic-pollution/>
- Nahar, L., & et al. (2025). Towards sustainable food packaging using natural compounds: A review of current research update. *Food and Bioproducts Processing*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2025.01.015>
- NARA. (2025). *Title 21 Food and Drugs*. National Archives and Records Administration.
<https://www.ecfr.gov/current/title-21>

- Navasingh, R., & et al. (2023). Sustainable Bioplastics for Food Packaging Produced from Renewable Natural Source. *Polymers*, 15 (3760).
doi:<https://doi.org/10.3390/polym15183760>
- Nejadrezaei, N., & et al. (2024). Consumers perspectives on biobased products: A scoping review. *Cleaner Production Letters* (7). doi:<https://doi.org/10.1016/j.clpl.2024.100073>
- Nithya, R., & Thirunavukkarasu, A. (2023). Chapter 4: Agro-Waste Residue-Based Food Packaging Films. En J. Parameswaranpillai, & et al., *Natural Materials for Food Packaging Application* (pp. 75-87). John Wiley & Sons.
- Nuojua, S., & et al. (2024). Plastic alternatives and substitutes in the packaging sector – A UK consumer perspective. *Sustainable Production and Consumption* (46).
doi:<https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.02.019>
- Oliveira, T., & et al. (2017). Bionanocomposite films based on polysaccharides from banana peels. *International Journal of Biological Macromolecules* (101).
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.068>
- Organizaicón Internacional del Trabajo. (25 de Octubre de 2020). *Guía propuesta por las organizaciones sindicales de plantaciones y/o unidades de producción de banano en colombia para la prevención y mitigación de la pandemia por covid-19*.
https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@americas/@ro-lima/documents/publication/wcms_764319.pdf
- Pandey, V., & et al. (2024). Production of biodegradable food packaging from mango peel via enzymatic hydrolysis and polyhydroxyalkanoates synthesis: A review on microbial intervention. *Current Research in Microbial Sciences* (7), 1-12.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100292>
- Park, S.-I., & al., e. (2014). Chapter 22: Eco-Design for Food Packaging Innovations. En J. Han, *Innovations in Food Packaging (2nd Edition)* (pp. 537-547). Elsevier.
- Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea. (27 de Octubre de 2004). *Reglamento (CE) No. 1935/2004*. <https://www.boe.es/doue/2004/338/L00004-00017.pdf>
- Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea. (5 de Junio de 2019). *Directiva (UE) 2019/904*. <https://www.boe.es/doue/2019/155/L00001-00019.pdf>
- Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea. (19 de Diciembre de 2024). *Reglamento (EU) 2025/40*. <https://www.boe.es/doue/2025/040/L00001-00124.pdf>

- Parveen, N., & et al. (2024). Bioplastic packaging in circular economy: A systems-based policy approach for multi-sectoral challenges. *Science of the Total Environment* (945). doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173893>
- Peñaranda, L., & et al. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8 (2), 141 - 150.
- Pinto, C., & et al. (2023). Percepción de consumidores y perspectivas de industrias de alimentos de Cali sobre el uso de bioplástico en sus empaques. *Revista Universidad & Empresa*, 25 (44). doi:<https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.12506>
- Pinto, C., Cardona, J., & Polanco, M. (2023). Percepción de consumidores y perspectivas de industrias de alimentos de Cali sobre el uso de bioplástico en sus empaques. *Universidad & Empresa*, 25 (44). doi:<https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.12506>
- Popovic, S., & et al. (2018). Chapter 8: Biopolymer Packaging Materials for Food Shelf-Life Prolongation. En A. Grumezescu, & et al., *Biopolymers for Food Design - Handbook of Food Bioengineering* (pp. 223 - 277). Elsevier.
- Putra, N., & et al. (2022). Methods and Potential in Valorization of Banana Peels Waste by. *Sustainability* (14). doi:<https://doi.org/10.3390/su141710571>
- Raggiotto, F., & et al. (2024). Consumer reactions to circular packaging: The impact of disgust, guilt, and value on adoption intentions. *Journal of Cleaner Production* (479). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143937>
- Ramadhanti, F., & et al. (2024). Green purchase behavior in circular packaging: The case of young consumers in Indonesia. *Cleaner and Responsible Consumption* (14). doi:<https://doi.org/10.1016/j.clrc.2024.100208>
- Rasheed, T., & et al. (2024). Recent updates on biodegradability and recyclability of bioplastics Towards a new era in sustainability. *Sustainable Materials and Technologies* (41). doi:<https://doi.org/10.1016/j.susmat.2024.e01051>
- Riera, M., Maldonado, S., & Palma, R. (2018). Residuos Agroindustriales Generados en Ecuador para la Elaboración de Bioplásticos. *Ingeniería Industrial*, 227-246. doi:<https://doi.org/10.22320/S07179103/2018.13>

- Roman, A., & et al. (2023). Pectin: An overview of sources, extraction and applications in food products, biomedical, pharmaceutical and environmental issues. *Food Chemistry Advance* (2). doi:<https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100192>
- Sánchez, A., & et al. (2025). Developing and Characterization of a Biopolymeric Membrane. *Polymers* (17). doi:<https://doi.org/10.3390/polym17060775>
- Selke, S., & et al. (2021). U.S. Regulations and Plastic Packaging. En S. Selke, & e. al, *Plastics Packaging - Properties, Processing, Applications, and Regulations* (pp. 401 - 427). Munich : Hanser Publishers.
- Selke, S., & et al. (2021). Chapter 2: Basic Concepts and Definitions. En *Plastics Packaging - Properties, Processing, Applications, and Regulations* (pp. 9-23). Hanser Publishers.
- Serrano, L., & Prieto, M. (2024). Can bioplastics always offer a truly sustainable alternative to fossil-based plastics? *Microbial Biotechnology*, 17 (14458.). doi:<https://doi.org/10.1111/1751-7915.14458>
- Shah, Y., & et al. (2024). Advancements in the biopolymer flms for food packaging applications: a short review. 1 (2). doi:<https://doi.org/10.1186/s44316-024-00002-1>
- Shaikh, S., & et al. (2021). An overview of biodegradable packaging in food industry. *Current Research in Food Science* (4), 503–520. doi:<https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.07.005>
- Silva, R., & et al. (2024). From bulk banana peels to active materials: Slipping into bioplastic films with high UV-blocking and antioxidant properties. *Journal of Cleaner Production* (438). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140709>
- Singh, P., & et al. (2022). Chapter 7: Role of Agro-Wastes in Economical Food Packaging Material Synthesis. En A. Tripathi, & et al., *Biodegradable Polymer-Based Food Packaging* (pp. 135 - 153). Springer Nature.
- Singh, P., & Heldman, D. (2014). Chapter 15: Packaging Concepts. En P. Singh, & D. Heldman, *Introduction to Food Engineering* (pp. 767 - 791). Elsevier.
- Singh, S., & et al. (2025). A comprehensive overview of biodegradable packaging flms: Part I—sources, additives, and preparation methods. *Discover Food*, 5 (41). doi:<https://doi.org/10.1007/s44187-025-00303-y>
- Subramanian, M. (2019). Chapter 2: Plastics and Additives. En *Plastics Waste Management - Processing and Disposal (2nd Edition)* (pp. 7-35). John Wiley & Sons.

- Subramanian, M. (2019). Chapter 4: Plastics Processing Technology. En *Plastics Waste Management - Processing and Disposal* (pp. 53 - 72). John Wiley & Sons.
- Symons, J. (2022). *Environmental & Economic Implications of Biobased Packaging*.
<https://content.vu.edu.au/sites/default/files/environmental-and-economic-implications-of-biobased-packaging.pdf>
- Teixeira, S., & et al. (2024). Sustainable and biodegradable polymer packaging: Perspectives, challenges, and opportunities. *Food Chemistry* (470).
doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142652>
- Thakare, P. (2024). Sustainable Biodegradable Plastics from Agricultural Waste: A Green Approach. *Nanotechnology Perceptions*, 20 (16), 1080 - 1093.
- Tsang, Y., & et al. (2019). Production of bioplastic through food waste valorization. *Environment International*, 625 - 644. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.076>
- UN. (2015 a). *Objetivo 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/health/>
- UN. (2015 b). *Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- UN. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- UN. (2023). *World Environment Day 2023: Beat Plastic Pollution Practical Guide*.
https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/42437/Plastic_Pollution_WED23_EN.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- UN. (s.f). *Datos y cifras*. <https://www.un.org/es/actnow/facts-and-figures>
- Unidad de Gestión de Riesgos Agropecuarios. (Junio de 2018). *Ficha de Inteligencia Banano Tipo Exportación*. https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/basic-page/files/ficha_banano_version_ii.pdf
- Wellenreuther, C., & et al. (2022). Cost competitiveness of sustainable bioplastic feedstocks – A Monte Carlo analysis for polylactic acid. *Cleaner Engineering and Technology* (6).
doi:<https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100411>
- Westlake, J., & et al. (2023). Biodegradable biopolymers for active packaging: demand, development and directions. *Sustainable Food Technology* (1), 50 - 72.
doi:<https://doi.org/10.1039/D2FB00004K>

Xu, P., & et al. (2023). Pretreatment and composting technology of agricultural organic waste for sustainable agricultural development. *Heliyon* (9).

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16311>

Zhang, J., & et al. (2023). Agricultural Residue-based Bioplastics: Potential Options for High-value Agricultural Residue Utilization. *BioResources*, 18 (3), 4383-4385. <https://research-ebsco-com.consultaremota.upb.edu.co/c/m2igtv/viewer/pdf/crcqtawt45>

Zhi, R., & et al. (2022). Identification of microorganisms from fermented biowaste and the potential for wastewater treatment. *Environmental Research* (218).

doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115013>