



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y
BIOCTENOLOGÍA**



CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

**Biomateriales obtenidos por fermentación para su aplicación como envase y
empaquete de productos cárnicos crudos**

Trabajo de Titulación, Modalidad Proyecto de Investigación, previa la obtención de Título de Ingeniería en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Tatiana Samantha Sampedro González

Tutor: Ing. MSc. Mayra Fernanda Chico Terán

Ambato - Ecuador

Marzo-2022

APROBACIÓN DEL TUTOR

Ing. MSc. Mayra Fernando Chico Terán

CERTIFICA:

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este trabajo de Titulación bajo la modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 10 de febrero del 2022

Ing. MSc. Mayra Fernanda Chico Terán

C.I. 1003327044

TUTORA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Tatiana Samantha Sampedro González, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Tatiana Samantha Sampedro González

C.I. 235055475-0

AUTOR

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Presidente del Tribunal

Ing. MsC. Diego Manolo Salazar Garcés

C.I. 1803124294

Esteban Mauricio Fuentes Pérez PhD.

C.I. 1803321502

Ambato, 08 de marzo de 2022

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación o parte de él, como documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Tatiana Samantha Sampedro González

C.I. 235055475-0

AUTOR

DEDICATORIA

"Y dijo mi Dios que todo estaba muy bien." Gn 1, 31.

Dedicó completamente este trabajo a mi Creador y Señor por las bendiciones desde el momento que elegí la carrera hasta este punto. Si mi Dios permite que pasen diferentes cosas en mi vida es porque están muy bien.

Están muy bien porque me traerán un aprendizaje ya sea académico, personal o espiritual.

Está muy bien porque Dios solo da cosas buenas.

Están muy bien porque el tiempo de Dios es perfecto, el mío no.

Están muy bien porque Dios quiere mi completa felicidad.

Están muy bien porque me dio una madre en cielo que es cómplice de todos mis sueños.

Está muy bien porque dono a su único hijo por el perdón de mis pecados.

Está muy bien porque me dejó el espíritu Santo para entender las cosas terrenales y espirituales.

Está muy bien porque tengo grandes Santos de quienes aprendo a darle el verdadero sentido a mi vida, la felicidad.

Está muy bien porque nada se mueve sin su permiso o consentimiento.

Está muy bien porque en mi debilidad el me hace fuerte.

Están muy bien porque Dios es amor, Dios es mi padre y Dios me ama a mí.

AGRADECIMIENTO

A Dios,

A mis padres María Gonzalez y Salomón Sampedro,

A mis hermanas Yomara, Morelia y Mishel,

A la Universidad Técnica de Ambato,

A mis maestros,

A mis compañeros de aula,

A mi tutora de tesis Fernanda Chico

Y a mis amigos por su amistad.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	iv
DERECHOS DE AUTOR.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE DIAGRAMAS.....	xi
VOCABULARIO DE ACRÓNIMOS.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO 1.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Justificación.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.2.1. Producción global de bioplásticos.....	2
1.2.2. Los bioplásticos.....	5
1.2.3. Bioplásticos biodegradables.....	6
1.2.4. Bioplásticos obtenidos por fermentación para envasar carnes crudas ...	8
1.3. Objetivos.....	11
1.3.1. Objetivo General.....	11
1.3.2. Objetivos Específicos.....	11
CAPITULO II.....	12
METODOLOGÍA.....	12
2.1. Análisis de la información.....	12
2.1.1. Trabajo de investigación.....	12

2.1.2.	Base de datos de investigación científica.....	12
2.1.3.	Criterios de búsquedas	13
2.2.	Análisis documental	13
2.2.1.	Criterios de selección.....	13
CAPITULO III.....		15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		15
3.1.	Análisis y discusión de la información.....	15
3.2.	Fuentes de sustratos usados en la fermentación para obtener bioplásticos .	17
3.2.1.	Microorganismos y sustratos adecuados para producir PLA y PHB ...	23
3.3.	Parámetros físico-químicos que requieran los biomateriales PLA y PHB para usarse en el envasado de carne cruda.....	28
3.3.1.	Propiedades mecánicas de los biopolímeros usados para el envasado de carne cruda	30
3.4.	Ventajas de los biopolímeros PLA y PHB obtenidos por fermentación	33
3.4.1.	Ventajas Económicas	33
3.4.2.	Ventajas Industriales	34
3.4.3.	Ventajas Ambientales.....	36
3.5.	Beneficios en los cárnicos crudos por el uso de los biomateriales en el envasado y empaque	39
CAPITULO IV.....		42
CONCLUSIONES		42
4.1.	Conclusiones	42
CAPITULO V		43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		43
ANEXO.....		55
ANEXO A.	Bitácora de búsqueda del estudio.....	55
ANEXO B.	Ejemplo de formato empleado en bitácora de búsqueda	55
ANEXO C.	Formato del diagrama PRISMA.....	56
ANEXO D.	Formato de la bitácora de búsqueda bibliográfica	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción Global de bioplásticos biodegradables 2020-2025.....	3
Figura 2. Aplicaciones Globales de los bioplásticos en el año 2020.	4
Figura 3. Producción global de bioplásticos en el sector de envases 2020.....	4
Figura 4. Características generales del polihidroxibutirato.	9
Figura 5. Estructura del ácido poliláctico PLA.....	11
Figura 6. Comparación de la Permeabilidad a la Humedad (PH); Permeabilidad al Oxígeno (PO) Propiedades Mecánicas (PM); Biodegradabilidad/Desintegración (BD) de los bioplásticos PHB y PLA.....	29
Figura 7. Propiedades de los bioplásticos y plásticos usados en el envasado de carne.	30
Figura 8. Representación esquemática de la producción de PLA.....	35
Figura 9. Representación esquemática de la producción de PHB.....	36
Figura 10. Ciclo de vida de los plásticos convencionales y los bioplásticos.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los bioplásticos según su composición química, origen y método de síntesis	6
Tabla 2. Clasificación de bioplásticos según su origen y biodegradabilidad.....	7
Tabla 3. Descripción de los bioplásticos más usados actualmente a nivel industrial.	8
Tabla 4. Criterios de búsqueda.....	13
Tabla 5. Criterios de selección	14
Tabla 6. Ejemplos de residuos y su origen en la industria alimentaria con potencial para ser usados como sustrato.	18
Tabla 7. Residuos agrícolas lignocelulósico del Ecuador adecuados para la obtención de PLA y PHB.....	20
Tabla 8. Microorganismos productores de PHB & PLA.	23
Tabla 9. Condiciones de operación para obtener PHB con diferentes tipos de sustratos.	26

Tabla 10. Comparación entre los principales plásticos y bioplásticos utilizados en el envasado de carne.	29
Tabla 11. Propiedades mecánicas de los polímeros usados en envases para carne. .	32
Tabla 12. Costo del sustrato y el rendimiento utilizados en la producción del PHB.	33
Tabla 13. Desafíos para producir PHA rentable	34
Tabla 14. Resumen de las ventajas de biopolímeros obtenidos por fermentación....	39
Tabla 15. Ventajas de los envases biodegradables y biobasados en carnes.....	41
Tabla 16. Resumen bibliográfico de los trabajos realizados sobre la aplicación de biomateriales para realizar envases.....	57

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Proceso de selección del material bibliográfico del estudio.	15
Diagrama 2. Diagrama PRISMA	56

VOCABULARIO DE ACRÓNIMOS

CO₂: Dióxido de carbono

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FDA: Administración de Medicamentos y Alimentos

HDPE: Polietileno de Alta Densidad

LDPE: Polietileno de Baja Densidad

MAP: Envasado en atmósferas modificadas

O₂: Oxígeno

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PBAT: Poli(Butilén Adipato-co-Tereftalato)

PBS: Polibutileno succinato

PC: Policarbonato

PCL: Policaprolactona

PDS: Polidioxanona

PE: Polietileno

PET: Tereftalato de Polietileno

PGA: Ácido poliglicólico

PHA: Polihidroxialcanoatos

PHB: Polihidroxibutirato

PHBV: hidroxibutirato-co-hidroxivalerato

PLA: Ácido poliláctico

PMMA: Polimetilmetacrilato

PNUMA: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente

PP: Polipropileno

PPF: Poli fumarato de propileno

PS: Poliestireno

PTFE: Politetrafluoroetileno

PVC: Cloruro de polivinilo

VP: Envasado al vacío

RESUMEN

La contaminación plástica está trayendo grandes problemas ambientales en diferentes áreas. Dentro de los principales demandantes de plástico sintético está la industria de envases y empaques utilizados para el envasado de alimentos. Se ha levantado un gran interés de parte de investigadores y las industrias para reemplazar el plástico común con bioplásticos por ser biomateriales derivados de recursos renovables. El objetivo de esta investigación es realizar una revisión bibliográfica de los biomateriales obtenidos por fermentación para su aplicación como envase y empaque en productos cárnicos crudos. Los biomateriales certificados como biodegradables y biobasados pueden ser obtenidos directamente de biomasa residual de procesos agroindustriales mediante la fermentación de microorganismos economizando el proceso de producción. Los mayores representantes de biopolímeros biobasados y biodegradables son el PLA (Ácido poliláctico) y PHB (Polihidroxibutirato) por tener propiedades físico químicas y mecánicas similares a los plásticos sintéticos usados en el envasado de carnes crudas. Estos biomateriales son obtenidos mediante fermentación por bacterias usando distintas fuentes de carbono como el maíz, melaza o bagazo de caña de azúcar, suero, cáscara de frutas, entre otras. Estos alimentos son perecederos y de fácil deterioro debido a su alto contenido de agua y nutrientes. El uso de películas de PLA y PHB es una alternativa viable para dar respuesta a uno de los retos más grandes en la industria alimentaria que es la prolongación de la vida útil manteniendo la calidad microbiológica y sensorial de las carnes debido a que estos envases pueden brindar propiedades antioxidantes y antimicrobianas al producto.

Palabras claves: Investigación bibliográfica, gestión de residuos, biomateriales, envases biodegradables, bioplásticos, películas biodegradables.

ABSTRACT

Plastic pollution is bringing major environmental problems in different areas. Among the main demanders of synthetic plastic is the industry of containers and packaging used for food packaging. There has been a great interest from researchers and industries to replace common plastic with bioplastics and biomaterials derived from renewable resources. The objective of this research is to perform a bibliographic review of the biomaterials obtained by fermentation for their application as containers and packaging for raw meat products. Biomaterials certified as biodegradable and biobased can be obtained directly from residual biomass from agroindustrial processes through fermentation by microorganisms, thus economizing the production process. The major representatives of bio-based and biodegradable biopolymers are PLA (polylactic acid) and PHB (polyhydroxybutyrate) because they have physical, chemical and mechanical properties similar to the synthetic plastics used in the packaging of raw meat. These biomaterials are obtained by fermentation by bacteria using different carbon sources such as corn, molasses or sugar cane bagasse, whey, fruit peel, among others. These foods are perishable and easily spoiled due to their high water and nutrient content. The use of PLA and PHB films is a viable alternative to respond to one of the biggest challenges in the food industry, which is the extension of shelf life while maintaining the microbiological and sensory quality of meats, since these packages can provide antioxidant and antimicrobial properties to the product.

Keywords: Bibliographic research, waste management, biomaterials, biodegradable packaging, bioplastics, biodegradable films.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1. Justificación

Los altos porcentajes de contaminación plástica derivada de la industria alimentaria por el uso de envases y embalajes ha iniciado un interés social, ambiental y político hacia el desarrollo de envases biodegradables. En el año 2020 el 39.6% de plástico generado se usó en el envasado principalmente de alimentos (**Plásticos Europa, 2020**). Esto se comprende por la demanda de los consumidores al querer tener acceso a los productos alimenticios empaquetados ya sea procesados o frescos. Los alimentos mayormente tienden a terminar dentro de un envase para su correcto transporte o comercialización, necesitando a la vez de empaques que protejan estos envases (**ONU Medio Ambiente, 2018**).

El sector alimenticio es considerado el más grande y el que más valor genera en la producción de envases. Según el **Banco Central del Ecuador (2019)** los alimentos de mayor producción y por ende los que más utilizan plásticos para su correcta comercialización en el país son: el procesamiento y conservación de pescado, camarones y especias (27%), la producción de bebidas (15%) y finalmente los productos cárnicos teniendo una producción del 14%.

Plásticos Europa (2020) expone que los múltiples beneficios del plástico en la industria alimenticia son incuestionables, de la misma forma no se puede negar su impacto negativo hacia el ecosistema. Actualmente los esfuerzos de los países en el área ambiental están encaminados a reducir el uso del plástico convencional ya que algunos estudios sugieren que las bolsas de plástico y recipientes de espuma de poliestireno pueden tardar hasta 1000 años en descomponerse (**ONU Medio Ambiente, 2018**). Por lo mismo, el uso de envases biodegradables o compostables es una necesidad para todas las industrias en el sector alimenticio.

La carne en estado natural y en condiciones normales de temperatura y humedad permanece estable y comestible por corto tiempo. Un método de conservación es el descenso de temperatura como la refrigeración. **Panseri et al. (2018)** afirman que la

elección del tipo de envasado depende de las características deseadas para el almacenamiento, exhibición y las expectativas de los compradores. Los requerimientos a nivel de envasado de carnes están enfocados en la estabilidad de la carne que puede ser afectada principalmente por el crecimiento microbiano y la oxidación de lípidos con el consecuente deterioro del alimento. **Hui et al. (2001)** indican en su estudio que atributos como el olor, sabor, textura y exudado son indicadores en la oxidación de lípidos responsables de los malos olores y sabores rancios. Debido a esta problemática se han realizados estudios para utilizar películas que recubran los envases usados como antioxidantes y antimicrobianos, por ejemplo **Song et al. (2020)** en su estudio analizaron dos sistemas de envasado activo con películas antioxidantes que contienen oleorresina de romero y extracto de té verde para conservar carne de cerdo picado.

De la misma forma **Rehan Khan et al. (2020)** analizaron el efecto de películas compuestas de gelatina comestible enriquecido con nanoemulsiones cargadas de polifenoles como material de envasado para carne de pollo, demostrando inactividad microbiana de *Salmonella typhimurium* y *E. coli*, además el tiempo de vida útil fue más prolongado manteniendo la carne fresca hasta por 17 días comparando con el empaque tradicional de control que la mantiene fresca por no más de 10 días. Hay evidencias de que la incorporación de este tipo de estrategias tiene un mejor impacto sobre biomateriales biodegradables (**Noori et al., 2021**); (**Birania et al., 2021**); (**Fredi & Dorigato, 2021**) & (**Cerda et al., 2018**).

Este trabajo se enfoca en recolectar información bibliográfica actual sobre el origen y la producción de bioplásticos biológicos y biodegradables obtenidos mediante fermentación que puedan ser utilizados para envasar y empaquetar cárnicos crudos.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Producción global de bioplásticos

Los bioplásticos representan apenas el uno por ciento de los más de 368 millones de toneladas de plástico que se producen anualmente. En el año 2020 aproximadamente 2111 millones de toneladas de bioplásticos fueron producidos, de los cuales 1227 millones de toneladas son bioplásticos biodegradables y partir del año 2021 se prevé un

aumento en la producción (figura 1) siendo el sector de envases y empaques el sector más demandante, con el 47% del valor global (figura 2).

En este porcentaje se incluyen las industrias: farmacéutica, textil, cosmética y alimentaria considerada esta última como la de principal demanda. Los embalajes requeridos por estas industrias pueden ser rígidos o flexibles, esto dependerá del material a empaquetar y de las condiciones del mismo. En el año 2020 se produjeron 555 millones de toneladas de embalajes flexibles y 443 millones de toneladas de embalajes rígidos (figura 3) (**Bioplástico Europeo, 2020**).

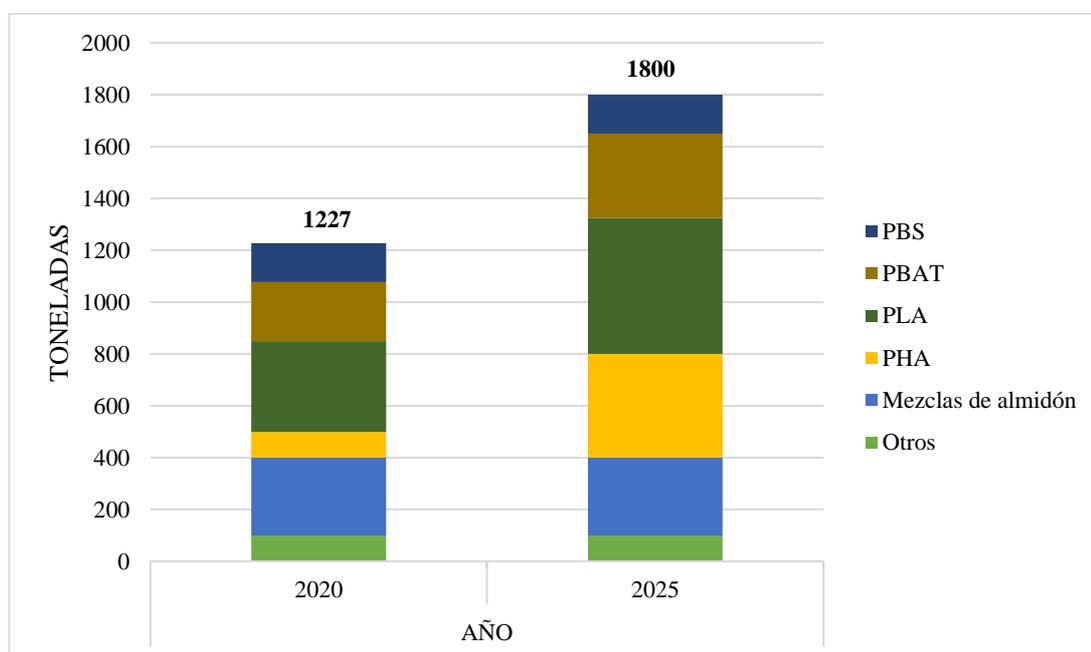


Figura 1. Producción Global de bioplásticos biodegradables 2020-2025.

Fuente: Bioplástico Europeo (2020).

Nota: PBS (Polibutileno succinato), PBAT (Poli(Butilén Adipato-co-Tereftalato)), PLA (Ácido poliláctico), PHA (Polihidroxialcanoatos).

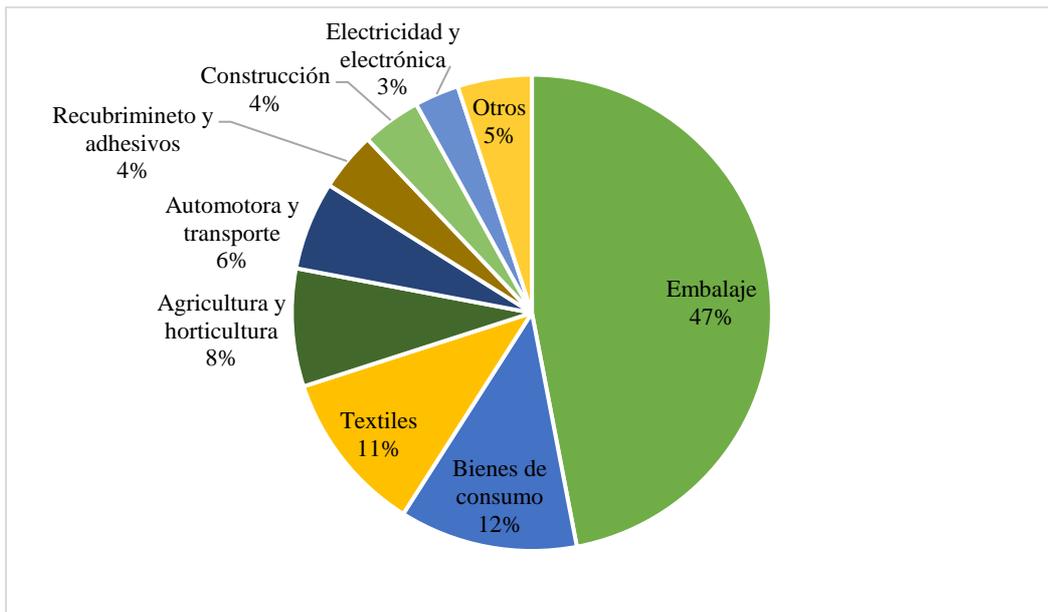


Figura 2. Aplicaciones Globales de los bioplásticos en el año 2020.

Fuente: Bioplástico Europeo (2020).

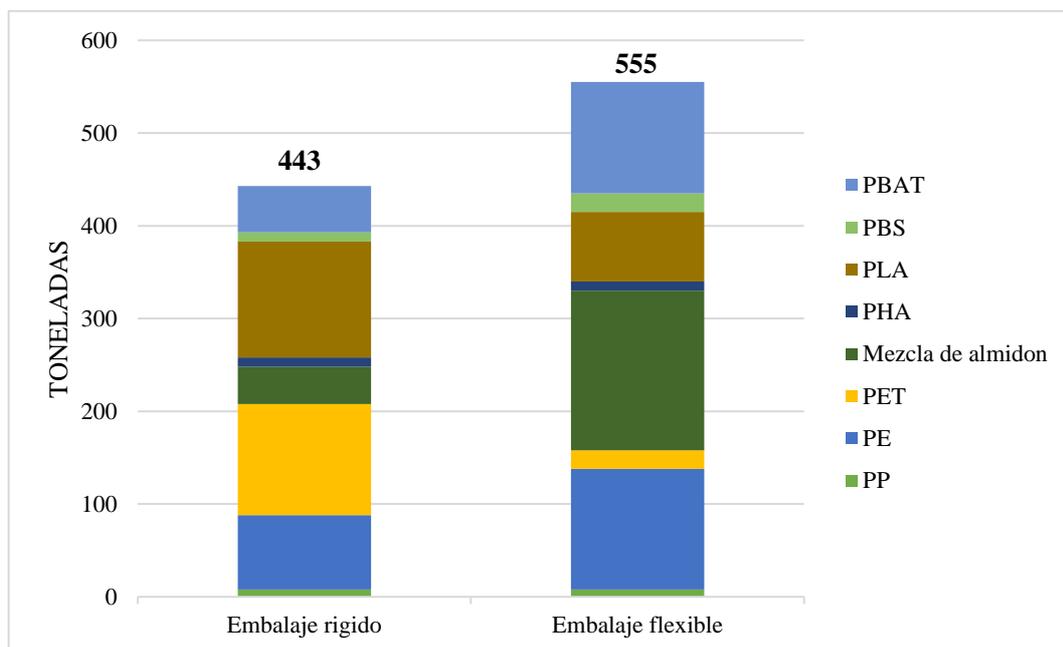


Figura 3. Producción global de bioplásticos en el sector de envases 2020.

Fuente: Bioplástico Europeo (2020).

Nota: PBS (Polibutileno succinato), PBAT (Poli(Butilén Adipato-co-Tereftalato)), PLA (Ácido poliláctico), PHA (Polihidroxialcanoatos), PE (polietileno), PET (tereftalato de polietileno), PP (polipropileno).

1.2.2. Los bioplásticos

Los plásticos provienen de materiales formados por reacción química entre un polímero de origen petroquímico o biológico y un plastificante. Los plásticos tradicionales proceden de derivados de petróleo, por el contrario, los bioplásticos se producen de materiales de origen biológico denominados biopolímeros sintetizados y acumulados en condiciones de estrés (**Sillanpää & Ncibi, 2017**) & (**Candia & Simón, 2015**).

Los bioplásticos se pueden clasificar según su composición química, origen y método de síntesis presentados en la Tabla 1. La primera clasificación son los polímeros derivados de biomasa de origen animal o vegetal que se extraen directamente. **Pal et al., (2020)** en su estudio indican que estos biopolímeros naturales se subdividen en proteínas, (caseína, suero, soya, colágeno, gluten), lípidos (triglicéridos) y polisacáridos (celulosa, quitina, ácido hialurónico, almidón, hemicelulosa) extraídos de recursos renovables.

Dentro de los polímeros microbianos la familia de los polihidroxicanoatos (PHA) se constituye su mayor representante, estos se obtienen por fermentación bacteriana o de hongos usando fuentes de carbono (glucosa, fructosa, sacarosa) o sustancias de desechos como los ácidos orgánicos y desechos lignocelulósicos (**Colombo et al., 2019**). El uso de microorganismos es una de las mejores opciones para la producción de polímeros siendo una solución con el potencial de resolver la problemática de la gestión de residuos agropecuarios después de su producción.

En la categoría de los derivados por síntesis química está el ácido poliláctico (PLA) que es un poliéster obtenido por dos etapas, la primera es la obtención del ácido láctico mediante fermentación de trigo, maíz, arroz o remolacha, seguidamente de la segunda fase es la reacción química de la lactida. Finalmente, la última clasificación según su composición química, origen y método de síntesis son los polímeros producidos por síntesis química a partir de monómeros bioderivados y monómeros a base de petróleo (**Murariu & Dubois, 2016**) & (**Byun & Kim, 2014**). Algunos de estos biomateriales pueden ser biodegradables o no, esto es importante ya que algunos de sus usos requieren durabilidad.

Tabla 1. Clasificación de los bioplásticos según su composición química, origen y método de síntesis

Bioplásticos		
Derivados de biomasa	Proteínas	caseína, suero, soya, colágeno, gluten
	Lípidos	Triglicéridos
	Polisacáridos	celulosa, quitina, ácido hialurónico, almidón, hemicelulosa
Derivados microbianos	PHAs	PHB (Polihidroxibutirato) y derivados
Derivados por síntesis química	Polilactidas	PLA (Ácido poliláctico)
Derivados de monómeros a base de petróleo y biológicos	---	PCL (Policaprolactona), PBS (Polibutileno succinato).

Fuente: Katiyar et al. (2019) & Byun & Kimm (2014).

1.2.3. Bioplásticos biodegradables

La norma INNEN 2643 define a los “plásticos biodegradables” como plásticos que se degradan por la acción de microorganismos de origen natural, tales como hongos, bacterias y algas, generando principalmente agua, dióxido de carbono y biomateriales siendo un proceso de la naturaleza (INEN 2643, 2012). Algo similar ocurre con los bioplásticos compostables que se someten a procesos de degradación hasta convertirse en compost que sirve como fertilizante orgánico (PLASBEL, 2019). Es un error común al pensar que todos los bioplásticos son degradables (Ahmed Shakeel, 2020).

Hay plásticos que pueden ser 100% de origen biológico, pero no son biodegradables a la vez que plásticos 100% de origen fósil pueden ser biodegradables (Bioplástico Europeo, 2018). En la Tabla 2 se resalta la categoría de los materiales Biodegradables y Bio basados, algunos de estos, objeto de este estudio.

En el Ecuador la evaluación de la biodegradación de los plásticos se rige bajo la norma INNEN 2643 (“Especificación para plásticos compostables”) o 2644 (“Guía para la exposición y ensayo de plásticos que se degradan en el ambiente por una combinación de oxidación y biodegradación”) donde se establecen los requisitos que estos

materiales deben tener para poder utilizar etiquetas que los clasifiquen como empaques biodegradables o compostables.

Las normas INEN hacen referencia a las normas europeas. Para que un envase sea reconocido como biodegradable o compostable en Europa debe estar certificado por las normas EN 13432 o EN 14995.

Tabla 2. Clasificación de bioplásticos según su origen y biodegradabilidad.

Tipo	Biodegradable	No biodegradable
No Bio Basado	PCL, PBAT	Ninguna (p. comunes PE, PP, PET)
Bio Basado	PHA, PHB, PLA, base de celulosa, almidón	PA, Bio-PE, Bio-PP, Bio-PET

Fuente: Gnanasekaran (2019).

Nota: PCL (policaprolactona), PBAT Poli(Butilén Adipato-co-Tereftalato), PHA (polihidroxialcanoatos), PHB (Polihidroxibutirato), PLA (ácido poliláctico), PE (polietileno), PP (polipropileno), PET (tereftalato de polietileno), PA (Biopoliamida).

En la Tabla 3 se indican los bioplásticos que son de interés en el sector industrial. Se resaltan los que se aplican como embalajes en el sector alimentario y que cumplen con la reducción de impacto medioambiental por ser biodegradables y de origen biológico: ácido poliláctico (PLA) y los de la familia de los Polihidroxialcanoatos (PHA) **(Bioplástico Europeo, 2020) & (Urbanek et al., 2020)**.

Algunos bioplásticos considerados biodegradables requieren de ciertas condiciones para tener esta característica, como temperaturas más altas y de una degradación por hidrólisis abiótica. Por eso es más preciso clasificarlas como bioplásticos compostables **(Dilkes-Hoffman et al., 2019)**. El tiempo de descomposición es la principal diferencia entre los bioplásticos biodegradables y compostables. Los primeros tienen un periodo más prolongado siendo un proceso de la naturaleza. Mientras que en el transcurso de desintegración de los bioplásticos compostables interviene el hombre bajo condiciones controladas de tiempo, temperatura, humedad y microorganismos **(PLASBEL, 2019)**.

Tabla 3. Descripción de los bioplásticos más usados actualmente a nivel industrial.

Biopolímero	Materia prima	Tipo de descomposición	Ciclo de vida	Aplicación	
BioPP	Bio polipropileno/ Bio basado polipropileno	Caña de azúcar	No biodegradable	Reciclables	Embalaje, industria textil
BioPE	Biopolietileno/ Bio basado polietileno	Granos de trigo, caña de azúcar, remolacha	No biodegradable	Reciclables	Embalaje para todo tipo de producto, botellas, tubos.
BioPET	Bio polietileno tereftalato	Caña de azúcar	No biodegradable	Reciclables	Embalaje, industria textil, películas delgadas para condensadores.
BioPA	Biopoliamida/ Poliamida de base biológica	Aceite de resino	No biodegradable	Reciclables	Industria textil, impresión 3D
PLA	Ácido poliláctico	Caña de azúcar, maíz, microorganismos.	Hasta 180 días (en abono)	Compostables	Película de envase de alimentos, bandejas de espuma, botellas, impresión 3D.
PHA	Polihidroxialcan oatos	Caña de azúcar, microorganismos	60-365 días (en suelo) 14-90 días (agua de mar)	Biodegradable	Impresión 3D para uso médico, película de envase de alimentos.
Base en almidón		Papa, arroz, trigo, maíz	14-110 días (en suelo)	Biodegradable	Película de envase de alimentos, productos médicos.
Base en celulosa		Caña de azúcar, madera	Hasta 154 días (en suelo y abono)	Biodegradable	Película de envase de alimentos, fibras textiles, etc.

Fuente: Ehman & Area (2021).

1.2.4. Bioplásticos obtenidos por fermentación para envasar carnes crudas

Los bioplásticos o plásticos que son usados en la industria alimentaria deben tener ciertos estándares de calidad y seguridad. Dentro de la industria alimentaria se han utilizado bioplásticos para realizar envases y empaques principalmente para envasar frutas y hortalizas, obteniendo resultados favorables con el alimento (**Mistriotis et al., 2016**). Actualmente los bioplásticos, por sus características físico-químicas y mecánicas se han dirigido hacia el envase de alimentos con periodos cortos de vida útil y en temperaturas moderadas de almacenamiento. El envasado de cárnicos

mediante bioplásticos solo se enfoca a las carnes crudas por su periodo corto, la temperatura ideal para conservar la carne en refrigeración esta entre los 1.1 – 1,4 °C retardando el crecimiento de microorganismos patógenos y controlando la actividad enzimática. Los bioplásticos seleccionados en este trabajo específicamente como adecuados para el embalaje de estos alimentos son los polihidroxicanoatos (PHB) y el ácido poliláctico (PLA) por cumplir con las características que serán desarrolladas en el capítulo 3.

1.2.4.1. PHB

Dentro de la familia de los polihidroxicanoatos (PHAs) figura 4 se encuentra el biopolímero termoplástico polihidroxiacetato (PHA) que fue el primero en ser aislado y caracterizado. Hasta la fecha se han identificado 150 moléculas diferentes producidas y encontradas dentro de las células como reserva de carbono de una amplia variedad de cepas bacterianas como las bacterias grampositivas, gramnegativas, aerobias, anaerobias, bacterias fotosintéticas capaces de acumular PHA intracelular (Pal et al., 2020) & (McAdam et al., 2020).

Una limitante para su comercialización extensiva es el alto costo de producción del PHB en comparación con los plásticos derivados de la petroquímica (Raza et al., 2018). Como respuesta a esta problemática, una de las estrategias es utilizar residuos agrícolas para reducir el costo del sustrato.

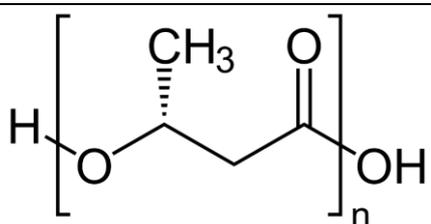
Imagen	
	
Nombre IUPAC	Ácido poli(<i>R</i>)-(3-hidroxiacetato)
Grupo R	Metil
N. carbono	C ₄
Polímero PHA	Poli(3-hidroxiacetato)

Figura 4. Características generales del polihidroxiacetato.

Fuente: McAdam et al. (2020).

1.2.4.2. PLA

El PLA (ácido poliláctico) es uno de los biopolímeros termoplásticos preferidos para empaquetar y envasar carnes crudas por sus propiedades mecánicas cercanas a los polímeros convencionales. La producción de este biomaterial puede verse afectada notablemente por las variaciones de temperaturas en el proceso, siendo este un punto crítico puesto que llevan a la pérdida de estabilidad térmica (**Urbanek et al., 2020**). El PLA solamente se biodegrada en determinadas condiciones de compostaje, es decir es compostable y biocompatible.

Este compuesto es una molécula quiral que posee dos enantiómeros y que existe de dos formas ópticas (figura 5): L-lactida y D-lactida (**Wei et al., 2011**). En el proceso de fermentación se produce principalmente un 99.5% del isómero L y un 0.5% del isómero D. A partir de la obtención de los monómeros bioderivados, el PLA se produce por síntesis química en donde la pureza de los isómeros es importante para determinar las propiedades físicas del PLA (**M. S. Singhvi et al., 2019**). El ácido poliláctico tiene tres estructuras diferentes: poli (L-lactida) (PLLA), poli (D-lactida) (PDLA) y poli (D, L-lactida) (**Tang et al., 2004**), siendo la última de importancia en el sector de envases presentando 90% de L-lactida. Por otra parte, si la concentración de D-lactida aumenta también incrementará su costo de comercialización debido a que se produce polímeros de PLA con mejores propiedades que incrementan la calidad de los materiales para usos que lo requieran: una estructura más cristalina y películas con mejor estabilidad térmica, resistencia mecánica y propiedades de barrera (**Ikada et al., 1987**).

Este biopolímero es el primer biomaterial de base biológica y biodegradable en ser comercializado en gran escala (**Sin & Tveen, 2019**). Para su procesamiento pueden emplearse casi todas las técnicas como: moldeo por inyección, extrusión de películas, soplado, termoformado, entre otras. Sobre todo, la extrusión es la técnica más utilizada en la producción de un biomaterial (**Murariu & Dubois, 2016**).

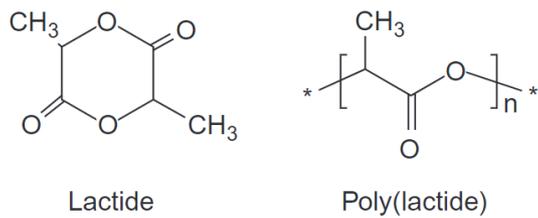


Figura 5. Estructura del ácido poliláctico PLA.

Fuente: Byun & Kim (2014).

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Realizar una revisión bibliográfica sobre el uso de biomateriales obtenidos por fermentación para su aplicación como envase y empaque de productos cárnicos crudos.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Establecer los tipos de sustratos usados para la producción de biomateriales obtenidos por fermentación que se puedan incluir en la producción de envases y empaques de productos cárnicos crudos.
- Determinar los parámetros físico-químicos que requieren los biomateriales para alcanzar las características establecidas en envases y empaques biodegradables del estudio.
- Identificar las ventajas de la obtención de los biomateriales por fermentación destinados al estudio.
- Analizar los beneficios sobre el uso de los biomateriales para el envasado y empaque en productos cárnicos crudos.

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1. Análisis de la información

2.1.1. Trabajo de investigación

El estudio se enfocó en la exploración bibliográfica del origen y la producción de biomateriales obtenidos mediante fermentación que puedan ser utilizados para envasar y empaquetar cárnicos crudos.

2.1.2. Base de datos de investigación científica

La información a utilizarse en el estudio se obtuvo a partir de material bibliográfico de artículos publicados en un tiempo de antigüedad de no mayor a 5 años a la fecha de publicación de este trabajo. La búsqueda bibliográfica de revistas científicas, reportes oficiales, folletos y libros se realizó en las bases de datos electrónicas de e-books y journals proporcionadas por la Universidad Técnica de Ambato, estas son:

- eLibro
- Proquest Ebook Central
- Digitalia HISPANICA
- Springer
- Wiley Online Library
- Scopus
- Taylor & Francis
- Scielo
- Dialnet
- Google académico
- ScienceDirect

2.1.3. Criterios de búsquedas

Se usó herramientas como los conectores booleanos (AND, OR y NOT) para obtener información más sintetizada produciendo mejores resultados en la búsqueda. Las palabras empleadas es su mayoría fueron del idioma inglés por tener mejor calidad y cantidad de la información requerida. Los términos de búsqueda empleados para la exploración de la información del estudio están expresados en la tabla 4.

Tabla 4. Criterios de búsqueda

TÉRMINOS DE BÚSQUEDA	
Bioplastic	Packaging biodegradable for meat
Biofilms	Global production of bioplastics for food
Biomass	Properties of biopolymers
Biopolymers	Properties of biopolymers for packing meat
Biobased packaging	Characterization of biopolymers
Biodegradable Packaging	Fermentation of bioplastics
Food packaging	Properties of biopolymers for meat packaging
Meat packaging	Properties of PLA biopolymers
Microbial bioplastics	Properties of PHB biopolymers
Polyhydroxybutyrate packaging	Properties of microbial biopolymers
Food waste	Properties of microorganisms-based biofilm
PLA packaging	Evaluation of the chemical and mechanical properties of biopolymers
PHB packaging	Mechanical and morphological properties of biopolymers

2.2. Análisis documental

2.2.1. Criterios de selección

Se aplicó los siguientes criterios de selección para enfocar y afinar la búsqueda

Tabla 5. Criterios de selección

CRITERIOS DE SELECCIÓN	
Fermentation technologies	Biopolymer evaluation
Polymer Science	Biofilm characterization
Green Sustainable Science Technology	Biotechnology Applied Microbiology

Para llevar un orden sistemático y ordenado en el proceso de recolección de información se utilizó una bitácora bibliográfica, esta herramienta permitió comprender el objeto de estudio mediante la lectura y análisis de las fuentes de interés documentando toda la información que encierra el material bibliográfico. La bitácora utilizada en el estudio se encuentra en el Anexo A y el formato empleado está disponible en el Anexo B.

Como medio de filtración de todo el material bibliográfico proporcionado por la bitácora de búsqueda se utilizó el diagrama PRISMA como valoración crítica de las fuentes, el formato empleado se encuentra en el Anexo C. Para aquello se recurrió a ciertas variables de exclusión como resultados de búsqueda de otras fuentes, duplicados, año de publicación superior a los 5 años de antigüedad, exclusión de revistas que no estén indexadas y material bibliográfico que no proporcione suficiente información para el estudio.

CAPITULO III

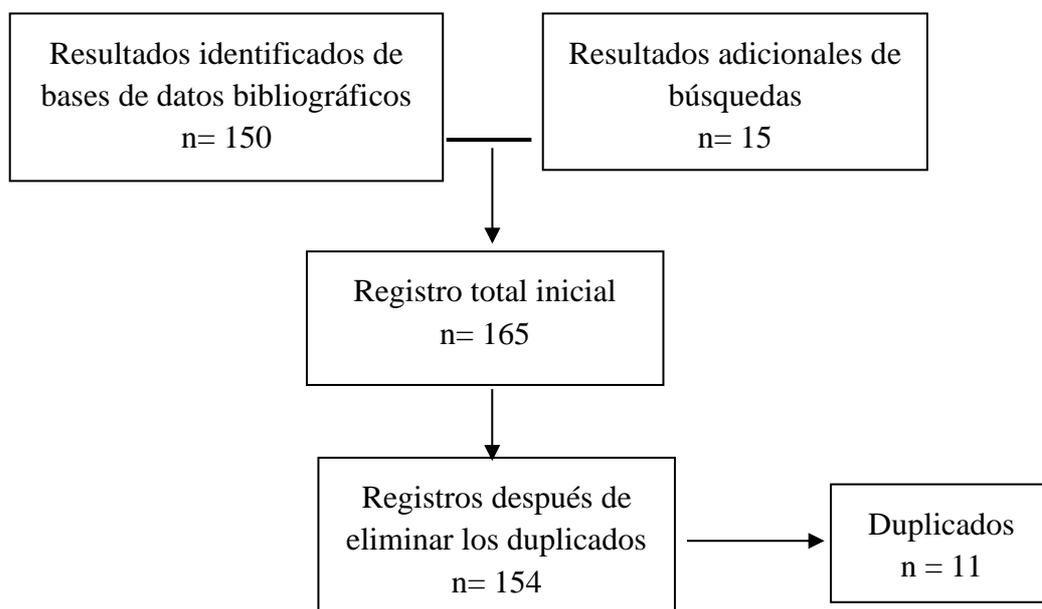
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

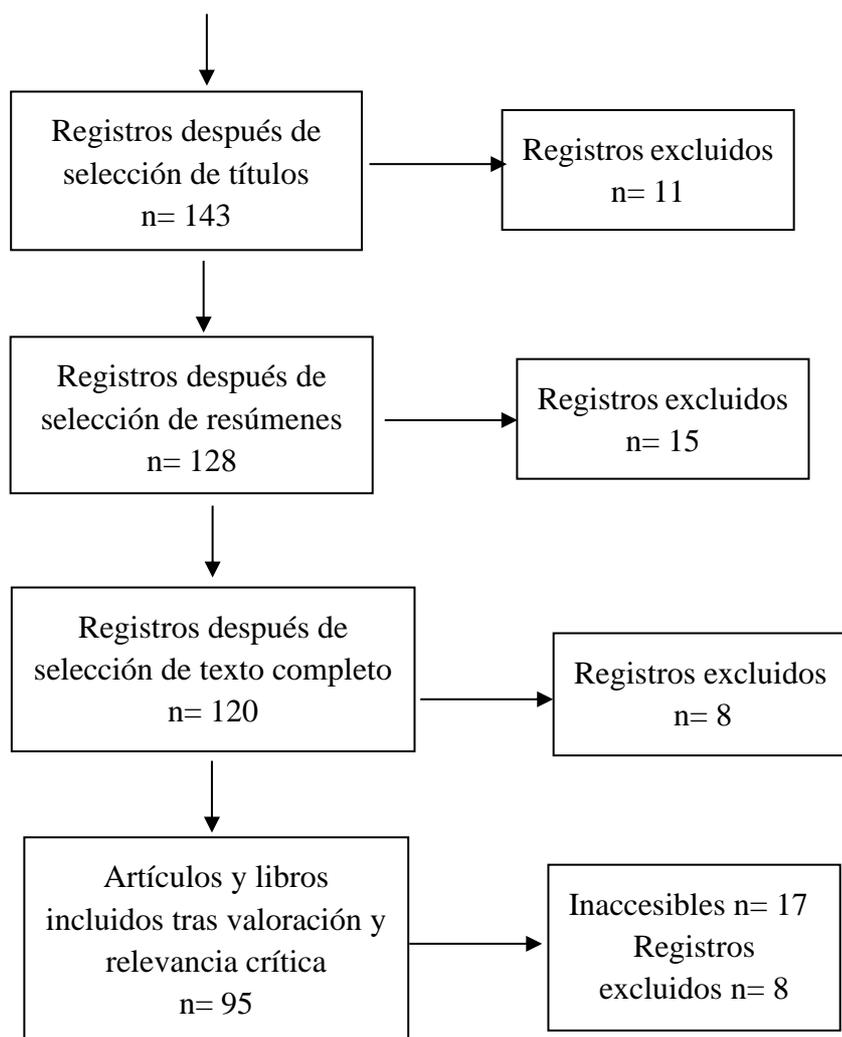
3.1. Análisis y discusión de la información

El diagrama Prisma (Diagrama 1) muestra los 165 ítems bibliográficos que se incluyeron para la evaluación que fue aplicada en cada etapa de selección y de acuerdo a la relevancia. Después de eliminar los registros duplicados la cantidad de material bibliográfico fue de 154, en la selección por los títulos el número se redujo a 143, debido a la selección por resúmenes se filtraron 128, 120 fueron elegidos tras la selección del texto completo mientras por la valoración y relevancia crítica se filtraron 87 datos bibliográficos.

En total el material bibliográfico seleccionado como relevante para el estudio fue de 95 ítems que incluyeron: 6 artículos de revisión, 62 artículos de investigación, 13 libros/capítulos de libros y 14 reportes de entidades gubernamentales y ambientales detallados en el (Anexo D). Se puede apreciar que este es un tema que se ha estudiado a nivel internacional. La mayoría de los estudios se han realizado en los Estados Unidos, China, El Reino Unido y en Europa.

Diagrama 1. Proceso de selección del material bibliográfico del estudio.





Nota: Resumen de los artículos y libros usados en el estudio bibliográfico

Desglose por categoría	Total
Biopolímeros	37
Residuos agrícolas	26
Tecnología de carnes	9
Relacionados al PHB	12
Relacionados al PLA	11
Indicadores de relevancia	Total
Cuartil 1	46
Cuartil 2	19
Cuartil 3	2
Cuartil 4	1

3.2. Fuentes de sustratos usados en la fermentación para obtener bioplásticos

El alto costo de producción de los bioplásticos es una limitante para su uso masivo, el valor de los biopolímeros es aproximadamente \$6-15/kg, que es bastante alto en comparación con polímeros como el polietileno (PE) y el polipropileno (PP), que cuestan \$0,23–0,48/kg respectivamente (**Sirohi et al., 2020**). Investigadores como **Raza et al. (2018)** indican que el costo de producción de los bioplásticos puede llegar a ser entre cinco a diez veces mayor que el plástico convencional.

El sustrato representa aproximadamente el 50% total del costo de producción (**Ciesielski et al., 2015**) & (**Koller et al., 2017**). Como respuesta a esta problemática se ha impulsado la investigación de fuentes reutilizables, baratas, renovables, disponibles localmente y sostenibles, como los residuos agrícolas, agropecuarios y agroindustriales que permitan obtener biopolímeros mediante fermentación como el PLA y PHB (**Al-battashi et al., 2018**). Estos biopolímeros son los que se han considerado de interés para las finalidades de este trabajo.

El costo de adquisición de algunos residuos agropecuarios o industriales en el Ecuador puede llegar a tener un valor nulo, en donde las empresas alimenticias están dispuestas a conceder los residuos que se generen en los procesos de producción de alimentos. Esto puede atribuirse a los costos que la gestión de estas corrientes de biomasa generadas consideradas como corrientes residuales pueden representar para los empresarios. La gestión de estas corrientes sin embargo no siempre contempla la aplicación de actividades limpias y se realizan solo con la finalidad de completar los mínimos requerimientos solicitados por la autoridad gubernamental para obtener los permisos legales. Por otro lado, en función de la demanda del mercado por las corrientes de biomasa residual, estos costos podrían sufrir fluctuaciones.

Se estima que al año se pierden alrededor de un tercio de toda la producción de alimentos a nivel mundial. Únicamente en el Ecuador se desaprovechan 939.000 toneladas de alimentos cada año posicionándose en la lista de los principales países de Latinoamérica que más desecha comida (**FAO, 2021**).

El 17% de todos los alimentos destinados al consumo humano se desperdician y terminan en el basurero de hogares, restaurantes, minoristas, entre otras (**PNUMA, 2021**).

En general, los desperdicios del sector agrícola, agropecuario y agroindustrial que se eliminan mediante vertederos, se arrojan a los campos (sin ningún propósito), se destinan al compostaje o a actividades de poca o nula valorización de los mismos, pudiendo estos ser aprovechados en procesos de fermentación a gran escala. Existen diferentes tipos de residuos identificados con potencial para la fermentación industrial. Su volumen y composición es heterogénea, pero tienen en común que dentro de su composición contienen moléculas útiles como sustrato de forma directa o indirecta. En la Tabla 6 se enlistan ejemplos de corrientes de biomasa residual procedentes de varios orígenes y etapas de los procesos de producción (Cerda et al., 2018).

Tabla 6. Ejemplos de residuos y su origen en la industria alimentaria con potencial para ser usados como sustrato.

ORDEN	TIPO DE DESPERDICIO ALIMENTICIO	TIPO DE INDUSTRIA	PRODUCCIÓN MUNDIAL ANUAL (toneladas)	EJEMPLOS DE EMPRESAS GENERADORAS EN ECUADOR
1	Sebos, residuos de la preparación y procesamiento.	Industria cárnica, Industria avícola	2.700 millones	PRODEGEL, MACAFRI, ALIMENTOS DON DIEGO.
2	Cáscaras, pulpa de fruta, mucílago, bagazo.	Industria de cereales, Industria de frutas y hortalizas	305 millones	PRODICEREAL, INALPEV.
3	Bagazo de caña de azúcar, Melaza y cachaza.	Fabricantes de azúcar	1.741,3 millones	COAZUCAR, SAN CARLOS, VALDEZ.
4	Suero.	Industrias lácteas	2.500 millones	TONICORP, PRODALEC
6	Cascarilla de la cebada, bagazo, levadura cervecera y raicillas de malta.	Cervecerías y bebidas no alcohólicas (jugos, extractos)	2.800 millones	CERVECERÍA NACIONAL, QUICORNAC.

Modificado: Cerda et al. (2018); Degli Esposti et al. (2021) & Bhuyan et al. (2020).

La selección adecuada de la corriente de residuos para fines biotecnológicos depende principalmente de la región global donde se llevará a cabo la producción de bioplásticos. Los costos serán menores si la planta se integra con las líneas de producción existentes donde la materia prima es acumulada directamente (**Al-battashi et al., 2018**).

El Atlas bioenergético del Ecuador realizado por el **Ministerio de Electricidad y Energía Renovable et al. (2014)** indican que el país dispone de tres fuentes de biomasa predominantes en volumen: desechos agrícolas, pecuarios y forestales. Los desechos agrícolas en este sector la biomasa está conformada por los subproductos que se generan durante los procesos de recolección y transformación de las cosechas generando aproximadamente 18 millones de toneladas por año en el país. Los desechos pecuarios provienen de actividades avícolas, porcinas y vacunas, los residuos de estas actividades superan el millón de toneladas por año. Los desechos forestales provienen de las plantaciones de bosques del país como los residuos foresto industriales llegando a las 216.157 toneladas por año.

Los residuos agropecuarios son los más abundantes y los que tienen mayor potencial para aportar fuentes de carbono utilizable (**Fredi & Dorigato, 2021**).

Zhang et al. (2015) mencionan que la biomasa agrícola lignocelulósica contiene celulosa (35%-50%), hemicelulosa (15%-30%) y lignina (20%-30%) y su composición depende del tipo de residuo y la especie de cultivo (Tabla 7). **Singhvi & Gokhale (2013)** señalan en su review llamado “Biomasa a polímero biodegradable (PLA)” que la celulosa es el biopolímero más abundante que se encuentra en la naturaleza y consta de microfibrillas largas que son dímeros de molécula de glucosa. Estas biomoléculas tienen dominios cristalinos y son degradadas por ácidos o enzimas llamadas celulasas a su monómero la glucosa que se fermenta para la obtención de biomateriales o en combustible. El segundo compuesto lignocelulósico es la hemicelulosa que es polímero heterogéneo que varía según su origen y está compuesta principalmente por pentosas, hexosas y ácidos de azúcar. La hidrólisis del polímero requiere varias enzimas como xilanasas, mananasas, entre otras. Por último, la lignina es un polímero que en realidad funciona como un pegamento entre la celulosa y la hemicelulosa y los tres juntos le dan fuerza a la planta haciendo que la pared celular vegetal sea resistente a degradaciones mecánicas y biológicas.

Tabla 7. Residuos agrícolas lignocelulósico del Ecuador adecuados para la obtención de PLA y PHB.

FUENTE NATURAL	PRODUCCION EN ECUADOR	TIPO DE RESIDUO AGRICOLA/PROCESAMIENTO	Composición química (% w/w)			FUENTE
			Celulosa	Hemi-celulosa	Lignina	
Caña de azúcar	Guayas Cañar Loja Imbabura Los Ríos	Bagazo	26-47	19-33	14-23	(Mahmud & Anannya, 2021)
Remolacha azucarera	Pichincha Guayas Cañar Loja Imbabura Los Ríos	Bagazo	26.3	18.5	2.50	(El-Tayeb et al., 2012)
Banana	Los Ríos El Oro Guayas	Cáscara	13.2	14.8	14	(Birania et al., 2021)
Maíz	Los Ríos Guayas Manabí Loja	Tallo	61.20	19.30	6.90	(El-Tayeb et al., 2012)
Naranja	Pichincha Los Ríos Cotopaxi Santo Domingo T.	Cáscara	9.21	10.50	0.84	(Birania et al., 2021)
Piña	Guayas Santo Domingo T. Los Ríos	Cáscara	20.80	17.20	8.90	(Birania et al., 2021)
Plátano	Manabí Los Ríos Santo Domingo T. Guayas	Cáscara	12.17	10.19	2.88	(Birania et al., 2021)

	Bolívar Esmeraldas Zamora Chinchipe					
Arroz	Guayas Los Ríos Manabí	Panca (pajilla)	25-35	32-37	6-10	(Llanos Páez et al., 2016) & (Bhardwaj et al., 2020)
	Loja El Oro	Cáscara	41.2	21	22.4	
Cebada	Chimborazo Cotopaxi Imbabura	Paja	33.8	21.90	13.80	(Singh nee' Nigam et al., 2009)
	Carchi Pichincha Tungurahua Bolívar					
Coco	Esmeraldas Manabí Guayas Loja	Cáscara	27.80	13.60	36	(Bhuyan et al., 2020)
	Manabí El Oro Pichincha Tungurahua Carchi	Cáscara	23.10	8.09	7.60	(Mamma & Christakopoulos, 2014)
Papa	Carchi Chimborazo Cotopaxi Tungurahua Azuay	Cáscara	21	12.50	---	(Javed et al., 2019)
	Carchi Azuay Chimborazo Tungurahua Cotopaxi	Orujo	31	11.50	---	(Assi & King, 2007)

Zanahoria	Pichincha Cotopaxi Tungurahua Bolívar Chimborazo	Orujo	32.20	15.50	---	(Bhardwaj et al., 2020)
Forestal	Imbabura Los Rios Cotopaxi Pichincha Santo Domingo T. Guayas Manabi	Aserrín	45.10	28.10	24.20	(El-Tayeb et al., 2012)

3.2.1. Microorganismos y sustratos adecuados para producir PLA y PHB

El polihidroxi-butilato (PHB) se produce a partir de los sustratos sintetizados por microorganismos especialmente por bacterias. El poliéster se encuentra dentro de la estructura intracelular almacenados en forma de gránulos blancos como reserva de energía y de carbono (Sillanpää & Ncibi, 2017). El porcentaje de biomaterial extraído depende de factores como el tipo de microorganismo utilizado, las condiciones de fermentación y el residuo usado (Tabla 8). Aljuraifani et al. (2018) en su estudio para obtener biopolímeros a partir de fuentes sostenibles de bajo costo indica que las altas relaciones de carbono/nitrógeno tiene un efecto profundo con el crecimiento celular y la acumulación de PHB.

El bloque básico de construcción para la producción de PLA es el ácido láctico (Ahmed Shakeel, 2020). La producción de ácido láctico se puede realizar mediante procesos químicos, aunque el 90% se produce por fermentación bacteriana que se cultivan en condiciones anaeróbicas y con baja producción de energía. Existen más de 20 géneros de phylum Firmicutes que incluyendo a *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Aerococcus*, *Carnobacterium*, entre otros, que producen ácido láctico. Los *Lactobacillus* son los más significativos y existen 80 géneros que producen ácido láctico (Sin & Tueen, 2019).

Así mismo, existen más de 80 cepas bacterianas que fermentan azúcares o lípidos para producir polihidroxi-butilato (PHB), destacando *Bacillus*, *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Rhodospirillum* y *Alcaligene* por la acumulación del biopolímero (Li & Wilkins, 2020).

Tabla 8. Microorganismos productores de PHB & PLA.

Microorganismo	Sustrato	Biopolímero	Peso Seco	Ref.
<i>Pseudomonas Aeruginosa</i>	Melaza de remolacha azucarera	PHB	62%	(Pal et al., 2020)
<i>Bacillus Licheniformis</i>	Cáscara de fruta	PHB	53%	
<i>Bacillus megaterium uyuni S29</i>	Raicillas de malta.	PHB	70%	
<i>Bacillus mycoides DFC1</i>	Melaza de caña de azúcar	PHB	57%	

<i>B. mycoides</i> DFC1	Cáscara de mango	PHB	76%	
<i>Lysinibacillus spp.</i> 3HHX	Cáscara de piña	PHB	80.94%	
<i>Paenibacillusdurus</i> BV-1	Melaza de caña de azúcar	PHB	93%	
<i>Bacillus spp.</i> Ti3	Paja de arroz	PHB	58.73%	(Sindhu et al., 2013)
<i>Pseudomonas spp</i> pepa-P (16)	Salvado de arroz	PHB	90.9%	(Aljuraifani et al., 2018)
	Dátiles	PHB	82.6%	
	Melaza de soja	PHB	91.6%	
<i>Cupriavidus necator</i>	Licor de rastrojo de maíz	PHB	80%	(Li & Wilkins, 2020)
<i>Lactobacillus delbreuckii subspecies delbreuckii</i>	Melaza de caña de azúcar	PLA	55%	
<i>Lactobacillus delbreuckii subspecies bulgaricus</i>	Suero de leche	PLA	91%	
<i>Lactobacillus helveticus</i>	Suero de leche	PLA	85.4%	(Sin & Tueen, 2019)
<i>Lactobacillus amylovirus</i>	Mucilago de cacao	PLA	78%	
<i>Lactobacillus lactis</i>	Pulpa de guineo	PLA	68%	
<i>Rhizopus sp.</i> MK 96-1196	Maíz	PLA	74.5%	
<i>Lactobacillus casei</i> NRRLB-441	Cascarilla de cebada	PLA	84.2%	
<i>L. delbrueckii</i> NCIM 2025 <i>L. casei</i>	Melaza de caña de azúcar	PLA	85%	
<i>Ryzophus Oryzae</i>	Cáscara de guineo	PLA	55%	(Bello et al., 2020)

En la tabla 9 se puede observar ejemplos de diversos sustratos con las condiciones de operación para obtener PHB mediante fermentación. El bagazo de caña de azúcar, por ejemplo, es una de las fuentes lignocelulósicas con mayor potencial para obtener bioplásticos debido a su disponibilidad en el Ecuador con una producción aproximada 798 mil toneladas de desechos **anuales (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable et al., 2014)**. A partir de este sustrato se ha logrado concentraciones de PHB de 5.9 gL^{-1} (Mahmud & Anannya, 2021).

La melaza es una fuente de carbono barata y un subproducto de la industria azucarera, tiene una composición rica en sacarosa, proteína, aminoácidos y microelementos como

Mg, P y K que la convierte en un sustrato ampliamente usado para la fabricación de biopolímeros (Sirohi et al., 2020). En un estudio realizado por Acosta-Cárdenas et al. (2018) obtuvieron una producción de PHB del 97.8% de concentración utilizando la cepa *Ralstonia eutropha* ATCC 17699 que tiene la capacidad de consumir sacarosa como sustrato proveniente de la melaza de caña de azúcar fusionada con vinaza residual derivado de la industria alcohólica.

Otra fuente de carbono de bajo costo o nulo es el suero de leche que es el principal subproducto de las industrias queseras y representa entre el 85% al 90% del volumen de la leche usada en la producción de queso (Guimarães et al., 2010). El suero conserva el 55% de los nutrientes de la leche. En Ecuador la industria quesera genera 1.2 millones de litros por día (Cámara de Comercio de Guayaquil & Federación Nacional de Cámaras de Comercio del Ecuador, 2019). Una parte del suero se convierte en productos utilizados para humanos o animales y la otra mitad de este suero no se aprovecha y generalmente termina siendo desechado a los vertederos. El suero es una importante fuente de carbono para producir ácido láctico y PHB con la interacción de *Lactobacillus* (Raza et al., 2018). Mediante el uso de suero como sustrato se ha obtenido una concentración de 0.54 g/l de PHB mediante fermentación continua. El costo de producción del biopolímero alcanzo los 10.2 \$/kg (Peña-Jurado et al., 2019).

El glicerol crudo principal subproducto de la industria de biodiesel contiene en su composición metanol, sales y grasas insaturadas, mantiene bajos costos y tiene un elevado potencial como sustrato. El uso de glicerol como fuente de carbono ha permitido lograr concentraciones de 2.80 gL⁻¹ de PHB a través de *Bacillus megaterium* (Sirohi et al., 2020).

Tabla 9. Condiciones de operación para obtener PHB con diferentes tipos de sustratos.

Sustrato	Microorganismo	Modo	Condiciones de operación	Concentración de biopolímero	Referencia
Almidón de yuca	<i>Bacillus megaterium</i>	Flask	Temp. = 37 °C; Velocidad de agitación = 150 rpm; Tiempo de incubación = 48h	1.476 gL ⁻¹	(Krueger et al., 2012)
Bagazo de caña	<i>Bacillus safensis EBT1</i>	Biorreactor	Temperatura. = 33 °C; Velocidad de agitación = 200 rpm; inóculo concentración = 5% vv-1; pH = 7,0; Tiempo de incubación = 48 h	5.9 gL ⁻¹	(Sakthiselvan & Madhumathi, 2018)
Paja de arroz	<i>Ralstonia eutropha</i>	Flask	Temp. = 35 °C; Velocidad de agitación = 150 rpm; pH = 7,7 ± 0,5; Tiempo de incubación = 96 h	7.21 gL ⁻¹	(Sandhya et al., 2013)
Aguas residuales de la cervecería y maltosa	<i>Cupriavidus necator</i>	Flask	Temperatura. = 30 °C; Velocidad de rotación = 200 rpm; inóculo concentración = 10% vv-1; Tiempo de incubación = 72 h	3 gL ⁻¹	(Amini et al., 2020)
Desperdicios de cocina	<i>Cupriavidus necator CCGUG 52,238</i>	Biorreactor	Temperatura. = 30 °C; Velocidad de agitación = 200 rpm; pH = 7,0; Tiempo de incubación = 40 horas	0.38 gL ⁻¹	(Alizadeh-Sani et al., 2019)

Aceite de cocina	<i>Cupriavidus necator</i>	Biorreactor	Temperatura. = 30 ± 1 °C; pH = 6,8; Velocidad de agitación = 400–800 rpm; Concentración de inóculo = 10 % vv-1	63%	(Cruz et al., 2015)
Cáscara de mango	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Flask	Temperatura. = 30 °C; Velocidad de agitación = 200 rpm; pH = 7,0; Tiempo de incubación = 40 h	4.03 gL ⁻¹	(Pal et al., 2020)
Cáscara de banana	<i>Bacillus spp</i>	Biorreactor	Temperatura. = 37 °C; Velocidad de agitación = 250 rpm; pH 6,0 ± 0,5; Tiempo de incubación (24 h)	2.1 gL ⁻¹	(Pal et al., 2020)
Suero	<i>Bacillus subtilis</i> EPAH18	Biorreactor	Velocidad de agitación de 200 rpm, sulfato de amonio al 0,5 % (pv-1), 24 h tiempo de fermentación, temperatura de 37 °C y concentración de inóculo al 5% (vv-1).	0.54 gL ⁻¹	(Sin & Tueen, 2019)
Glicerol	<i>Cupriavidus necator</i> 428	Biorreactor	Temperatura. = 30 °C; Velocidad de agitación = 200 rpm; Concentración de inóculo = 2% vv-1; pH = 7,0; Tiempo de incubación = 27 h	0.54 gL ⁻¹	(Das & Grover, 2018)
Glicerol	<i>Bacillus spp.</i> ISTVK1	Flask	Temperatura. = 30 °C; Velocidad de agitación = 150 rpm; Tiempo de incubación = 72 h	4.44 gL ⁻¹	(Morya et al., 2018)

3.3. Parámetros físico-químicos que requieran los biomateriales PLA y PHB para usarse en el envasado de carne cruda

Un estudio realizado por **Coppola et al. (2021)** indican que las principales características físico-químicas de los biomateriales solicitados para realizar empaques alimenticios son la permeabilidad a la humedad, permeabilidad al oxígeno y las propiedades mecánicas (Tabla 10). La importancia de estos parámetros se relaciona con la seguridad microbiológica requerida por la carne para inhibir el crecimiento de patógenos anaerobios y aerobios (**J. P. Kerry, 2012**). Mediante los resultados obtenidos por **Panseri et al. (2018)** los biomateriales pueden ser utilizados en el sector de cárnicos en la fabricación de películas transparentes y bandejas para el envasado al vacío o para el envasado de atmósferas modificadas. Las propiedades físico-químicas de los bioplásticos PHB y PLA registraron valoraciones semejantes a los polímeros sintéticos comparados en el diagrama de araña de la figura 7.

La permeabilidad al oxígeno en los biomateriales es admisible obteniendo una valoración media (figura 6), esta propiedad es importante para evitar la oxidación de los lípidos y el crecimiento de microorganismos. El oxígeno también es responsable de la decoloración, cambios en la textura, ranciedad, malos olores y problemas de sabor (**Katiyar et al. (2019)**). Para mantener la frescura y la calidad de la carne cruda se debe mantener una composición de gas (dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno) constante dentro del envase (**Ahmed Shakeel, 2020**).

Labeaga Viteri (2018) menciona que la permeabilidad a la humedad evita la variación de humedad de los alimentos ya sea por la pérdida de agua al exterior como la ganancia de humedad. Este parámetro ocasiona el deterioro de la carne por el crecimiento de patógenos. La permeabilidad a la humedad de los biomateriales estudiados se puede considerar satisfactoria principalmente en los biomateriales a base de ácido poliláctico (**Coppola et al., 2021**). Por otra parte, la exposición a la humedad de los biopolímeros afecta negativamente el rendimiento de los compuestos mientras que el agua tiene tendencia a plastificar la fibra natural y el biopolímero y, por lo tanto, reduce la rigidez del material compuesto (**Aaliya et al., 2021**).

Tabla 10. Comparación entre los principales plásticos y bioplásticos utilizados en el envasado de carne.

Polímero	Permeabilidad a la humedad	Permeabilidad al oxígeno	Propiedades mecánicas	Biodegradabilidad/Desintegración
PHB	Medio	Medio	Satisfactorio	3-12 meses
PLA	Medio	Alto	Satisfactorio	3-meses
PP	Alto	Muy alto	Moderado	>500 años
LDPE	Bajo	Muy alto	Moderado	>150 años
HDPE	Medio	Medio	Satisfactorio	>150 años
PET	Medio	Medio	Satisfactorio	>300 años
PS	Alto	Muy alto	Moderado	>500 años

Adaptado: Rapisarda et al., (2020) & Coppola et al., (2021).

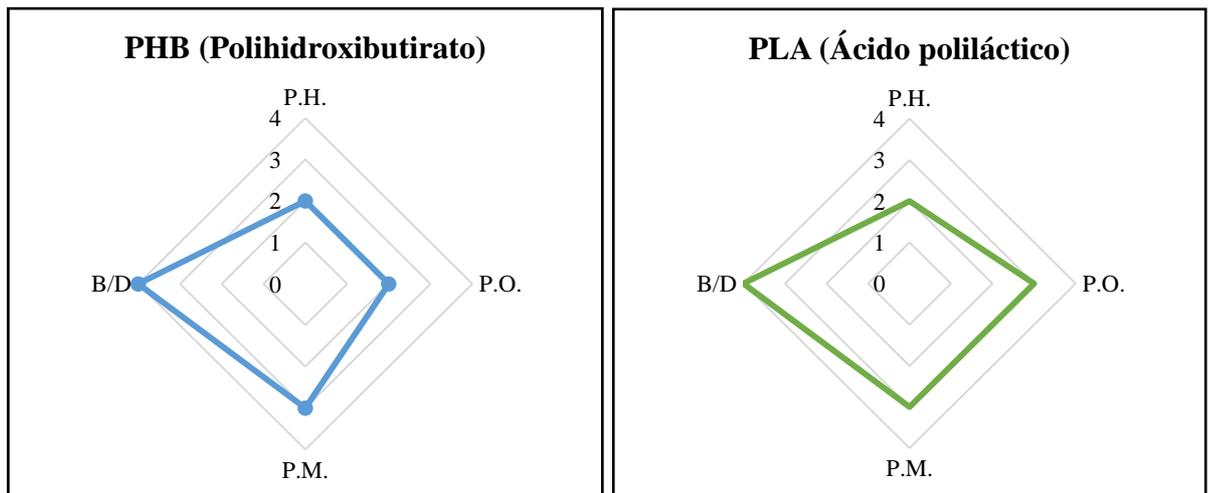


Figura 6. Comparación de la Permeabilidad a la Humedad (PH); Permeabilidad al Oxígeno (PO) Propiedades Mecánicas (PM); Biodegradabilidad/Desintegración (BD) de los bioplásticos PHB y PLA

Nota: Permeabilidad a la humedad y oxígeno: Bajo (1), Medio (2), Alto (3), Muy alto (4). P. mecánicas: Malo (1), Moderado (2), Satisfactorio (3), Muy satisfactorio (4). Biodegradabilidad/Desintegración: < 1 año Muy satisfactorio (4), 1-50 años Satisfactorio (3), 50-100 años Moderado (2), > 100 años Malo (1).

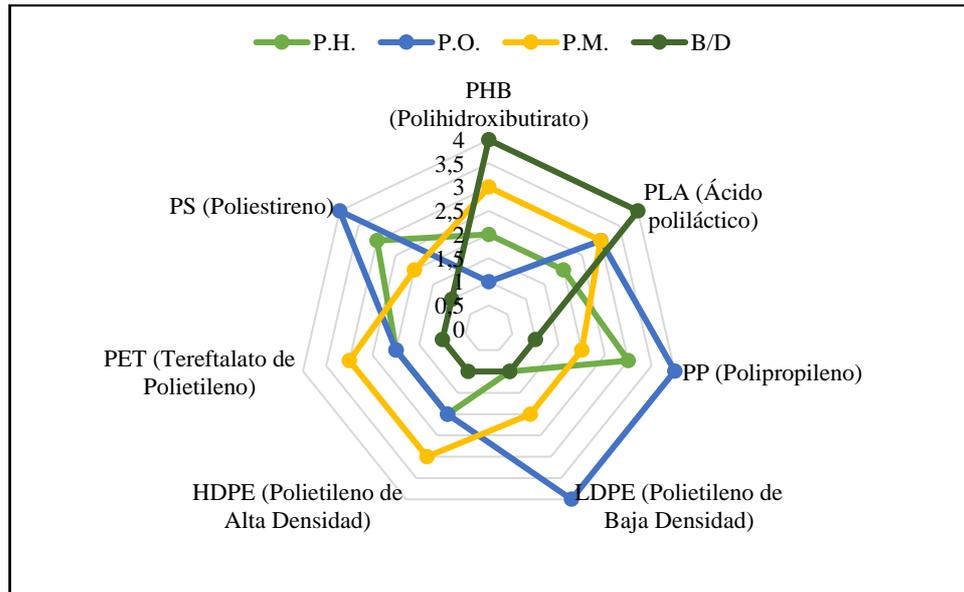


Figura 7. Propiedades de los bioplásticos y plásticos usados en el envasado de carne.

Nota: Permeabilidad a la humedad y oxígeno: Bajo (1), Medio (2), Alto (3), Muy alto (4). **P. mecánicas:** Malo (1), Moderado (2), Satisfactorio (3), Muy satisfactorio (4). **Biodegradabilidad/Desintegración:** < 1 año Muy satisfactorio (4), 1-50 años Satisfactorio (3), 50-100 años Moderado (2), > 100 años Malo (1).

3.3.1. Propiedades mecánicas de los biopolímeros usados para el envasado de carne cruda

Las propiedades mecánicas de los biopolímeros indican la resistencia del bioplástico para moldearlo y el impacto que este puede soportar a golpes que se presenten durante el transporte y comercialización de la carne cruda (Ahmed Shakeel, 2020). Por ejemplo, el biopolímero PLA tiene alta fuerza de tensión, módulo de tensión y alargamiento a la rotura, permitiendo tener múltiples funcionalidades para poder moldear y diseñar envases para empacar alimentos.

La tabla 11 muestra las propiedades mecánicas de los principales bioplásticos y plásticos convencionales de interés en el empaquetado de carne fresca. Se utilizó una tabla con escala de colores (verde, amarillo y rojo) en cada propiedad aplicando un degradado. El color rojo indica bajos niveles de medición para la propiedad mecánica del polímero mientras que el color verde revela óptimas condiciones.

El PLA puede reemplazar al polietileno de alta densidad (HDPE), polietileno de baja densidad (LDPE), PET (tereflato de polietileno) y PS (poliestireno) como material de embalaje debido a sus propiedades mecánicas apropiadas para el uso como material de envase (**Jabeen et al., 2015**). Así mismo **McAdam et al. (2020)** indican que generalmente el PHB es de naturaleza rígida con un alto grado de cristalinidad, sus propiedades mecánicas son adecuadas para reemplazar el film utilizado en el envasado de bandejas en la industria cárnica. Sobre todo, tiene propiedades similares al polímero PP (polipropileno), PE (polietileno), LDPE (polietileno de baja densidad), y HDPE (polietileno de alta densidad).

Por otra parte, los biopolímeros también tienen algunas limitantes como: la baja resistencia a la humedad, la temperatura de descomposición térmica, el fuego, los rayos UV y la resistencia biológica en comparación con los plásticos tradicionales (**Aaliya et al., 2021**).

Para mejorar las propiedades mecánicas como la rigidez y resistencia de los biopolímeros se puede desarrollar una etapa extra de reforzamiento con fibras de origen animal o vegetal. **Aaliya et al. (2021)** recopilaron información del reforzamiento aplicando al ácido poliláctico con fibra de gusano de seda, fibra de pluma de pollo, fibra de paja de arroz y fibra de yute. Los resultados mostraron incremento en la elasticidad y estabilidad térmica en la primera mezcla, en la segunda mezcla aumentó el módulo de tracción y la estabilidad térmica, en la tercera aumentó la hidrofobicidad, la resistencia a la tracción y la estabilidad térmica y en el último aumento el módulo de tracción y en la resistencia al impacto.

Los estudios en el envasado de carne fresca mediante biomateriales se han enfocado en el envasado al vacío y en el envasado en atmósferas modificadas. **J. P. Kerry (2012)** indica en su libro que el envasado al vacío (VP) se logra evacuando el aire del interior del empaque asegurándose de que no contenga ninguna atmósfera antes del termosellado mientras el envasado en atmósferas modificadas (MAP) se genera por la alteración inicial del entorno gaseoso para ralentizar la tasa de respiración, el crecimiento microbiano y la degradación enzimática de la carne fresca. Debido a que los alimentos frescos pueden respirar naturalmente o contener microorganismos que respiren se consume O₂ y se produce CO₂ y vapor de agua alcanzando una composición de estado estacionaria dentro del paquete.

El MAP y el VP se diseñan para eliminar microorganismos aerobios y cambios en la calidad oxidativa mediante la exclusión de oxígeno. En el primer caso se puede añadir dióxido de carbono para retardar el crecimiento de aproximadamente 20% de microorganismos. Convencionalmente se usa tereftalato de polietileno (PET) y poliestireno (PS) para fabricar bandejas mientras que en el envasado al vacío se utilizan películas comerciales de polietileno de alta densidad (HDPE) y polipropileno (PP) (Povea Garcerant, 2014).

Otra propiedad que presentan los biopolímeros de interés para el estudio es la característica de ser termoplásticos y termoestables, la primera propiedad le permite fundirse a altas temperaturas y darle diversa forma, mientras la segunda propiedad le permite asumir la forma después de haber sido moldeado (Aaliya et al., 2021).

Tabla 11. Propiedades mecánicas de los polímeros usados en envases para carne.

Polímero	Densidad (g/cm^3)	Fuerza de tensión (MPa)	Módulo de tensión (MPa)	Alongamiento a la rotura (%)	Punto de fusión (°C)	Fuente
PHB	1.18-1.26	25-40	3500	5-8	168-182	(Cherpinski et al., 2017)
PLA	1.21-1.25	48-60	3500	30-240	150-162	(Misra et al., 2015)
PP	0.9-1.16	30-40	1100-1600	20-400	161-170	(Cherpinski et al., 2017)
LDPE	0.94	8-20	300-500	100-1000	98-115	(Misra et al., 2015)
HDPE	0.97	10	177	700	110	(Cherpinski et al., 2017)
PET	1.38	56	2800-4100	30-300	262	(Misra et al., 2015)
PS	1.05	34-50	2300-3300	1.2-2.5	70-115	(Misra et al., 2015)

Escala:



Nivel más bajo —————> Nivel más óptimo

3.4. Ventajas de los biopolímeros PLA y PHB obtenidos por fermentación

Los polímeros biodegradables han recibido mucha atención en las últimas décadas debido a sus aplicaciones potenciales con los campos de protección al medio ambiente a las ventajas económicas, industriales y legales resumidas en la tabla 14.

3.4.1. Ventajas Económicas

En su estudio **Khalil et al. (2016)** informan que la reducción en el precio de los bioplásticos como el PLA se debió al aprovechamiento de nuevos recursos biotecnológicos y de sustratos. En 1990 el PLA se vendía a tres dólares la libra, pero a partir del 2010 su precio oscila los 90 centavos la libra. Del mismo modo el costo del sustrato proveniente de recursos nuevos como la glucosa tiene un costo de \$ 0.493 por kilogramo, mientras el costo de sustratos proveniente de residuos agrícolas como la melaza de caña tiene un valor de \$0.22 por kilogramo. El suero de queso también tiene un valor inferior a \$0.071 por kilogramo. Todos estos son factores favorables para la reducción de los costos del proceso de elaboración del PLA y PHB. En la tabla 12 se puede comparar el precio de la glucosa como biomasa natural y la biomasa residual del suero (**Coppola et al., 2021**) & (**McAdam et al., 2020**).

Tabla 12. Costo del sustrato y el rendimiento utilizados en la producción del PHB.

Sustrato	Costo de sustrato (US \$/kg)	Rendimiento de PHB	Costo de producción (US \$/kg)
Glucosa	0.493	0.38	1.3
Sacarosa	0.29	0.4	0.72
Metanol	0.18	0.43	0.42
Ácido acético	0.595	0.38	1.56
Etanol	0.502	0.5	1
Melaza de caña	0.22	0.42	0.52
Suero de queso	0.071	0.33	0.29

Fuente: McAdam et al., (2020).

3.4.2. Ventajas Industriales

FoodsServiceWareHouse establece que se necesita menos energía en la producción de bioplástico biodegradable en comparación con los plásticos comunes (**Labeaga Viteri, 2018**). El alto costo de la producción de PHA es el resultado de la alta demanda de energía relacionada con la esterilización complicada y la aireación intensiva, la baja conversión de sustratos de carbono en productos PHA, el lento crecimiento de microorganismos y los procesos discontinuos. Como respuesta a esta problemática los estudios se centran en el uso de bacterias extremófilas que son resistentes a la contaminación acompañada de la ingeniería metabólica y la biología sintética para manipulaciones moleculares (**Chen & Jiang, 2017**).

Existen desafíos para producir biopolímeros como el PHA (Tabla 13). Una de las limitantes es la contaminación microbiana dando lugar a pérdidas financieras (**McAdam et al., 2020**). Cuando se utilizan desechos como materia prima para la biosíntesis de PHA, se debe considerar la pureza de los PHA producidos, ya que las contaminaciones virales, bacterianas, plasmídicas o genéticas pueden transferirse al material final (**Raza et al., 2018**).

Tabla 13. Desafíos para producir PHA rentable

Problemas	Razones	Soluciones
Altas demandas de energía	Esterilización y aireación intensiva	Procesos no estériles y micro aeróbicos
Sustratos bajos para la conversión de PHA	Los sustratos se consumen para otros fines	Debilitamiento de vías no relacionadas con PHA
Estructura de PHA inestables	Múltiples vías que consumen precursores de PHA	Debilitamiento de vías no relacionadas con PHA
Lotes inestables	Actividad inestable de PHA sintasa	Control de la actividad
Crecimiento inestable	Fisión binaria	Fusión múltiple
Procesos discontinuos	Evita posibles contaminaciones	Utilizar cepas resistentes a la contaminación
Costoso downstream	Complejidad de extracción y pureza de los productos	Ingeniería morfológica

Fuente: Chen & Jiang (2017).

La fermentación es una de las técnicas primordiales para generar productos de valor agregado. El procedimiento permite aprovechar los residuos agrícolas y agropecuarios que están enriquecidos de azúcares, vitaminas, minerales, enzimas, micronutrientes, entre otras (Arun et al., 2020).

El ácido láctico necesario para producir PLA se lo puede obtener por síntesis química o fermentación microbiana siendo el segundo el proceso biotecnológico el que tiene costos de sustrato bajos, temperatura de producción reducida y menor consumo de energía. Por lo general las bacterias del género *Lactobacillus* muestran altas conversiones de carbono a partir de materias primas en condiciones de fermentación estándar, como un pH relativamente bajo a neutro, temperaturas de alrededor de 40 °C y bajas concentraciones de oxígeno (Singhvi et al., 2019).

Para producir PHB antes de la fermentación, el almidón se hidroliza a azúcares simples mediante enzimas como la amilasa y la glucoamilasa. La hidrólisis del almidón es un proceso de dos pasos: licuefacción y sacarificación que convierte sustratos almidonosos en azúcares simples (figura 9) (Sirohi et al., 2020).

El pretratamiento previo a un proceso de fermentación es importante porque permite reducir el tamaño de los sustratos, extraer compuestos químicos más pequeños y simples y eliminar materiales inertes que no son adecuados para los siguientes procesos, este procedimiento se lo puede observar en la producción del PLA (figura 8) y PHB (figura 9) (Tsang et al., 2019).

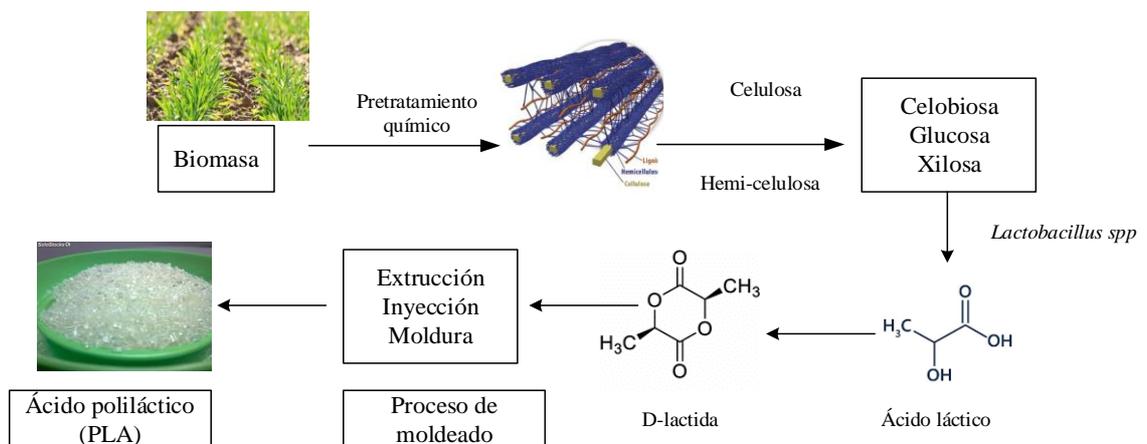
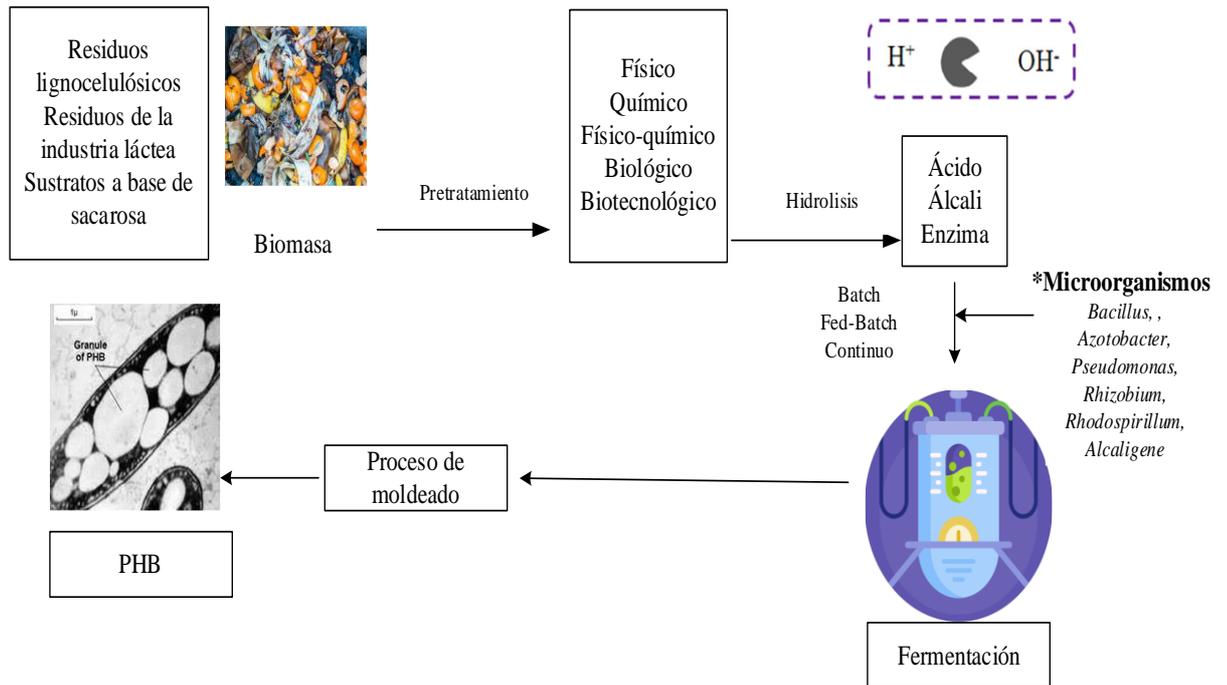


Figura 8. Representación esquemática de la producción de PLA.

Fuente: Singhvi et al. (2019).



*Nota: Se podría utilizar biología sintética.

Figura 9. Representación esquemática de la producción de PHB.

Modificado: Sirohi et al. (2020).

3.4.3. Ventajas Ambientales

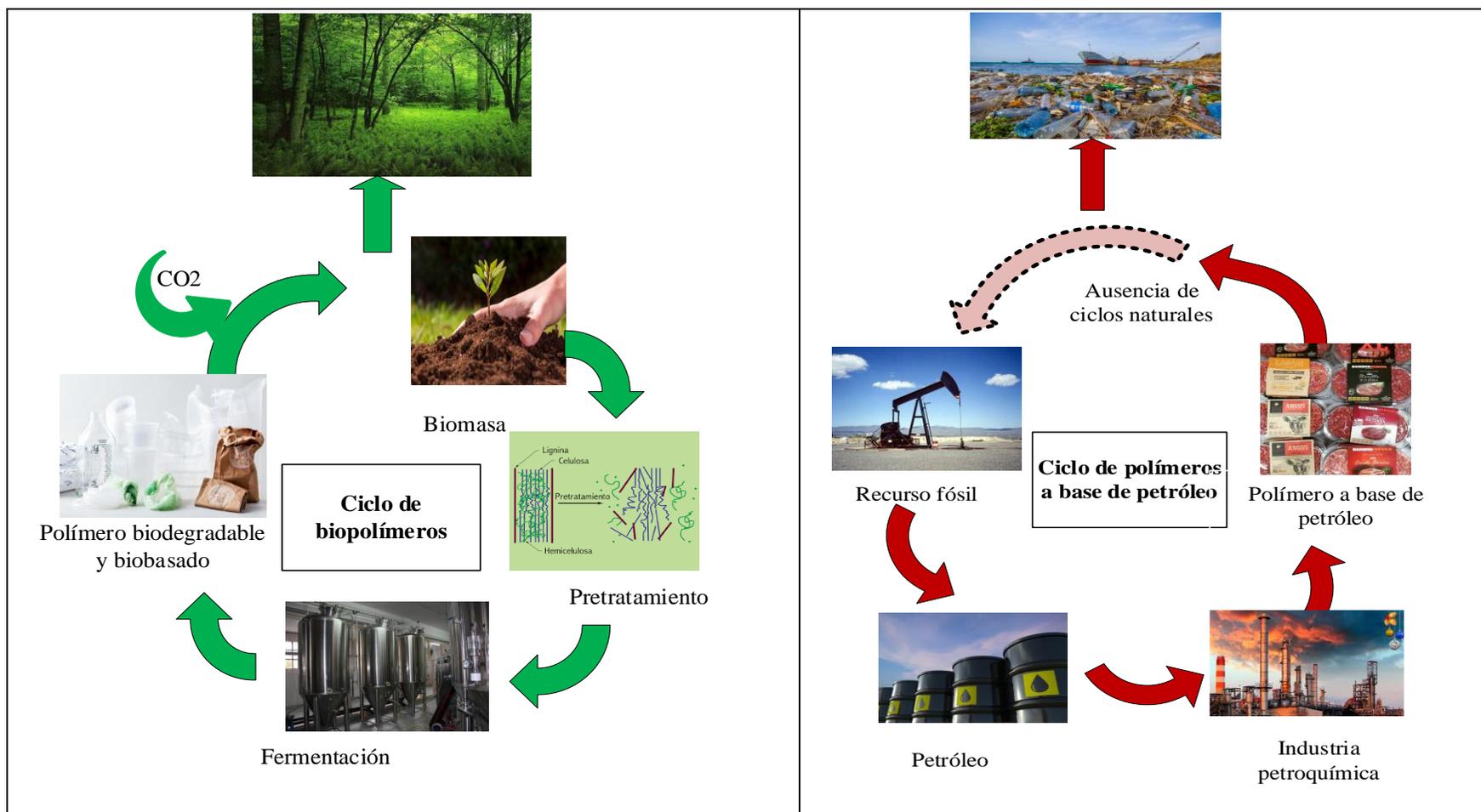
La producción de plástico convencional cada año alcanza nuevos logros incentivando a realizar estudios para la producción potencial de bioplásticos. Debido al alto costo de producción de estos biomateriales se está usando desechos orgánicos como una respuesta a la problemática económica y ambiental porque además reduce el volumen de desecho y subproductos agroalimentarios para llevar una economía circular representados en la figura 10 (Jōgi & Bhat, 2020).

Otra ventaja ambiental de los biopolímeros es su biodegradabilidad. La biodegradación tiende a realizarse en condiciones aerobias o anaeróbicas en escenarios naturales o industriales. Las condiciones aeróbicas incluyen el suelo, compost y algunos entornos acuáticos teniendo biomasa, dióxido de carbono y agua como resultado del proceso. Mientras que en las condiciones anaeróbicas implican digestión de plantas y algunos hábitats acuáticos obteniendo como productos resultantes; biomasa, dióxido de carbono, metano y agua (Jōgi & Bhat, 2020) & (Dilkes-Hoffman et al., 2019).

Sin embargo, la biodegradación de los bioplásticos comerciales (PLA y PHB) en condiciones naturales o en vertederos es muy lenta, por lo que se puede considerar en contaminación ambiental dando lugar a emisiones de metano no controladas optando como mejor opción plantas de compostaje (**Fredi & Dorigato, 2021**). Específicamente el biopolímero PLA debería ser referido técnicamente como compostable ya que requiere de condiciones específicas de mayor temperatura y humedad en presencia de microorganismos apropiados. El bioplástico se descompone completamente a gran escala a una temperatura de 50-60 °C en 90 días (**Lamberti et al., 2020**). Los microorganismos que degradan el PLA se encuentran significativamente en menor cantidad en el medio ambiente en comparación con otros degradadores. El porcentaje de microbios que degradan PLA en el suelo es solo del 0-0,04 % (**Tokiwa & Calabia, 2007**), mientras que los microbios que degradan PHB están entre el 0,2 y el 11,4 % (**Jōgi & Bhat, 2020**).

En el caso del PHB debido a su alta biocompatibilidad tiene una mayor tasa de degradación en ambientes marinos. Después de un año en un ambiente marino a 30 °C, el PLA solo se biodegrada aprox. 8%, mientras que PHB en aprox. 80% (**Lamberti et al., 2020**). **Wang et al. (2018)** indican que el PHB se biodegrada fácilmente en compost, suelo y ambientes marinos siendo estable en ausencia de microorganismos. En condiciones anaeróbicas y a temperatura ambiente, el PHB experimenta una conversión del 62,9 % de su carbono en gas en solo 85 días. Bajo condiciones aeróbicas de agua de mar a temperatura ambiente, el mismo copolímero tiene una pérdida de carbono gaseoso del 83% en 195 días.

Figura 10. Ciclo de vida de los plásticos convencionales y los bioplásticos.



Modificado: Choi et al. (2020).

Tabla 14. Resumen de las ventajas de biopolímeros obtenidos por fermentación

Sector	Ventajas	Referencias
Legal-Normativa	<ul style="list-style-type: none"> - Los biopolímeros PLA y PHB están certificados por la FDA como biomateriales biocompatibles y de baja toxicidad. - Adecuados para estar en contacto con los alimentos. - Los materiales de envasado a base de PLA se han considerado seguros (GRAS), lo que los coloca en una posición única para aplicaciones alimentarias 	(Arun et al., 2020)
Económico	<ul style="list-style-type: none"> - Recursos renovables abundantes y disponibles anualmente. - Aprovechamiento de los residuos agrícolas reduciendo el costo de producción hasta el 50% en todo el proceso. 	(Al-battashi et al., 2018).
Industrial	<ul style="list-style-type: none"> - Las propiedades mecánicas del PLA y PHB son aceptables para envasar carne empacadas al vacío o en atmósferas modificadas. - Control de la migración intercomponente de humedad y gases. - Se requiere una menor cantidad de energía en la producción de plástico biodegradable. 	(Coppola et al., 2021) & (Ahmed Shakeel, 2020).
Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> - Los biopolímeros PLA y PHB son compostables, biodegradables y de origen biológico - Periodo de Biodegradabilidad no mayor a un año. - Reducción del volumen, peso y desperdicio de envases - Bacterias del suelo pueden biodegradarlo. - La descomposición de plásticos biodegradables en el suelo mejora la eficacia nutricional liberando compuestos extracelulares y por lo tanto mejora la fertilidad del suelo. 	(Rapisarda et al., 2020), (Ahmed Shakeel, 2020) & (Coppola et al., 2021)

3.5. Beneficios en los cárnicos crudos por el uso de los biomateriales en el envasado y empaque

La creación de opciones innovadoras que aseguren la inocuidad, conservación, protección y el mantenimiento de la calidad e integridad del producto en el tiempo son distintivos importantes de los envases en alimentos. Así como también su facilidad de manipulación en la cadena de transporte, son características que el consumidor requiere de un envase además de los beneficios ambientales **(Calva Estrada et al., 2019)**.

El uso de envases que contienen películas de agentes antimicrobianos promueve la seguridad y calidad de la carne envasada reduciendo los niveles de microorganismos patógenos como *Escherichia coli* O157: H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*

Typhi y *Staphylococcus aureus* (**H. Zhang et al., 2020**). **Perlo et al. (2020)** en su estudio indican que los antioxidantes y antimicrobianos en carnes logra alargar la vida útil de almacenamiento en refrigeración. El desarrollo y la aplicación de películas o recubrimientos activos que contienen compuestos antibacterianos han tenido prioridad sobre los biomateriales más que en otro tipo de materiales de envasado de alimentos activos (**Noori et al., 2021**).

El tiempo de vida útil estimado de la carne fresca es de hasta 10 días en refrigeración (**Rehan Khan et al., 2020**), mediante la combinación del envasado en atmósferas modificadas o envasado al vacío usando películas de bioplástico se puede prolongar hasta 5 días más el tiempo de vida en anaquel.

De modo similar los envases biodegradables y biobasados ayudan a conservar las características sensoriales de la carne como el sabor, textura y color ya que el envasado en MAP y VAP tienen alteraciones como la pérdida de coloración, coloración parda, olores y sabores anormales (**Plinio, 2018**).

Panseri et al. (2018) realizaron un estudio piloto entre dos materiales diferentes para el envasado para carne de res fresca (ácido poliláctico de base biológica y polietileno amorfo de base fósil combinación de tereftalato/polietileno + PVC). Los resultados de los análisis microbiológicos relacionados con la vida útil (recuento de psicrófilos viables totales, *Pseudomonas spp.* y recuentos de especies de *Lactobacillus* viables totales mostraron el mismo comportamiento en carne envasada en PLA frente a carne almacenada en sistema de envasado convencional. El análisis sensorial del color indicó al envasado PLA como material adecuado para conservar el color rojo cereza en carnes rojas refrigeradas también durante toda su vida útil, de la misma forma la puntuación de acidez también se consideró más baja en la carne envasada en PLA. El valor de acidez y pH es un indicador de la retención de agua, resistencia microbiana, el sabor y el color determinando el grado de aceptabilidad por parte del consumidor (**Safaei & Roosta Azad, 2020**).

Tabla 15. Ventajas de los envases biodegradables y biobasados en carnes.

Películas de bioplástico	Fuente de carbono	Ventajas en el envasado de las carnes	Fuente
PHB	Yuca y aceite esencial de orégano	<ul style="list-style-type: none"> - El almacenamiento en congelación fue de 15 días manteniendo las propiedades organolépticas y sensoriales. - Las variables de color (luminosidad e índice rojo) de la carne se mantuvo durante el almacenamiento. - El sabor y el aroma fueron propios de la carne fresca. - Antimicrobiano: retardan el desarrollo de <i>E. coli</i>, coliformes totales y <i>Pseudomas spp.</i> 	(Carvalho et al., 2015)
PLA	Cascara de camarón	<ul style="list-style-type: none"> - Inhibición antimicrobiana contra <i>Listeria monocytogenes</i> y <i>Salmonella spp</i> durante un tiempo de 1 a 2 semanas almacenados a 10 °C. 	(Guo et al., 2014)
PLA	Melaza de caña de azúcar	<ul style="list-style-type: none"> - El color de la carne se mantuvo durante el tiempo de almacenamiento. - Los valores de la prueba de acidez fueron bajos. - Alargamiento en el tiempo de vida útil. - Antimicrobiano: Recuento mínimos de psicrófilos viables totales, <i>Pseudomonas spp.</i> y <i>Lactobacillus.</i> 	(Mahmud & Anannya, 2021)
PLA	Cascara de plátano	<ul style="list-style-type: none"> - Antimicrobiano contra bacterias grampositivas (<i>Staphylococcus aureus</i>) y gramnegativas (<i>Pseudomonas aeruginosa.</i>) - Prolongación de la vida útil de la carne no mayor a 6 días. 	(Safaei & Roosta Azad, 2020)
PLA-PHB	Suero	<ul style="list-style-type: none"> - Antioxidante - Antimicrobiano 	(Ma et al., 2018)

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

4.1. Conclusiones

- Los residuos agropecuarios pueden ser aprovechados como sustratos en la fabricación de bioplásticos mediante la fermentación debido a su composición de polisacáridos, azúcares, vitaminas y micronutrientes. Destaca la melaza de caña de azúcar, cáscara de frutas, bagazo de caña y suero de leche por su accesibilidad, volumen de producción anual y disponibilidad durante el año.
- Los parámetros físico químicos que debe tener un empaque usado en el envasado de carne son: permeabilidad a la humedad, permeabilidad al oxígeno y propiedades mecánicas. La primera propiedad evita la variación de humedad de los alimentos impidiendo el deterioro, la permeabilidad al oxígeno impide la oxidación de los lípidos y el crecimiento de microorganismos en la carne y las propiedades mecánicas como fuerza de tensión, módulo de tensión, alongamiento a la rotura y punto de fusión indican la resistencia del bioplástico para moldearlo además del impacto que este puede soportar durante el transporte y comercialización
- Existen ventajas ambientales, industriales, económicas y legales al analizar biopolímeros como base para la producción de envases. La principal ventaja ambiental es la reducción de la huella de carbono, la facilidad de aplicar atmósferas modificadas, y vacío son ventajas a nivel del envasado industrial de carnes crudas. El aprovechamiento de los residuos agropecuarios por su bajo costo y volumen disponible son ventajas económicas, por último, la regulación por la FDA certificando a los biopolímeros PHB y PLA como biomateriales seguros y no tóxicos para estar en contacto con los alimentos son ventajas que otros biopolímeros no disponen.
- El uso adecuado de envases biodegradables y películas de PLA y PHB logran la conservación de carnes, mejora los atributos de calidad que se requiere en los cárnicos, permiten la aplicación de películas con preservantes naturales alargando el tiempo de vida útil por sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas.

CAPITULO V

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aaliya, B., Sunooj, K. V., & Lackner, M. (2021). Biopolymer composites: a review. *International Journal of Biobased Plastics*, 3(1), 40–84. <https://doi.org/10.1080/24759651.2021.1881214>
- Acosta-Cárdenas, A., Alcaraz-Zapata, W., & Cardona-Betancur, M. (2018). Sugarcane molasses and vinasse as a substrate for polyhydroxyalkanoates (PHA) production. *DYNA*, 85(206), 220–225. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.68279>
- Ahmed Shakeel. (2020). *Bio-based Materials for Food Packaging* (S. Ahmed, Ed.). <https://doi.org/10.1201/9780429322129-1>
- Al-battashi, H., Annamalai, N., Al-kind, S., Nair, A. S., Al-bahry, S., Verma, J. P., & Sivakumar, N. (2018). Production of bioplastic (poly-3-hydroxybutyrate) using waste paper as a feedstock: Optimization of enzymatic hydrolysis and fermentation employing *Burkholderiasacchari*. *Cleaner Production*, 214, 236–247. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.239>
- Alizadeh-Sani, M., Ehsani, A., Moghaddas Kia, E., & Khezerlou, A. (2019). Microbial gums: introducing a novel functional component of edible coatings and packaging. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(17), 6853–6866. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09966-x>
- Aljuraifani, A. A., Berekaa, M. M., & Ghazwani, A. A. (2018). Bacterial biopolymer (polyhydroxyalkanoate) production from low-cost sustainable sources. *MicrobiologyOpen*, 8(6), 1–7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/mbo3.755>
- Amini, M., Yousefi-Massumabad, H., Younesi, H., Abyar, H., & Bahramifar, N. (2020). Production of the polyhydroxyalkanoate biopolymer by *Cupriavidus necator* using beer brewery wastewater containing maltose as a primary carbon source. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(1), 103588. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103588>
- Arun, K. B., Madhavan, A., Sindhu, R., Binod, P., Pandey, A., Reshmy, R., & Sirohi, R. (2020). Remodeling agro-industrial and food wastes into value-added

- bioactives and biopolymers. *Industrial Crops & Products*, 154(112621), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112621>
- Assi, J. A., & King, A. J. (2007). Assessment of Selected Antioxidants in Tomato Pomace Subsequent to Treatment with the Edible Oyster Mushroom, *Pleurotus ostreatus*, under Solid-State Fermentation. *AGRICULTURAL AND FOOD CHEMISTRY*, 55(22), 9095–9098. <https://doi.org/10.1021/jf070770v>
- Banco Central del Ecuador. (2019). *Reporte de Coyuntura del Sector Agroalimentario*. <https://www.bce.fin.ec/index.php/banco-central-del-ecuador>
- Bello, A., Morales, K., Sánchez, L., Lidueñez, V., Leal, A., & Gelves, G. (2020). Computational Implementation of Required Industrial Unit Operations for Bio-Plastic Production From Starch Extracted from Banana Peels by Aerobic Fermentation using *Rizophus Oryzae*. *Conference Series*, 1–10. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1655/1/012078>
- Bhardwaj, A., Alam, T., Sharma, V., Alam, M. S., Hamid, H., & Deshwal, G. K. (2020). Lignocellulosic Agricultural Biomass as a Biodegradable and Eco-friendly Alternative for Polymer-Based Food Packaging. *Packaging Technology and Research*, 4(2), 205–216. <https://doi.org/10.1007/s41783-020-00089-7>
- Bhuyan, N., Narzari, R., Gogoi, L., Bordoloi, N., Hiloidhari, M., Palsaniya, D. R., Deb, U., Gogoi, N., & Kataki, R. (2020). Valorization of agricultural wastes formultidimensional use. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 41–78). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64309-4.00002-7>
- Bioplástico Europeo. (2018). *¿Qué son los bioplásticos?* <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>
- Bioplástico Europeo. (2020). *Mercado de bioplásticos de desarrollo 2020*. https://docs.european-bioplastics.org/conference/Report_Bioplastics_Market_Data_2020_short_version.pdf

- Birania, S., Kumar, S., Kumar, N., Attkan, A. K., Panghal, A., Rohilla, P., & Kumar, R. (2021). Advances in development of biodegradable food packaging material from agricultural and agro-industry waste. In *Food Process Engineering*. John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13930>
- Byun, Y., & Kim, Y. T. (2014). Bioplásticos para envasado de alimentos: química y física. En Innovaciones en el envasado de alimentos. In *Innovations in Food Packaging* (pp. 349–366). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00014-X>
- Calva Estrada, S. J., Jiménez Fernández, M., & Lugo Cervantes, E. (2019). Películas a base de proteínas: avances en el desarrollo de biomateriales aplicables al envasado de alimentos. *Reseñas de Ingeniería Alimentaria*, 11(2), 1. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12393-019-09189-w>
- Cámara de Comercio de Guayaquil, & Federación Nacional de Cámaras de Comercio del Ecuador. (2019). *Prohibición al suero de leche: Desperdicio, Informalidad y Daño Ambiental*.
- Candia, M. N., & Simón, M. H. (2015). *Biopolímeros y Bioplásticos*.
- Carvalho, CB., Madrona, GS., Mitcha, JG., Valero, MV., Guerrero, A., Scapim, MRS., Yamashita, F., & Prado, IN. (2015). Efecto del envasado activo con orégano aceite en hamburguesas de ternera con bajo contenido de sodio. *Revista Ciencia de Los Alimentos*.
- Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrena, R., Gea, T., & Sánchez, A. (2018). Composting of food wastes: Status and challenges. *Bioresource Technology*, 248, 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.133>
- Chen, G. Q., & Jiang, X. R. (2017). Engineering bacteria for enhanced polyhydroxyalkanoates (PHA) biosynthesis. In *Synthetic and Systems Biotechnology* (Vol. 2, Issue 3, pp. 192–197). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.synbio.2017.09.001>
- Cherpinski, A., Torres-Giner, S., Cabedo, L., & Lagaron, J. M. (2017). Post-processing optimization of electrospun sub-micron poly(3-hydroxybutyrate) fibers to obtain continuous films of interest in food packaging applications. *Food*

Additives & Contaminants: Part A, 34(10), 1817–1830.
<https://doi.org/10.1080/19440049.2017.1355115>

- Choi, S. Y., Rhie, M. N., Kim, H. T., Joo, J. C., Cho, I. J., Son, J., Jo, S. Y., Sohn, Y. J., Baritugo, K. A., Pyo, J., Lee, Y., Lee, S. Y., & Park, S. J. (2020). Metabolic engineering for the synthesis of polyesters: A 100-year journey from polyhydroxyalkanoates to non-natural microbial polyesters. *Metabolic Engineering*, 58, 47–81. <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2019.05.009>
- Ciesielski, S., Mozejko, J., & Pisutpaisal, N. (2015). Plant oils as promising substrates for polyhydroxyalkanoates production. *Cleaner Production*, 106, 408–421. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.040>
- Colombo, B., Villegas Calvo, M., Pepè Sciarria, T., Scaglia, B., Savio Kizito, S., D'Imporzano, G., & Adani, F. (2019). Biohidrógeno y polihidroxialcanoatos (PHA) como productos de un bioproceso de dos pasos de desechos lácteos desproteinizados. *Gestión de Residuos*, 95. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.052>
- Coppola, G., Gaudio, M. T., Lopresto, C. G., Calabro, V., Curcio, S., & Chakraborty, S. (2021). Bioplastic from Renewable Biomass: A Facile Solution for a Greener Environment. *Earth Systems and Environment*, 5(2), 231–251. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00208-7>
- Cruz, M. v., Sarraguça, M. C., Freitas, F., Lopes, J. A., & Reis, M. A. M. (2015). Online monitoring of P(3HB) produced from used cooking oil with near-infrared spectroscopy. *Journal of Biotechnology*, 194, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2014.11.022>
- Das, M., & Grover, A. (2018). Fermentation optimization and mathematical modeling of glycerol-based microbial poly(3-hydroxybutyrate) production. *Process Biochemistry*, 71, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2018.05.017>
- Degli Esposti, M., Morselli, D., Fava, F., Bertin, L., Cavani, F., Viaggi, D., & Fabbri, P. (2021). The role of biotechnology in the transition from plastics to bioplastics: an opportunity to reconnect global growth with sustainability. *FEBS Open Bio*, 11(4), 967–983. <https://doi.org/10.1002/2211-5463.13119>

- Dilkes-Hoffman, L., Ashworth, P., Laycock, B., Pratt, S., & Lant, P. (2019). Public attitudes towards bioplastics—knowledge, perception and end-of-life management. *Resources, Conservation & Recycling*, *151*(104479). <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.104479>
- Ehman, N., & Area, M. C. (2021). Bioplastics Are Revolutionizing the Packaging Industry. *BioResources*, *16*(3), 4663–4666.
- El-Tayeb, T. S., Abdelhafez, A. A., Ali, S. H., & Ramadan, E. M. (2012). Effect of acid hydrolysis and fungal biotreatment of agroindustrial waste to obtain free sugars for bioethanol production. *Revista Brasileña de Microbiología*, *43*(4), 1523-1535.
- FAO. (2021). *Plataforma técnica sobre la medición y la reducción de las pérdidas y el desperdicio de alimentos*. <https://www.fao.org/platform-food-loss-waste/food-waste/introduction/es/>
- Fredi, G., & Dorigato, A. (2021). Recycling of bioplastic waste: A review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, *4*(3), 159–177. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2021.06.006>
- Gnanasekaran, D. (2019). *Green Biopolymers and their Nanocomposites: Materials Horizons: From Nature to Nanomaterials*. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8063-1>
- Guimarães, P. M. R., Teixeira, J. A., & Domingues, L. (2010). Fermentation of lactose to bio-ethanol by yeasts as part of integrated solutions for the valorisation of cheese whey. *Biotechnology Advances*, *28*(3), 375–384. <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2010.02.002>
- Guo, M., Jin, T. Z., & Yang, R. (2014). Antimicrobial Polylactic Acid Packaging Films against *Listeria* and *Salmonella* in Culture Medium and on Ready-to-Eat Meat. *Tecnología de Alimentos y Bioproceso*, *7*(11), 3293–3307. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1322-x>
- Hui, Y. H., Nip, W. K., Rogers, R. W., & Young, O. A. (2001). *Meat Science and Applications* (Marcel Dekker Inc, Ed.). Marcel Dekker AG.

- Ikada, Y., Jamshidi, K., Tsuji, H., & Hyon, S. H. (1987). Styrene macromer maltopentaose and maltoheptaose carriers and their homopolymers. *Macromoléculas*, 20, 906–908.
- INEN 2643. (2012). *Especificación para plásticos compostables*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2643.pdf>
- J. P. Kerry. (2012). *Advances in meat, poultry and seafood packaging* (Vol. 220). Woodhead Publishing.
- Jabeen, N., Majid, I., & Nayik, G. A. (2015). Bioplásticos y envasado de alimentos: una revisión. *Alimentos y Agricultura Convincentes*, 1(1), 2. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1117749>
- Javed, A., Ahmad, A., Tahir, A., Shabbir, U., Nouman, M., & Hameed, A. (2019). Potato peel waste: its nutraceutical, industrial and biotechnological applications. *OBJECTIVES Agriculture and Food*, 4(3), 807–823. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2019.3.807>
- Jōgi, K., & Bhat, R. (2020). Valorization of food processing wastes and by-products for bioplastic production. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 18(100326). <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100326>
- Katiyar, V., Gupta, R., & Ghosh, T. (2019). *Advances in Sustainable Polymers. Materials Horizons: From Nature to Nanomaterials*. (V. Katiyar, R. Gupta, & T. Ghosh, Eds.). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9804-0_10
- Khalil, H. P. S. A., Davoudpour, Y., Saurabh, C. K., Hossain, S., Adnan, A. S., Dungani, R., Paridah, M. T., Sarker, Z. I., Fazita, M. R. N., Syakir, M. I., & Haa, M. K. M. (2016). A review on nanocellulosic fibres as new material for sustainable packaging: Process and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 823–836. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.072>
- Koller, M., Maršálek, L., de Sousa Dias, M. M., & Braunegg, G. (2017). Producing microbial polyhydroxyalkanoate (PHA) biopolyesters in a sustainable manner. In *New Biotechnology* (Vol. 37, pp. 24–38). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.05.001>

- Krueger, C. L., Radetski, C. M., Bendia, A. G., Oliveira, I. M., Castro-Silva, M. A., Rambo, C. R., Antonio, R. v., & Lima, A. O. S. (2012). Bioconversion of cassava starch by-product into Bacillus and related bacteria polyhydroxyalkanoates. *Electronic Journal of Biotechnology*, 15(3). <https://doi.org/10.2225/vol15-issue3-fulltext-6>
- Labeaga Viteri, A. (2018). *Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones*. http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Alabeaga/Labeaga_Viteri_Aitziber_TFM.pdf
- Lamberti, F. M., Román-Ramírez, L. A., & Wood, J. (2020). Recycling of Bioplastics: Routes and Benefits. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(10), 2551–2571. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01795-8>
- Li, M., & Wilkins, M. (2020). Flow cytometry for the quantification of polyhydroxybutyrate production by *Cupriavidus necator* using pretreated alkaline corn stover liquor. *Bioenvironmental Technology*, 295(122254).
- Llanos Páez, O., Ríos Navarro, A., Jaramillo Páez, C. A., & Rodríguez Herrera, L. F. (2016). Rice husk as an alternative in decontamination processes. *Producción Más Limpia*, 11(2), 150–160. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a12>
- Ma, Y., Li, L., & Wang, Y. (2018). Development of PLA-PHB-based biodegradable active packaging and its application to salmon. *Tecnología y Ciencia Del Envasado*, 1–8. <https://doi.org/10.1002/pts.2408>
- Mahmud, Md. A., & Anannya, F. R. (2021). Sugarcane bagasse - A source of cellulosic fiber for diverse applications. *Heliyon*, 7(8), e07771. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07771>
- Mamma, D., & Christakopoulos, P. (2014). Biotransformation of Citrus By-Products into Value Added Products. In *Waste Biomass Valor* (Vol. 5, Issue 4, pp. 529–549). Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/s12649-013-9250-y>
- McAdam, B., Brennan Fournet, M., McDonald, P., & Mojicevic, M. (2020). Production of Polyhydroxybutyrate (PHB) and Factors Impacting Its Chemical and Mechanical Characteristics. *Polymers*, 12(1), 1–20. <https://doi.org/10.3390/polym12122908>

- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Ministerio Coordinador de Producción, E. y C., & Instituto Nacional de Preinversión. (2014). *ATLAS Bioenergético del Ecuador*.
- Misra, M., Pandey, J., & Mohanty, A. (2015). *Biocomposites: design and performance*. Springer.
- Mistriotis, A., Briassoulis, D., Giannoulis, A., & D'Aquino, S. (2016). Design of biodegradable bio-based equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for fresh fruits and vegetables by using micro-perforated poly-lactic acid (PLA) films. *Postharvest Biology and Technology*, *111*, 380–389. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.09.022>
- Morya, R., Kumar, M., & Thakur, I. S. (2018). Utilization of glycerol by *Bacillus* sp. ISTVK1 for production and characterization of Polyhydroxyvalerate. *Bioresource Technology Reports*, *2*, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2018.03.002>
- Murariu, M., & Dubois, P. (2016). Compuestos de PLA: de producción a las propiedades. *Reseñas de Administración Avanzada de Medicamentos*, *107*, 17–46. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.04.003>
- Noori, N., Khanjari, A., Rezaeigolestani, M., Karabagias, I. K., & Mokhtari, S. (2021). Development of Antibacterial Biocomposites Based on Poly(lactic acid) with Spice Essential Oil (*Pimpinella anisum*) for Food Applications. *Polymers*, *13*(21). <https://doi.org/10.3390/polym13213791>
- ONU Medio Ambiente. (2018). Plásticos De Un Solo Uso. In *Tecnology for Enviroment* (Vol. 227, Issue 5).
- Pal, K., Banerjee, I., Sarkar, P., Kim, D., Deng, W. P., Dubey, N. K., & Majumder, K. (2020). *Biopolymer-based formulations: biomedical and food applications*. ELSEIVER. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816897-4.00001-1>
- Panseri, S., Martino, P., Cagnardi, P., Celano, G., Tedesco, D., Castrica, M., Balzaretto, C., & Chiesa, L. (2018). Feasibility of biodegradable based packaging used for

red meat storage during shelf-life: a pilot study. *Food Chemistry*, 248, 1–29.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.067>

Peña-Jurado, E., Pérez-Vega, S., Zavala-Díaz de la Serna, F. J., Pérez-Reyes, I., Gutiérrez-Méndez, N., Vazquez-Castillo, J., & Salmerón, I. (2019). Producción de poli (3-hidroxibutirato) a partir de aguas residuales de una industria láctea utilizando *Bacillus subtilis* EPAH18: Desarrollo y simulación de bioprocesos. *Revista de Ingeniería Bioquímica*, 151.
<https://doi.org/10.1016/j.bej.2019.107324>

Perlo, F. M., Fabre, R., Bonato, P., Jenko, C., Tisocco, O., & Teira, G. (2020). Uso de extracto de romero y ácido ascórbico en la conservación refrigerada de carne de cerdo. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 60.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/https://doi.org/10.33255/3160/738>

PLASBEL. (2019). *Plásticos compostables vs biobasados: Diferencias*.
<https://plasbel.com/diferencias-plasticos-compostables-y-biobasados/>

Plásticos Europa. (2020). *Plásticos: hechos 2020*. https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2021/11/ES_Plastics_the_facts-WEB-2020_May21_final_updatedJuly2021.pdf

Plinio, S. S. (2018). Vida útil en carnes frescas, carnes picadas y preparados cárnicos. *Eurocarne*, 269, 83–96.

PNUMA. (2021). *Desperdicio de Alimentos*.
<https://gastronomiaycia.republica.com/2021/03/05/informe-del-pnuma-indice-de-desperdicio-de-alimentos-2021/#:~:text=Los%20datos%20muestran%20que%20de,cadena%20alimentaria%2C%20y%20el%20resultado>

Povea Garcerant, I. (2014). *La función del envase en la conservación de alimentos*. Ecoe Ediciones.

Rapisarda, M., Patanè, C., Pellegrino, A., Malvuccio, A., Rizzo, V., Muratore, G., & Rizzarelli, P. (2020). Compostable Polylactide and Cellulose Based Packaging for Fresh-Cut Cherry Tomatoes: Performance Evaluation and Influence of

- Sterilization Treatment. *Materials*, 13(15), 1–18.
<https://doi.org/10.3390/ma13153432>
- Raza, Z. A., Abid, S., & Banat, I. M. (2018). Polyhydroxyalkanoates: Characteristics, production, recent developments and applications. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 126, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.10.001>
- Rehan Khan, M., Bilal Sadiq, M., & Mehmood, Z. (2020). Development of edible gelatin composite films enriched with polyphenol loaded nanoemulsions as chicken meat packaging material. *CyTA*, 18(1), 137–146.
<https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1720826>
- Sadeghizadeh-Yazdi, J., Habibi, M., Kamali, A. A., & Banaei, M. (2019). Aplicación de películas a base de almidón comestibles y biodegradables en el envasado de alimentos: revisión sistemática y metanálisis. *Investigación Actual En Nutrición y Ciencia de Los Alimentos*, 7(3), 624–637.
<https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.7.3.03>
- Safaei, M., & Roosta Azad, R. (2020). Preparation and characterization of poly-lactic acid based films containing propolis ethanolic extract to be used in dry meat sausage packaging. *Revista-Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 57(4), 1242–1250. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04156-z>
- Sakthiselvan, P., & Madhumathi, R. (2018). Kinetic evaluation on cell growth and biosynthesis of polyhydroxybutyrate (PHB) by *Bacillus safensis* EBT1 from sugarcane bagasse. *Ingeniería En Agricultura, Medio Ambiente y Alimentos*, 11(3), 145–152. <https://doi.org/10.1016/J.EAEF.2018.03.003>
- Sandhya, M., Aravind, J., & Kanmani, P. (2013). Production of polyhydroxyalkanoates from *Ralstonia eutropha* using paddy straw as cheap substrate. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10(1), 47–54. <https://doi.org/10.1007/s13762-012-0070-6>
- Santos, L. S., Fernandes, C. C., Santos, L. S., Borges de Deus, I. P., de Sousa, T. L., & Dantas Miranda, M. L. (2021). Extracto de Etanólico de papa chinensis var. frutos maduros, compuestos fenólicos, actividad antioxidante y desarrollo de

- películas biodegradables. *Ciencia y Tecnología de Los Alimentos*, 41(2), 497–504. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/fst.08220>
- Sillanpää, M., & Ncibi, C. (2017). A sustainable bioeconomy. In *La revolución industrial verde*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55637-6>
- Sin, L. T., & Tveen, A. S. (2019). *Polylactic Acid* (ELSEIVER, Ed.). William Andrew. <https://www.elsevier.com/books/polylactic-acid/sin/978-0-12-814472-5>
- Sindhu, R., Silviya, N., Binod, P., & Pandey, A. (2013). Pentose-rich hydrolyzate of acid-pretreated rice straw as a carbon source for the production of poly-3-hydroxybutyrate. *Analytical Chemistry Letters*, 78, 67–72.
- Singh nee' Nigam, P., Gupta, N., & Anthwal, A. (2009). Pre-treatment of Agro-Industrial Residues. In *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation* (pp. 13–33). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9942-7_2
- Singhvi, M., & Gokhale, D. (2013). Biomass to biodegradable polymer (PLA). *RSC Advances*, 3(13558). <https://doi.org/10.1039/c3ra41592a>
- Singhvi, M. S., Zinjarde, S., & Gokhale, D. (2019). Polylactic acid: synthesis and biomedical applications. *Applied Microbiology*, 1–15. <https://doi.org/10.1111/jam.14290>
- Sirohi, R., Prakash Pandey, J., Kumar Gaur, V., Gnansounou, E., & Sindhu, R. (2020). Critical overview of biomass feedstocks as sustainable substrates for the production of polyhydroxybutyrate (PHB). In *Bioresource Technology* (Vol. 311). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123536>
- Song, X., Canellas, E., Wrona, M., Becerril, R., & Nerin, C. (2020). Comparison of two antioxidant packaging based on rosemary oleoresin and green tea extract coated on polyethylene terephthalate for extending the shelf life of minced pork meat. *Food Packaging and Shelf Life*, 26(100588). <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100588>
- Tang, Z., Chen, X., Pang, X., Yang, Y., Zhang, X., & Jing, X. (2004). Stereoselective polymerization of rac-lactide using a monoethylaluminum Schiff base complex. *Biomacromoléculas*, 5, 965–970.

- Tokiwa, Y., & Calabia, B. P. (2007). Biodegradability and Biodegradation of Polyesters. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(4), 259–267. <https://doi.org/10.1007/s10924-007-0066-3>
- Tsang, Y. F., Kumar, V., Samadar, P., Yang, Y., Lee, J., Ok, Y. S., Song, H., Kim, K. H., Kwon, E. E., & Jeon, Y. J. (2019). Producción de bioplásticos mediante la valorización de residuos alimentarios. *Internacional Ambiental*, 127, 625–644. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.076>
- Urbanek, A. K., Mirończuk, A. M., García-Martín, A., Saborido, A., de la Mata, I., & Arroyo, M. (2020). Biochemical properties and biotechnological applications of microbial enzymes involved in the degradation of polyester-type plastics. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics*, 1868(2). <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2019.140315>
- Wang, S., Lydon, K. A., White, E. M., Grubbs, J. B., Lipp, E. K., Locklin, J., & Jambeck, J. R. (2018). Biodegradación de plástico de poli(3-hidroxibutirato-co-3-hidroxihexanoato) en condiciones de lodo anaeróbico y agua de mar aeróbica: evolución de gas y diversidad microbiana. *Entorno. Ciencia Tecnología*, 52(10), 5700–5709. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b06688>
- Wei, X. W., Guo, G., Gong, C. Y., Gou, M. L., & Qian, Z. Y. (2011). Biodegradable polymers: research and applications. In Real Sociedad de Química (Ed.), *Un manual de tecnología aplicada de biopolímeros. Síntesis, degradación y aplicaciones*. (pp. 365–387). Sharma, S.K., Mudhoo, A.
- Zhang, H., Ai, M., Shi, F., He, H., Song, H., Luo, Z., Huang, Q., & Lu, J. (2020). Mecanismo de deterioro del cordero picado inducido por el tratamiento de oxidación de Fenton. *LWT*, 134(109980). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109980>
- Zhang, W., Luo, J., Ding, L., & Jaffrin, M. Y. (2015). A Review on Flux Decline Control Strategies in Pressure-Driven Membrane Processes. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 54(11), 1–45. <https://doi.org/10.1021/ie504848m>

ANEXO

ANEXO A. Bitácora de búsqueda del estudio

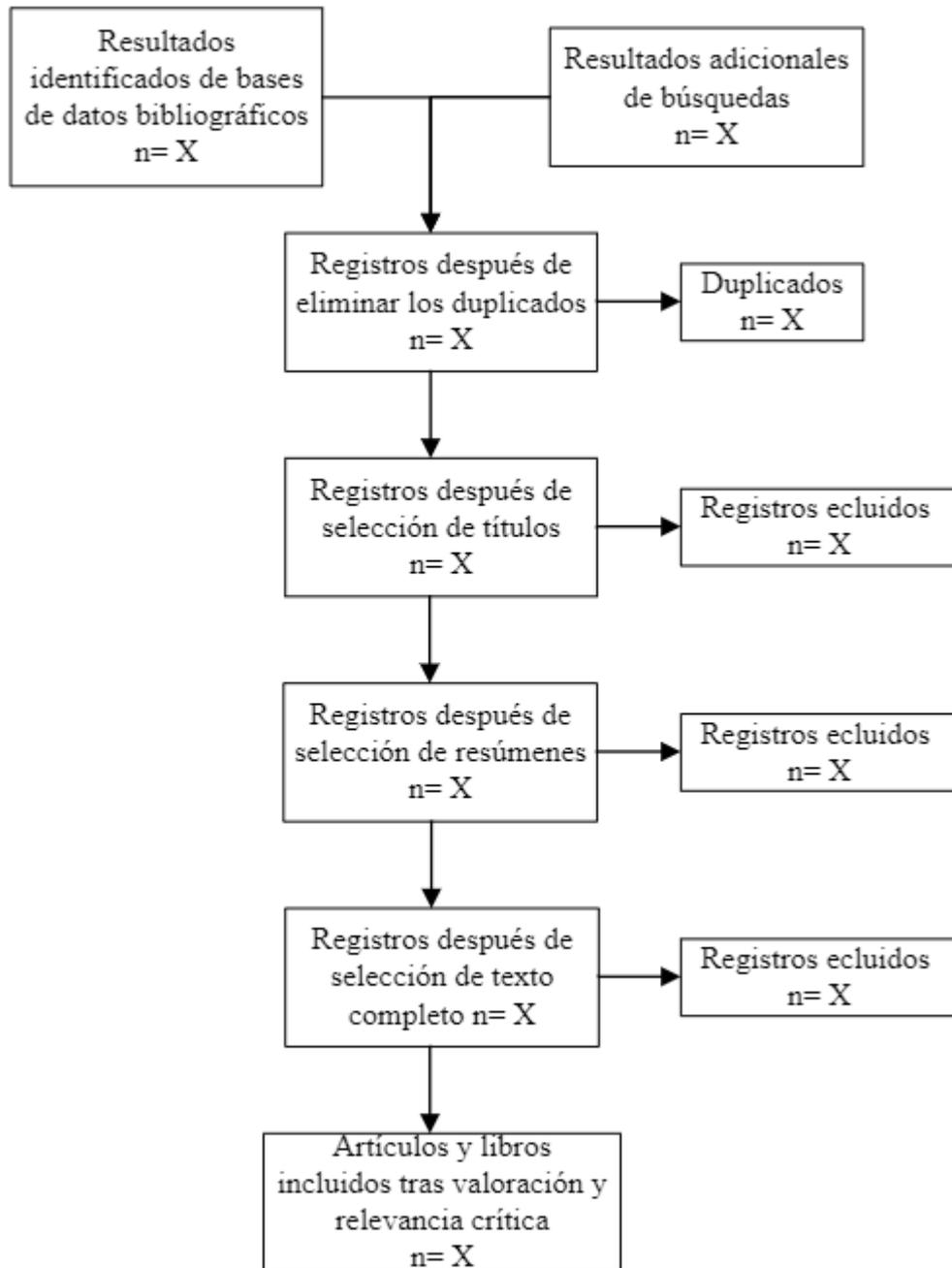
Link:https://utaedu-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/tsampedro4750_uta_edu_ec1/Ebq1KanVO11Dhd-7E34qecoB_SXcsrio8ytfKSuR5U8nNA?e=ulc0cZ

ANEXO B. Ejemplo de formato empleado en bitácora de búsqueda

Motor de búsqueda	Fecha	Ecuación	No. Resultado	Resultados más relevantes	PDF	Link

ANEXO C. Formato del diagrama PRISMA

Diagrama 2. Diagrama PRISMA



Fuente: Sadeghzadeh-Yazdi et al. (2019),

ANEXO D. Formato de la bitácora de búsqueda bibliográfica

Tabla 16. Resumen bibliográfico de los trabajos realizados sobre la aplicación de biomateriales para realizar envases.

Titulo	Tipo de referencia	Cuartil	Índice H	Enfoco de investigación	Referencia
Compuestos de biopolímeros: una revisión	Revista internacional de plásticos de base biológica	Q1	56	Revisión	(Aaliya et al., 2021)
Melaza y vinaza de caña de azúcar como sustrato para la producción de polihidroxialcanoatos (PHA)	Artículo de revista-DYNA	Q3	18	Fabricación y caracterización de biopolímeros	Acosta-Cárdenas et al. (2018)
Materiales de base biológica para el envasado de alimentos.	Libro	---	---	Análisis completo de producción y caracterización de biomateriales	(Ahmed Shakeel, 2020)
Producción de bioplástico (poli-3-hidroxibutirato) utilizando papel de desecho como materia prima: Optimización de la hidrólisis enzimática y la fermentación empleando <i>Burkholderia sacchari</i> .	Revista de producción más limpia.	Q1	200	Fabricación y caracterización de biopolímeros	(Al-battashi et al., 2018)
Producción de biopolímero bacteriano (polihidroxialcanoato) a partir de fuentes sostenibles de bajo costo	Microbiología Abierta	Q2	36	Fabricación y caracterización de biopolímeros	(Aljuraifani et al., 2018)
Remodelación de desechos agroindustriales y alimentarios en	Cultivos y productos industriales	Q1	129	Análisis de las propiedades físico-químicas y mecánicas	(Arun et al., 2020)

bioactivos y biopolímeros de valor agregado.						
Evaluación de antioxidantes seleccionados en orujo de tomate posterior al tratamiento con el hongo ostra comestible, <i>Pleurotus ostreatus</i> bajo fermentación en estado sólido	Diario de la química agrícola y alimentaria	Q1	297	Evaluación y producción de biocompuesto	(Assi & King, 2007)	
Implementación computacional de la unidad industrial requerida Operaciones para la producción de bioplásticos a partir de almidón extraído de cáscaras de plátano por fermentación aeróbica con <i>Rizophus Oryzae</i> .	Serie de conferencias	Q4	85	Fabricación y caracterización de biopolímeros	(Bello et al., 2020)	
Biomasa agrícola lignocelulósica como alternativa biodegradable y ecológica para el envasado de alimentos a base de polímeros	Revista de Tecnología e Investigación de Empaques	Q1	112	Evaluación y producción de biocompuesto	(Bhardwaj et al., 2020)	
Valorización de residuos agrícolas para uso multidimensional	Libro			Evaluación de biopolímeros a base de residuos agrícolas	(Bhuyan et al., 2020)	
Avances en el desarrollo de material de envasado de alimentos biodegradable a partir de residuos agrícolas y agroindustriales	Revista de ingeniería de procesos alimentarios	Q2	45	Análisis y fabricación de biopolímeros	(Birania et al., 2021)	
Bioplásticos para envasado de alimentos: química y física	Libro	---	---	Análisis de las propiedades morfológicas y mecánicas	(Byun & Kim, 2014)	
Películas a base de proteínas: avances en el desarrollo de biomateriales aplicables al envasado de alimentos	Reseñas de ingeniería alimentaria	Q1	47	Análisis de los materiales	(Calva Estrada et al., 2019)	

Efecto del envasado activo con orégano aceite en hamburguesas de ternera con bajo contenido de sodio	Revista Ciencia de los Alimentos	Q1	107	Evaluación de biopolímeros	(Carvalho et al., 2015)
Compostaje de alimentos Residuos: estado y desafíos.	Revista-Tecnología Bioambiental	Q1	294	Revisión	(Cerda et al., 2018)
Ingeniería de bacterias para la biosíntesis mejorada de polihidroxialcanoatos (PHA)	Biotecnología Sintética y de Sistemas	Q1	22	Evaluación y producción de biocompuesto	(Chen & Jiang, 2017)
Ingeniería metabólica para la síntesis de poliésteres: un viaje de 100 años desde los polihidroxialcanoatos hasta los poliésteres microbianos no naturales	Ingeniería metabólica	Q1	117	Análisis de los materiales	Choi et al. (2020)
Los aceites vegetales como sustratos prometedores para la producción de polihidroxialcanoatos	Revista de producción más limpia	Q1	200	Desarrollo y caracterización de películas biodegradables	(Ciesielski et al., 2015)
Biohidrógeno y polihidroxialcanoatos (PHA) como productos de un bioproceso de dos pasos de desechos lácteos desproteinizados.	Gestión de residuos	Q1	161	Desarrollo y caracterización de películas biodegradables	(Colombo et al., 2019)
Bioplástico de biomasa renovable: una solución fácil para un medio ambiente más verde	Sistemas terrestres y Medio Ambiente	Q2	12	Desarrollo y caracterización de películas biodegradables	(Coppola et al., 2021)
El papel de la biotecnología en la transición de los plásticos a los bioplásticos: una oportunidad para reconectar el crecimiento global con la sostenibilidad	Artículo de revista-FEBS Open Bio	Q2	28	Revisión	Degli Esposti et al. (2021)
Actitudes públicas hacia los bioplásticos: conocimiento, percepción y gestión del final de la vida	Recursos, conservación y reciclaje	Q1	130	Revisión	(Dilkes-Hoffman et al., 2019)

Los bioplásticos están revolucionando la industria del embalaje	BioResources	Q1	24	Análisis de los materiales	Ehman & Area (2021)
Efecto de hidrólisis ácida y biotratamiento fúngico de residuos agroindustriales para la obtención de azúcares libres para la producción de bioetanol	Revista Brasileña de Microbiología	Q1	17	Resumen de los principales materiales y componentes que se pueden recuperar de los residuos	(El-Tayeb et al., 2012)
Reciclaje de residuos bioplásticos: una revisión	Investigación avanzada de polímeros industriales y de ingeniería	Q1	15	Revisión	(Fredri & Dorigato, 2021)
Biopolímeros verdes y sus nanocompuestos. Materiales Horizontes: de la naturaleza a los nanomateriales.	Libro	---	---	Evaluación y producción de biocompuesto	Gnanasekaran (2019)
Fermentación de lactosa a bioetanol por levaduras como parte de soluciones integradas para la valorización del suero de queso	Avances en biotecnología	Q1	191	Desarrollo y aplicaciones	(Guimarães et al., 2010)
Películas de envasado de ácido poliláctico antimicrobiano contra <i>Listeria</i> y <i>Salmonella</i> en medio de cultivo y en carne lista para el consumo	Tecnología de alimentos y Bioproceso	Q1	85	Clasificación y aplicación de biopolímeros	(Guo et al., 2014)
Carne Ciencia y Aplicaciones	Libro	---	---	Análisis completo de producción y caracterización de biomateriales	(Hui et al., 2001)
Portadores de maltopentaosa y maltoheptaosa macrómeros de estireno y sus homopolímeros.	Macromoléculas	Q1	313	Análisis de los materiales	(Ikada et al., 1987)

Avances en el envasado de carnes, aves y mariscos	Libro	---	---	Análisis de la carne	(J. P. Kerry, 2012)
Bioplásticos y envasado de alimentos: una revisión	Alimentos y agricultura convincentes	Q1	96	Revisión	(Jabeen et al., 2015)
Residuos de cáscara de patata: sus aplicaciones nutraceuticas, industriales y biotecnológicas	OBJETIVOS Agricultura y Alimentación	Q2	8	Resumen de los principales materiales y componentes que se pueden recuperar de los residuos	(Javed et al., 2019)
Valorización de residuos y subproductos del procesamiento de alimentos para la producción de bioplásticos	Química y Farmacia Sostenibles	Q2	19	Resumen de los principales materiales y componentes que se pueden recuperar de los residuos	(Jōgi & Bhat, 2020)
Avances en polímeros sostenibles. Materiales Horizontes: de la naturaleza a los nanomateriales.	Libro	---	---	Análisis completo de producción y caracterización de biomateriales	(Katiyar et al., 2019) 1
Una revisión sobre fibras nanocelulósicas como nuevo material para envases sostenibles: Proceso y aplicaciones.	Revisiones de energía renovable y sostenible	Q1	295	Revisión	(Khalil et al., 2016)
Producir biopoliésteres de polihidroxialcanoato microbiano (PHA) de manera sostenible	Nueva Biotecnología	Q1	85	Caracterización de películas biodegradables	(Koller et al., 2017)
Reciclaje de Bioplásticos: Rutas y Beneficios	Revista de Polímeros y Medio Ambiente	Q2	74	Análisis de los materiales	(Lamberti et al., 2020)
Citometría de flujo para la cuantificación de la producción de polihidroxibutirato por <i>Cupriavidus necator</i> utilizando licor alcalino pretratado de rastrojo de maíz.	Tecnología Bioambiental	Q1	294	Evaluación y producción de biocompuesto	(Li & Wilkins, 2020)

La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación	Revista de producción más limpia.	Q1	200	Fabricación y caracterización de biopolímeros	(Llanos Páez et al., 2016)
Desarrollo de un activo biodegradable a base de PLA - PHB envasado y su aplicación al salmón	Artículo de revista- Tecnología y ciencia del envasado	Q2	47	Desarrollo y caracterizaron películas	(Ma et al., 2018) 2
Bagazo de caña de azúcar: una fuente de fibra celulósica para diversas aplicaciones	Heliyon	Q1	28	Resumen de los principales materiales y componentes que se pueden recuperar de los residuos	(Mahmud & Anannya, 2021)
Biotransformación de subproductos de cítricos en productos de valor agregado	Valorización de Residuos y Biomasa	Q2	41	Resumen de los principales materiales y componentes que se pueden recuperar de los residuos	(Mamma & Christakopoulos, 2014)
Producción de polihidroxibutirato (PHB) y factores que afectan sus características químicas y mecánicas	Polímeros	Q1	73	Desarrollo y aplicaciones	(McAdam et al., 2020)
Diseño de envases de atmósfera modificada de equilibrio (EMAP) biodegradables de base biológica para frutas y verduras frescas mediante el uso de películas microperforadas de ácido poliláctico (PLA).	Biología y tecnología de poscosecha	Q1	140	Evaluación y producción de biocompuesto	(Mistriotis et al., 2016)
Compuestos de PLA: de producción a las propiedades	Reseñas de administración avanzada de medicamentos	Q1	313	Análisis completo de producción y caracterización de biomateriales	(Murariu & Dubois, 2016)
Desarrollo de Biocompuestos Antibacterianos Basados en	Polímeros	Q1	73	Desarrollo y aplicaciones	(Noori et al., 2021)

Poli(ácido láctico) con Aceite Esencial de Especias (<i>Pimpinella anisum</i>) para aplicaciones alimentarias					
Formulaciones a base de biopolímeros	Libro	---	---	Clasificación y aplicación de biopolímeros	(Pal et al., 2020)
Viabilidad de los envases de base biodegradable utilizados para el almacenamiento de carnes rojas durante la vida útil: un estudio piloto	Química de los alimentos	Q1	262	Análisis completo de producción y caracterización de biomateriales	(Panseri et al., 2018)
Producción de poli (3-hidroxibutirato) a partir de aguas residuales de una industria láctea utilizando <i>Bacillus subtilis</i> EPAH18: Desarrollo y simulación de bioprocesos	Revista de ingeniería bioquímica	Q1	124	Resumen de los principales materiales y componentes que se pueden recuperar de los residuos	(Peña-Jurado et al., 2019)
Uso de extracto de romero y ácido ascórbico en la conservación refrigerada de carne de cerdo	Ciencia, docencia y tecnología	Q1	108	Síntesis y caracterización de las biopolículas	(Perlo et al., 2020)
La función del envase en la conservación de alimentos	Libro	---	---	Análisis completo de producción y caracterización de materiales para empaque de alimentos	(Povea Garcerant, 2014)
Envases compostables a base de polilactida y celulosa para tomates cherry recién cortados: evaluación del rendimiento e influencia del tratamiento de esterilización.	Materiales	Q2	111	Fabricación y caracterización de biopolímeros	(Rapisarda et al., 2020)
Polihidroxialcanoatos: características, producción, desarrollos recientes y aplicaciones.	Biodeterioro y biodegradaciones internacionales	Q1	103	Síntesis y caracterización de las biopolículas	(Raza et al., 2018)

Desarrollo de películas compuestas de gelatina comestible enriquecidas con nanoemulsiones cargadas de polifenoles como material de envasado de carne de pollo	Artículo de revista-CyTA	Q2	22	Desarrollo y aplicaciones	(Rehan Khan et al., 2020)
Preparación y caracterización de películas a base de ácido poliláctico que contienen extracto etanólico de propóleo para su uso en el envasado de embutidos de carne seca	Artículo de Revista-Ciencia y tecnología de Alimentos	Q2	55	Reparación y caracterización de biopelículas	(Santos et al., 2021)
Una bioeconomía sostenible	Libro	---	---	Análisis y Producción de bioplásticos	(Sillanpää & Ncibi, 2017)
Ácido poliláctico	Libro	---	---	Análisis y Producción de bioplásticos	(Sin & Tueen, 2019)
Hidrolizado rico en pentosas de paja de arroz pretratada con ácido como fuente de carbono para la producción de poli-3-hidroxibutirato	Cartas de química analítica	Q1	33	Fabricación y caracterización de biopolímeros	(Sindhu et al., 2013)
Pretratamiento de Residuos Agroindustriales	Libro	---	---	Desarrollo y aplicaciones	(Singh nee' Nigam et al., 2009)
De biomasa a polímero biodegradable (PLA)	RSC Avances	Q1	148	Revisión	(Singhvi & Gokhale, 2013)

Ácido poliláctico (PLA): síntesis y aplicaciones biomédicas	Revista de microbiología aplicada	Q2	156	Revisión	(Singhvi et al., 2019)
Resumen crítico de las materias primas de biomasa como sustratos sostenibles para la producción de polihidroxibutirato (PHB)	Revista-Tecnología Bioambiental	Q1	294	Revisión	(Sirohi et al., 2020)
Comparación de dos envases antioxidantes a base de oleoresina de romero y extracto de té verde recubiertos de tereftalato de polietileno para prolongar la vida útil de la carne de cerdo picada	Envasado de alimentos y vida útil	Q1	34	Análisis de las propiedades morfológicas y mecánicas	(Song et al., 2020)
Polimerización estereoselectiva de rac-lactida usando un complejo de base de monoetilaluminio Schiff.	Biomacromoléculas	Q1	220	Análisis de las propiedades morfológicas y mecánicas	(Tang et al., 2004)
Biodegradabilidad y Biodegradación de Poliésteres	Revista de Polímeros y Medio Ambiente	Q2	74	Análisis de los materiales	(Tokiwa & Calabia, 2007)
Producción de bioplásticos mediante la valorización de residuos alimentarios.	Artículo de revista-Internacional Ambiental	Q1	174	Desarrollo y aplicaciones	(Tsang et al., 2019)
Propiedades bioquímicas y aplicaciones biotecnológicas de las enzimas microbianas implicadas en la degradación de plásticos tipo poliéster.	BBA Proteínas-Proteómica	Q1	140	Fabricación y caracterización de biopolímeros	(Urbanek et al., 2020)
Biodegradación de plástico de poli(3-hidroxibutirato- co -3-hidroxihexanoato) en condiciones de lodo anaeróbico y agua de mar aeróbica: evolución de gas y diversidad microbiana	Ciencia Tecnología Ambiental	Q1	397	Análisis de las propiedades morfológicas y mecánicas	(Wang et al., 2018)

Polímeros biodegradables: investigación y aplicaciones.	Libro	---	---	Análisis de los materiales	(Wei et al., 2011)
Mecanismo de deterioro del cordero picado inducido por el tratamiento de oxidación de Fenton.	LWT	Q1	123	Desarrollo y aplicaciones	(Zhang et al., 2020)
Una revisión sobre la disminución del flujo estrategias de control en procesos de membrana impulsados por presión	Industrial e Investigación en Ingeniería Química	Q1	221	Análisis de las propiedades físico-químicas y mecánicas	Zhang et al. (2015)