



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

FACULTAD DE POSGRADOS

**INFORME DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA

TEMA:

“Análisis bibliométrico sobre la producción de bioplásticos a partir de
diversos residuos agrícolas”

Autoras:

María Cecilia Cabrera Encalada
Genesis Mikaela Cedeño Valencia

Tutor:

Ing. Kevin Xavier Huilcarema Enriquez, M.Sc.

Milagro, 2024

DERECHOS DE AUTOR

Sr. Dr.

Fabrizio Guevara Viejó

RECTOR DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

Presente.

Nosotras, **María Cecilia Cabrera Encalada** y **Genesis Mikaela Cedeño Valencia**, en calidad de autoras y titulares de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este Informe de Investigación, que fue realizado como requisito previo para la obtención de nuestro Grado, de Magíster en Biotecnología, como aporte a la Línea de Investigación **Promoción del desarrollo económico: economía verde** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada. Así mismo, autorizamos a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Informe de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Las autoras declaran que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 7 de agosto del 2024



El presente documento es firmado electrónicamente por:
**MARIA CECILIA
CABRERA ENCALADA**

María Cecilia Cabrera Encalada
C.I.: 0703451989

Autora 1



El presente documento es firmado electrónicamente por:
**GENESIS MIKAELA
CEDENO VALENCIA**

Genesis Mikaela Cedeño Valencia
C.I.: 1208400612

Autora 2

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Trabajo de Titulación

Yo, **Ing. Kevin Xavier Huilcarema Enríquez, M.Sc.**, en mi calidad de director del trabajo de titulación, elaborado por **María Cecilia Cabrera Encalada** y **Genesis Mikaela Cedeño Valencia**, cuyo tema es “**Análisis bibliométrico sobre la producción de bioplásticos a partir de diversos residuos agrícolas**”, que aporta a la Línea de Investigación [línea de investigación], previo a la obtención del Grado de **Magíster en Biotecnología**, Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo APRUEBO, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 7 de agosto del 2024



firmado electrónicamente por:
**KEVIN XAVIER
HUILCAREMA ENRIQUEZ**

Ing. Kevin Xavier Huilcarema Enríquez, M.Sc.

C.I.: 0922218243

Director del Trabajo de Titulación

CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de Magíster en Biotecnología, presentado por **CABRERA ENCALADA MARÍA CECILIA**, otorga al presente Informe de Investigación denominado “**Análisis bibliométrico sobre la producción de bioplásticos a partir de diversos residuos agrícolas**”, las siguientes calificaciones:

TRABAJO DE TITULACIÓN:	52.00
DEFENSA ORAL:	21.33
PROMEDIO:	73.33
EQUIVALENTE:	REGULAR



Firmado electrónicamente por:
**YESSENIA BEATRIZ
SARANGO ORTEGA**

Msc Sarango Ortega Yessenia Beatriz
Presidente del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
**JHONNY DARWIN ORTIZ
MATA**

Mgtr Ortiz Mata Jhonny Darwin
Vocal del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
**KAREN ALEXANDRA
RODAS PAZMIÑO**

Mgs Rodas Pazmiño Karen Alexandra
Secretario del Tribunal

CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de Magíster en Biotecnología, presentado por **Genesis Mikaela Cedeño Valencia**, otorga al presente Informe de Investigación denominado “**Análisis bibliométrico sobre la producción de bioplásticos a partir de diversos residuos agrícolas**”, las siguientes calificaciones:

TRABAJO DE TITULACIÓN:	52.00
DEFENSA ORAL:	24.33
PROMEDIO:	76.33
EQUIVALENTE:	REGULAR



Firmado electrónicamente por:
**YESSENIA BEATRIZ
SARANGO ORTEGA**

Msc Sarango Ortega Yessenia Beatriz
Presidente del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
**JHONNY DARWIN ORTIZ
MATA**

Mgtr Ortiz Mata Jhonny Darwin
Vocal del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
**KAREN ALEXANDRA
RODAS PAZMIÑO**

Mgs Rodas Pazmiño Karen Alexandra
Secretario del Tribunal

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación quiero dedicar primero a Dios ya que ha sabido darme la fortaleza y sabiduría necesaria para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelados más deseados.

A mi madre que admiro tanto, hñita Elaisa y sobrino Paulo ya que son mi motor, mis inspiración y motivo para cumplir mis metas.

A mis ángeles del cielo Víctor Cedeño Cedeño (+) y Ángel Cedeño Valencia (+) porque sé cuánto estarían orgullosos y no dudarían de mí jamás.

A mi hña Jessica y sobrinos Mia y Diogo por echarme porras, creer en mi y sacarme un montón de sonrisas siempre.

A mi Esposo por ser esa ayuda idónea que ha estado desde el día cero, con sus consejos y amor incondicional.

En fin, quiero decirles que los Amo con todo mi corazón y son fundamentales para mí.

Genesis Mikaela Cedeño Valencia

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios porque su voluntad es agradable, perfecta. Y Cumple todos los deseos de nuestros corazones.

A mis motores de vida Martha, Elaisa, Paulo, Jessica, Diogo y Mia por ser apoyo y fortaleza en momentos de dificultad y de debilidad.

A mi ayuda idónea Fernando.

A mis ángeles del cielo.

Gracias a la UNEMI por permitirme conocer a mi compañera de tesis y brindarme al tutor de tesis por haber compartido sus conocimientos a lo largo de esta preparación.

Genesis Mikaela Cedeño Valencia

RESUMEN

La producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas es un campo de estudios que cada vez toma mayor protagonismo desde el punto de vista ambiental y de la economía circular. Por ello, la presente investigación tuvo como objetivo realizar un análisis bibliométrico sobre la producción de bioplásticos a partir de diversos residuos agrícolas. La delimitación de la población se centró en publicaciones comprendidas entre los años 2014 y 2024. Se incluyeron únicamente aquellos artículos que explícitamente abordaron el uso de residuos agrícolas para la producción de bioplásticos. En el procesamiento estadístico de la información, se utilizó R Studio en combinación con el paquete bibliométrico llamado bibliometrix. Los resultados obtenidos reflejaron que, la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas muestra un interés creciente y sostenido a lo largo de la última década, con un enfoque geográficamente diverso liderado por India (22.73%), Italia (12.63%) y China (11.11%), y una predominancia de artículos originales (41.41%) y de revisión (32.83%). Los principales residuos agrícolas reportados en la literatura para la producción de bioplásticos, como cereales, tubérculos, oleaginosas, frutas, hortalizas, bagazo de caña de azúcar, tallos secos de gramíneas y cáscaras de frutos secos, han sido ampliamente estudiados debido a su potencial para ser transformados en bioplásticos biodegradables y compostables. El protocolo más viable para la obtención de bioplásticos a partir de residuos agrícolas es el que utiliza la extracción de almidón de cereales y tubérculos, seguido de gelatinización y termoformado, debido a la abundancia de materia prima, la simplicidad del proceso y la versatilidad del almidón termoplástico en diversas aplicaciones.

Palabras clave: Aprovechamiento de residuos, fibras vegetales, reutilización.

ABSTRACT

The production of bioplastics from agricultural waste is a field of study that is increasingly taking on greater importance from an environmental and circular economy point of view. Therefore, the objective of this research was to carry out a bibliometric analysis on the production of bioplastics from various agricultural waste. The delimitation of the population focused on publications between the years 2014 and 2024. Only those articles that explicitly addressed the use of agricultural waste for the production of bioplastics were included. In the statistical processing of the information, R Studio was used in combination with the bibliometric package called bibliometrix. The results obtained reflected that the production of bioplastics from agricultural waste shows a growing and sustained interest throughout the last decade, with a geographically diverse approach led by India (22.73%), Italy (12.63%) and China (11.11%), and a predominance of original articles (41.41%) and review articles (32.83%). The main agricultural wastes reported in the literature for the production of bioplastics, such as cereals, tubers, oilseeds, fruits, vegetables, sugarcane bagasse, dry grass stems and nut shells, have been widely studied due to their potential for be transformed into biodegradable and compostable bioplastics. The most viable protocol for obtaining bioplastics from agricultural waste is the one that uses the extraction of starch from cereals and tubers, followed by gelatinization and thermoforming, due to the abundance of raw material, the simplicity of the process and the versatility of the starch. thermoplastic in various applications.

Keywords: Use of waste, plant fibers, reuse.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Número de publicaciones relacionadas con la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas, período 2014 – 2024. ... 26
- Figura 2.** Número de publicaciones por país relacionadas con la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas, período 2014 – 2024. ... 27
- Figura 3.** Tipo de publicaciones realizadas sobre la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas, período 2014 – 202428
- Figura 4.** Revistas con mayor número de publicaciones relacionadas con la producción de bioplásticos en el período 2014 – 202429
- Figura 5.** Publicaciones más citadas a nivel global en estudio relacionados con la producción de bioplásticos en el período 2014 – 2024.....30
- Figura 6.** Número de publicaciones relacionadas con la producción de bioplásticos en revistas de mayor relevancia en el período 2014 – 202431
- Figura 7.** Número de publicaciones realizadas por país más citadas a nivel global en estudio relacionados con la producción de bioplásticos en el período 2014 – 202432

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de las variables utilizadas en la investigación	7
Tabla 2.	Principales palabras clave utilizadas en las búsquedas de publicaciones sobre bioplásticos en el período de 2014 – 2024	33
Tabla 3.	Diversidad de residuos agrícolas utilizados en la producción de bioplásticos, sus propiedades y aplicaciones	34
Tabla 4.	Principales procesos de conversión de residuos agrícolas en diferentes tipos de bioplásticos	37

ÍNDICE

Derechos de autor	ii
Aprobación del Director del Trabajo de Titulación.....	iii
Certificación de la defensa	iv
Dedicatoria	vi
Agradecimientos.....	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Delimitación del problema.....	4
1.3. Formulación del problema.....	4
1.4. Preguntas de investigación	4
1.5. Determinación del tema	5
1.6. Objetivo general.....	5
1.7. Objetivos específicos	5
1.8. Hipótesis	6
1.8.1. Hipótesis general	6
1.8.2. Hipótesis específicas	6
1.9. Declaración de las variables	6
1.9.1. Variable independiente	6
1.9.2. Variables dependientes.....	7
1.10. Justificación.....	7
1.11. Alcance y limitaciones	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	10
2.1. Antecedentes	10

2.1.1.	Antecedentes históricos	10
2.1.2.	Producción de plásticos	12
2.1.3.	Contaminación por plásticos	13
2.1.4.	Gestión de residuos plásticos: Un desafío global.....	14
2.1.5.	Bioplásticos.....	16
2.1.5.1.	Principales materias primas para la producción de bioplásticos....	18
CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO		23
3.1.	Tipo y diseño de investigación.....	23
3.2.	La población y la muestra	23
3.2.1.	Características de la población	23
3.2.2.	Delimitación de la población	24
3.2.3.	Tipo de muestra	24
3.2.4.	Tamaño de la muestra	24
3.2.5.	Proceso de selección de la muestra	24
3.3.	Métodos y las técnicas	25
3.4.	Procesamiento estadístico de la información	25
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....		26
4.1.	Tendencias de investigación y desarrollo en la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas.....	26
4.2.	Diversidad de residuos agrícolas utilizados en la producción de bioplásticos.	33
4.3.	Principales protocolos reportados para obtención de bioplásticos a partir de diferentes residuos agrícolas.	36
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		39
5.1.	Conclusiones.....	39
5.2.	Recomendaciones.....	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		41
ANEXOS		45

INTRODUCCIÓN

Los bioplásticos, una innovación crucial en el campo de los materiales sostenibles, han emergido como una alternativa prometedora a los plásticos tradicionales derivados del petróleo (Alcívar, Carrillo, y Rieral, 2022). En medio de la creciente preocupación por el impacto ambiental negativo de los desechos plásticos, se ha intensificado la investigación en torno a fuentes renovables para la producción de bioplásticos (Pinto, Cardona, y Polanco, 2023). En este contexto, los residuos agrícolas surgen como alternativa sostenible para la obtención de bioplásticos, ofreciendo una oportunidad única para su aprovechamiento y contribuyendo así a la mitigación de los problemas ambientales asociados con los plásticos convencionales (Valderrama *et al.*, 2018).

La industria agrícola produce una gran cantidad de residuos a lo largo de sus procesos productivos. Estos desechos, que incluyen desde restos de cosechas hasta subproductos de la transformación de alimentos, constituyen una fuente abundante de materia orgánica. Con las técnicas adecuadas, esta materia orgánica puede transformarse en materia prima para la producción de bioplásticos (Solórzano-Vélez *et al.*, 2023). Este enfoque no solo soluciona el problema de la gestión de residuos agrícolas, sino que también disminuye la dependencia de recursos no renovables como el petróleo, ofreciendo una alternativa biodegradable y menos contaminante (Martillo, Lesme, y Oliva, 2020).

El interés en los bioplásticos derivados de residuos agrícolas se fundamenta en su potencial para ofrecer propiedades similares o incluso mejoradas en comparación con los plásticos convencionales (Quevedo y Ormaza, 2022). Estos bioplásticos pueden exhibir características deseables como biodegradabilidad, compostabilidad, resistencia mecánica y barrera a gases, lo que los hace adecuados para una amplia gama de aplicaciones en diversas industrias. Además, su producción a partir de residuos agrícolas podría impulsar la economía circular al cerrar el ciclo de los recursos y fomentar modelos de negocio más sostenibles (Franco *et al.*, 2023).

En el ámbito de la investigación científica, se han realizado numerosos estudios y avances en la caracterización y aplicación de bioplásticos provenientes de diferentes residuos agrícolas (Alcívar, Carrillo, y Rieral, 2022). Estos estudios abarcan desde la identificación de las materias primas más adecuadas hasta la optimización de procesos de extracción y producción, así como la evaluación de las propiedades finales de los bioplásticos obtenidos. Los resultados de estas investigaciones han contribuido a ampliar el conocimiento sobre las posibilidades y desafíos asociados con esta tecnología emergente (Riera y Palma, 2018).

La integración de la biotecnología y la ingeniería de materiales ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de bioplásticos a partir de residuos agrícolas (Aponte y Soledad, 2022). Los avances en técnicas de fermentación, extracción de polímeros naturales y formulación de compuestos bioplásticos han permitido obtener productos cada vez más sofisticados y competitivos en el mercado. Estos avances han impulsado el interés de la industria y los sectores gubernamentales hacia una transición hacia materiales más sostenibles y amigables con el medio ambiente (Paredes-Vega, 2020).

A pesar de los avances y beneficios potenciales, persisten desafíos y áreas de mejora en la producción y aplicación de bioplásticos derivados de residuos agrícolas (Sernaqué-Auccahuasi *et al.*, 2020). Entre estos desafíos se encuentran la escalabilidad de los procesos de producción, la estandarización de las propiedades de los bioplásticos, la gestión de la competencia con plásticos convencionales y la educación del público sobre los beneficios ambientales de estos materiales (Avellán *et al.*, 2020). Abordar estos desafíos de manera efectiva requerirá colaboración multidisciplinaria, inversión en investigación y desarrollo, y políticas públicas que fomenten la adopción de tecnologías sostenibles.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Los residuos agrícolas, como el bagazo de caña, el salvado de arroz, el rastrojo de maíz, entre otros, representan una fuente abundante y poco aprovechada de materia prima para la producción de bioplásticos. Estos residuos, que a menudo se queman o se desechan de manera inadecuada, podrían ser valorizados mediante su transformación en materiales poliméricos biodegradables, contribuyendo así a la economía circular y a la reducción de la huella ambiental del sector agrícola.

Según la Organización de las Naciones Unidas, cada año se recolectan en el mundo una cantidad estimada de 11,200 millones de toneladas de residuos sólidos y, según el Banco Mundial, los desechos a nivel global crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes (Romero-Sáez, 2022). Se estima que cada año se producen entre 1,400 y 4,000 millones de toneladas de residuos agrícolas, lo que representa entre el 20% y el 40% de la biomasa total generada por la humanidad (Aguiar, Enríquez, y Uvidia, 2022).

La generación de residuos agrícolas en Ecuador es un tema complejo con datos variados según la fuente y la metodología utilizada (Muñoz, Canepa, y Peñafiel, 2022). Sin embargo, se estima que se producen entre 2.2 y 4 millones de toneladas de residuos agrícolas por año en el país, con cultivos como la caña de azúcar, el banano, la palma aceitera, el maíz duro seco, entre otros, representando el 59.46% de la producción global (Ledesma y Abreu, 2023). La agroindustria ecuatoriana genera compuestos principalmente por almidón o recursos lignocelulosos, que pueden ser utilizados como materia prima en la elaboración de bioplásticos (Quevedo y Ormaza, 2022).

Sin embargo, para aprovechar este potencial, es necesario investigar y desarrollar protocolos eficientes para la obtención de bioplásticos a partir de diferentes residuos agrícolas. Además, es fundamental caracterizar las propiedades físico-químicas de estos bioplásticos para evaluar su calidad, durabilidad y aplicabilidad en diversos sectores, como el embalaje, la agricultura y la construcción.

Por otro lado, es evidente que cada materia prima tiene sus características propias en términos de rendimiento de bioplástico, así como también en la utilidad que se le puede dar a estos, puesto que no todos son aptos para cualquier uso (Aponte y Soledad, 2022). Por ello, es importante su respectiva caracterización a fin de poder identificar las materias primas más adecuadas y optimizar los procesos de producción (Solórzano-Vélez *et al.*, 2023). Esto contribuirá a la viabilidad económica y a la escalabilidad de la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas.

1.2. Delimitación del problema

El análisis bibliométrico se enfocó en el período de 2014 a 2024 para estudiar la evolución de la investigación en bioplásticos a partir de residuos agrícolas, abarcando trabajos internacionales que incluyeron diversos tipos de publicaciones científicas y técnicas. Se investigaron bioplásticos derivados de cereales, tubérculos, oleaginosas y otros materiales agrícolas, analizando los protocolos de obtención que incluyen extracción, purificación y procesos químicos. Este enfoque permitió comprender la diversidad de investigaciones y avances tecnológicos en este campo durante una década clave en términos de desarrollo sostenible y políticas ambientales.

1.3. Formulación del problema

¿Cuáles son las tendencias actuales en la investigación y desarrollo de bioplásticos producidos a partir de diversos residuos agrícolas, y qué protocolos se han reportado para su obtención?

1.4. Preguntas de investigación

¿Cuáles son las tendencias de investigación y desarrollo en la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas?

¿Qué diversidad de residuos agrícolas utilizados en la producción de bioplásticos?

¿Cuáles son los principales protocolos reportados para obtención de bioplásticos a partir de diferentes residuos agrícolas?

1.5. Determinación del tema

La determinación del tema se basó en la relevancia y actualidad de la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas en el contexto de la sostenibilidad ambiental y la búsqueda de alternativas a los plásticos convencionales. Se identificó la necesidad de analizar las tendencias de investigación, los avances tecnológicos y los impactos ambientales de esta práctica emergente. Además, se consideró la importancia de abordar el tema a nivel global, teniendo en cuenta la creciente preocupación por la contaminación plástica y la necesidad de encontrar soluciones más sostenibles en la industria de los materiales.

1.6. Objetivo general

Explorar la diversidad de la producción de bioplásticos a partir de diversos residuos agrícolas mediante un análisis bibliométrico.

1.7. Objetivos específicos

- Determinar las tendencias de investigación y desarrollo en la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas.
- Explorar la diversidad de residuos agrícolas utilizados en la producción de bioplásticos.
- Identificar los principales protocolos reportados para obtención de bioplásticos a partir de diferentes residuos agrícolas.

1.8. Hipótesis

1.8.1. Hipótesis general

La investigación sobre la producción de bioplásticos a partir de diversos residuos agrícolas está en rápido crecimiento, mostrando una amplia diversidad de residuos utilizados y el desarrollo de protocolos de producción cada vez más estandarizados.

1.8.2. Hipótesis específicas

Las tendencias de investigación y desarrollo en la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas han mostrado un crecimiento exponencial en la última década, reflejando un aumento en el número de publicaciones y colaboraciones internacionales.

Existe una amplia variedad de residuos agrícolas que se están utilizando en la producción de bioplásticos, con ciertos residuos siendo más prominentes debido a su disponibilidad y eficiencia en la producción de bioplásticos.

Los protocolos documentados para obtener bioplásticos a partir de diversos residuos agrícolas se están estandarizando paulatinamente, lo que facilita la reproducibilidad y la comparación de resultados en la investigación científica.

1.9. Declaración de las variables

1.9.1. Variable independiente

Tipo de residuo agrícola utilizado en la producción de bioplásticos: Esta variable se refiere a los diferentes residuos agrícolas (como cáscaras de frutas, residuos de cereales, bagazo de caña de azúcar, etc.) que se utilizan en la producción de bioplásticos.

1.9.2. Variables dependientes

Número de publicaciones científicas: Representa la cantidad de estudios e investigaciones realizadas sobre la producción de bioplásticos a partir de diferentes residuos agrícolas.

Protocolo de producción de bioplásticos: Detalles y características de los métodos y procedimientos utilizados para producir bioplásticos.

Tabla 1. Operacionalización de las variables utilizadas en la investigación

Variable	Tipo	Dimensión	Indicador
Tendencias de Investigación	Independiente	Temporal	Número de publicaciones relacionadas con la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas.
Diversidad de Residuos Agrícolas	Dependiente	Tipos de residuos	Variedad de residuos agrícolas utilizados en la producción de bioplásticos, destacando sus propiedades. Bioplásticos derivados, propiedades y aplicaciones asociadas.
Principales Protocolos de Obtención	Dependiente	Métodos de producción	Protocolos específicos utilizados para obtener bioplásticos a partir de diferentes residuos agrícolas. Métodos y características técnicas de producción.

1.10. Justificación

La producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas representa una solución innovadora y sostenible a la creciente problemática ambiental asociada con el uso de plásticos convencionales. La dependencia global de los plásticos derivados del petróleo ha generado preocupaciones significativas debido a la acumulación de residuos plásticos en los ecosistemas y la emisión de gases de efecto invernadero durante su producción y degradación. Por lo tanto, es imperativo explorar alternativas más ecológicas, como los bioplásticos, que no solo reducen la huella

ambiental, sino que también promueven la economía circular al valorizar los residuos agrícolas.

Realizar un análisis bibliométrico sobre este tema es crucial, ya que permite identificar las tendencias y patrones de investigación, facilitando así una comprensión integral del progreso científico en este campo. Además, este tipo de análisis proporciona una visión clara sobre cuáles residuos agrícolas están siendo investigados con mayor frecuencia, lo cual es esencial para optimizar los recursos disponibles y focalizar los esfuerzos de investigación en los materiales más prometedores. Al determinar las tendencias de investigación, se pueden identificar áreas emergentes y vacíos de conocimiento, lo que ayudará a guiar futuras investigaciones y políticas de desarrollo tecnológico.

Asimismo, la identificación de los principales protocolos reportados para la obtención de bioplásticos es fundamental, ya que permite evaluar la reproducibilidad y eficiencia de los métodos utilizados. Con esta información, es posible estandarizar y mejorar los procesos de producción, garantizando así la calidad y sostenibilidad de los bioplásticos producidos. Además, explorar la diversidad de residuos agrícolas utilizados en la producción de bioplásticos no solo destaca la versatilidad y potencial de estos materiales, sino que también promueve la innovación al incentivar la búsqueda de nuevas fuentes de biomasa.

1.11. Alcance y limitaciones

Es importante destacar que este análisis considera la diversidad geográfica de la investigación, identificando a India, Italia y China como líderes en este ámbito. Estos países han demostrado un interés sostenido en la producción de bioplásticos agrícolas, contribuyendo significativamente al avance y la consolidación del tema en la literatura científica y académica.

En cuanto al contenido temático, el análisis se centra en la identificación de los principales residuos agrícolas utilizados en la producción de bioplásticos. Estos incluyen cereales, tubérculos, oleaginosas, frutas, hortalizas, bagazo de caña de azúcar, tallos secos de gramíneas y cáscaras de frutos secos. Cada uno de estos

materiales ha sido objeto de un estudio detallado en la literatura analizada, destacando sus propiedades y potencialidades para la obtención de bioplásticos.

Además, se analizan los protocolos reportados para la obtención de bioplásticos a partir de estos residuos agrícolas. Estos protocolos abarcan una variedad de procesos, desde la extracción y gelatinización de almidón en cereales y tubérculos hasta la transesterificación y polimerización de aceites vegetales en oleaginosas. Esta diversidad de procesos subraya la complejidad y versatilidad de la producción de bioplásticos, evidenciando la necesidad de adaptarse a las propiedades particulares de cada materia prima agrícola.

Sin embargo, es importante reconocer ciertas limitaciones en el análisis. Estas limitaciones incluyen la dependencia de la disponibilidad y accesibilidad de la información en la literatura científica y académica, así como posibles sesgos geográficos en la representación de países líderes en investigación. Además, la revisión se basa en información disponible hasta la fecha de corte y no considera desarrollos posteriores que puedan haber surgido después de ese período, lo que puede limitar la actualidad de los resultados analizados.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes históricos

La historia de la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas es un relato fascinante que se remonta a los albores del siglo XX. Los primeros esfuerzos en esta área exploraron el potencial del almidón y la celulosa para crear plásticos biodegradables. No obstante, estos primeros materiales carecían de propiedades mecánicas sólidas y no lograban ser viables en términos comerciales.

Sin embargo, todo cambió en la década de 1970, cuando la creciente preocupación por el medio ambiente impulsó un renovado interés en los bioplásticos. Fue en este período que surgieron nuevos métodos para producir bioplásticos a partir de una amplia variedad de materias primas renovables, como aceites vegetales, ácidos grasos y, por supuesto, residuos agrícolas. Estos bioplásticos presentaban ventajas notables sobre sus contrapartes derivadas del petróleo, destacándose por su biodegradabilidad, compostabilidad y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

A pesar de este avance, la década de 1980 marcó un hito importante con la comercialización de los primeros bioplásticos basados en almidón y celulosa. Sin embargo, su adopción fue limitada debido a su costo elevado y a propiedades mecánicas que aún no eran competitivas en comparación con los plásticos tradicionales.

La década de 1990 trajo consigo nuevos desarrollos en la producción de bioplásticos, especialmente aquellos derivados del ácido láctico y los polihidroxicanoatos (PHAs). Estos bioplásticos exhibían propiedades mecánicas mejoradas y una mayor biodegradabilidad, lo que los hizo más atractivos y ampliamente utilizados en diversas aplicaciones.

Ya adentrados en el siglo XXI, la investigación sobre bioplásticos ha experimentado un crecimiento exponencial. Se han desarrollado nuevos bioplásticos a partir de una amplia gama de materias primas renovables, incluyendo residuos agrícolas, algas y microorganismos. Estos bioplásticos, además de sus beneficios medioambientales, ofrecen un rendimiento igual o incluso superior a los plásticos tradicionales, lo que los convierte en una alternativa muy viable.

Varios factores han impulsado esta intensa investigación en bioplásticos. En primer lugar, las crecientes preocupaciones ambientales, como la contaminación plástica y el cambio climático, han motivado la búsqueda de alternativas más sostenibles. Los bioplásticos, al reducir la dependencia de los combustibles fósiles y la generación de residuos plásticos, se han posicionado como una solución prometedora.

Los avances tecnológicos también han sido clave en este proceso. El desarrollo de nuevos materiales y técnicas de producción ha mejorado significativamente las propiedades mecánicas y el rendimiento de los bioplásticos, haciéndolos más competitivos en el mercado.

Además, la demanda creciente de los consumidores por productos sostenibles ha ejercido presión adicional para la investigación y desarrollo de bioplásticos. La popularidad y aceptación de los bioplásticos como alternativa ecológica a los plásticos tradicionales ha impulsado la inversión en esta área y ha estimulado la innovación continua.

El impacto de la investigación en bioplásticos ha sido innegable. Estos materiales tienen el potencial de reducir significativamente la huella ambiental asociada a los plásticos convencionales. Su adopción a gran escala podría contribuir de manera significativa a la protección del medio ambiente y a la mitigación de los efectos del cambio climático.

A medida que la investigación avanza, se espera que los bioplásticos se vuelvan aún más competitivos en términos de costo y rendimiento. Esto abrirá nuevas

oportunidades y llevará a una mayor adopción en una amplia gama de aplicaciones, desde envases y embalajes hasta aplicaciones industriales y de construcción.

2.1.2. Producción de plásticos

En el año 2021, la producción global de plásticos alcanzó una cifra significativa de 390.7 millones de toneladas, registrando un aumento del 4.04% con respecto al año anterior, según revela el informe Plásticos 2022 publicado por Plastics Europe, una entidad que aglutina a los principales productores de plásticos en Europa. En esta edición, el informe presenta por primera vez datos que excluyen los polímeros no utilizados en la transformación de piezas y productos plásticos, proporcionando así una visión más precisa de la producción mundial de plásticos (Zhang *et al.*, 2023).

Del volumen total producido, aproximadamente el 90.2%, equivalente a 352.3 millones de toneladas, se atribuye a plásticos de origen fósil, marcando un incremento en comparación con los 340 millones de toneladas de 2020. De manera complementaria, se produjeron 32.5 millones de toneladas (8.3%) de plásticos reciclados postconsumo, en comparación con los 31.6 millones de toneladas del año anterior, y los bioplásticos representaron los 5.9 millones de toneladas restantes, equivalente al 1.5%, superando los 3.9 millones de toneladas registradas en 2020 (Maheswaran *et al.*, 2023).

Desde una perspectiva geográfica, China lideró la producción mundial de plásticos en 2021, concentrando el 32% del total, lo que representa un aumento de tres puntos porcentuales desde 2017. Le siguieron Norteamérica con el 18%, el resto de Asia con el 17%, Europa con el 15%, Oriente Medio y África con el 8%, Latinoamérica con el 4%, y Japón y los países del CIS con un 3% cada uno (Martínez-González *et al.*, 2023).

En términos de tipos específicos de plásticos producidos en 2021, el polipropileno (PP) lideró con un 19.3% del total, seguido por el polietileno de baja densidad con un 14.4%. El PVC ocupó la tercera posición con el 12.9%, seguido por el polietileno de alta y media densidad con el 12.5%. La producción de plásticos reciclados

representó el 8.3%, mientras que los termoestables de origen fósil, excluyendo el poliuretano, y otros termoplásticos de origen fósil alcanzaron el 7.1%. A estos materiales se sumaron el PET con el 6.2%, el poliuretano con el 5.5%, el poliestireno y EPS con el 5.3%, y los bioplásticos con el 1.5% (Yi *et al.*, 2022).

El informe de Plastics Europe también detalla la aplicación de destino de los plásticos producidos en 2021 a nivel mundial. En este sentido, el sector del packaging acaparó el 44% de la producción total de plásticos, seguido por la construcción y edificación con el 18%, la automoción con el 8%, la electricidad y electrónica con el 7%, los productos domésticos, deporte y ocio con el 7%, y la agricultura, ganadería y jardinería con el 4%. El 12% restante se clasifica bajo el epígrafe de "Otros" (Zhang *et al.*, 2023).

2.1.3. Contaminación por plásticos

La producción y el consumo desmedido de plástico han desencadenado una crisis ambiental sin precedentes: la contaminación por plásticos. Anualmente, se vierten colosalmente 11 millones de toneladas de plástico en los océanos, equivalente a despojar un camión repleto de plástico cada minuto (Ghoshal, 2019). Los impactos ambientales resultan desgarradores; la vida marina se ve afectada por la ingestión accidental de plástico, provocando lesiones o la fatalidad de más de 1 millón de aves marinas y 100.000 mamíferos marinos anualmente. Los microplásticos, fragmentos diminutos, ingresan a la cadena alimentaria, llegando eventualmente a los seres humanos y planteando riesgos para la salud (Maheswaran *et al.*, 2023).

Este problema repercute también en el cambio climático, ya que la producción de plástico emite colosalmente 4.5 gigatoneladas de gases de efecto invernadero anualmente. Socialmente, la salud humana se ve amenazada por la ingestión de microplásticos a través del agua, alimentos y aire, con consecuencias adversas para la salud. Además, la acumulación de plástico en playas y océanos impacta negativamente el turismo y genera costos económicos significativos para gobiernos y comunidades (Polygalov *et al.*, 2021).

Regiones como Asia y África, caracterizadas por una gestión deficiente de residuos, son las más afectadas. Los océanos, receptores primordiales de contaminación, enfrentan la amenaza inminente de tener más plástico que peces para 2050 (Xin *et al.*, 2021). Abordar esta crisis demanda medidas tangibles: reducción del consumo, reutilización siempre que sea posible, reciclaje para evitar la contaminación ambiental, estrategias de limpieza, investigación en alternativas y educación ambiental (Vollmer *et al.*, 2020).

Ejemplos de iniciativas como la prohibición de plásticos de un solo uso en la Unión Europea, la implementación de una ley de responsabilidad extendida del productor en Chile y la prohibición total de bolsas de plástico en Kenia ilustran la urgencia y la viabilidad de acciones concretas (Maheswaran *et al.*, 2023). Afrontar la contaminación por plásticos demanda un compromiso global, desde reducir y reutilizar hasta promover soluciones innovadoras y fomentar la concienciación ambiental. Solo con esfuerzos coordinados y decisiones valientes podremos revertir esta amenaza ambiental y preservar nuestro planeta para las generaciones futuras (Mintenig *et al.*, 2019).

2.1.4. Gestión de residuos plásticos: Un desafío global

La gestión de residuos plásticos se ha convertido en un desafío global de proporciones alarmantes, dado el crecimiento exponencial en la producción y consumo desmedido de plástico en todo el mundo. La magnitud de este problema se evidencia en las cifras impactantes: anualmente, se generan aproximadamente 460 millones de toneladas de plástico, y lamentablemente, solo un 9% de este volumen se somete a procesos de reciclaje (Prata y Dias, 2023). La consecuencia directa de esta situación es la acumulación masiva de residuos plásticos, encontrándose el restante 91% en vertederos, incineradoras o, de manera más perjudicial, disperso en el medio ambiente, contaminando océanos, ríos, suelos y el aire que respiramos (Zhang *et al.*, 2023).

Los impactos ambientales y sociales derivados de la contaminación por plástico son vastos y de consecuencias devastadoras. Este problema afecta la vida marina, la calidad del agua y del suelo, y contribuye al cambio climático (Infante y

Valderrama, 2019). La fauna marina, por ejemplo, se ve amenazada cuando ingiere plástico accidentalmente, lo que puede causarles lesiones o incluso llevar a la muerte (Prata y Dias, 2023). Pero la preocupación no se limita a los océanos, ya que los microplásticos, diminutos fragmentos de plástico de menos de 5 milímetros, ingresan a la cadena alimentaria y eventualmente llegan a los seres humanos, planteando riesgos para la salud (Kosuth, Mason, y Wattenberg, 2018).

Ante este panorama, la gestión de residuos plásticos se erige como un desafío global que demanda un enfoque integral y soluciones innovadoras para mitigar y revertir esta crisis ambiental. Es imperativo abordar este problema desde diversas perspectivas para lograr resultados tangibles (Gigault *et al.*, 2018). En primer lugar, la reducción del consumo de plástico se presenta como el paso inicial e imprescindible para hacer frente a la problemática. La conciencia sobre la importancia de reducir el uso de plásticos de un solo uso debe ser promovida activamente (Van Emmerik *et al.*, 2019). Fomentar el uso de productos reutilizables y explorar alternativas sostenibles al plástico se erige como una estrategia clave para minimizar la generación de residuos plásticos desde su origen. La implementación de políticas que prohíban o restrinjan el uso de plásticos de un solo uso es otro aspecto crucial para cambiar hábitos y patrones de consumo (Magri *et al.*, 2021).

La reutilización de productos plásticos también desempeña un papel fundamental en la gestión de residuos. Reutilizar botellas de plástico, bolsas y otros productos siempre que sea posible contribuye significativamente a reducir la cantidad de residuos generados (Aguayo, García, y Martínez, 2023). La promoción de sistemas de depósito y devolución para envases de plástico es una iniciativa que busca incentivar la reutilización, alentando la devolución de envases para su posterior uso (Bollaín y Vicente, 2020).

El reciclaje de plástico se destaca como una estrategia clave para evitar que estos materiales terminen en el medio ambiente. Sin embargo, mejorar la infraestructura y los sistemas de reciclaje es esencial para aumentar las tasas de recuperación (Yang *et al.*, 2015). Además, el desarrollo de nuevas tecnologías para el reciclaje de plásticos difíciles de reciclar se presenta como un campo de investigación y

desarrollo crucial para mejorar la eficiencia de los procesos de reciclaje (Yi *et al.*, 2022).

Otras soluciones integrales incluyen estrategias de limpieza y remediación ambiental para eliminar los residuos plásticos del entorno (Abbas y Al-Hashimi, 2020). Estos esfuerzos son esenciales para revertir los impactos negativos acumulados y restaurar la salud de los ecosistemas afectados. Asimismo, la promoción de la investigación e innovación en materiales y tecnologías sostenibles busca encontrar alternativas al plástico convencional, explorando opciones más amigables con el medio ambiente (Zangmeister *et al.*, 2022). La educación ambiental y la promoción de la responsabilidad individual desempeñan un papel crucial en la gestión de residuos plásticos. Fomentar la conciencia sobre la importancia de reducir la generación de residuos plásticos y adoptar prácticas sostenibles en la vida cotidiana contribuye a crear comunidades más conscientes y responsables (Lebreton y Andrady, 2021).

Ejemplos de iniciativas que han surgido en distintas partes del mundo brindan inspiración y ejemplos a seguir. En la Unión Europea, se ha implementado una directiva que prohíbe algunos plásticos de un solo uso, como pajitas, cubiertos y bastoncillos de algodón. En Chile, la implementación de una ley de responsabilidad extendida del productor (REP) para envases y embalajes obliga a las empresas a hacerse cargo de la gestión de sus residuos. En Kenia, se ha adoptado una medida más drástica, prohibiendo la producción, importación y uso de bolsas de plástico (Alzuhairi, Khalil, y Hadi, 2017).

2.1.5. Bioplásticos

Los bioplásticos son un tipo de plástico que se deriva de fuentes renovables de biomasa, como aceites vegetales, almidón de maíz, paja, residuos alimentarios, astillas de madera, entre otros. A diferencia de los plásticos tradicionales que se fabrican a partir de combustibles fósiles como el petróleo, los bioplásticos tienen la ventaja de ser más sostenibles y, en muchos casos, biodegradables. Esto los convierte en una opción atractiva para reducir el impacto ambiental del uso masivo de plásticos.

Existen dos categorías principales de bioplásticos: los plásticos biobasados y los plásticos biodegradables. Los plásticos biobasados se producen a partir de biomasa pero no necesariamente son biodegradables. Por otro lado, los plásticos biodegradables pueden descomponerse completamente mediante la acción de microorganismos en condiciones específicas, independientemente de si son biobasados o derivados de fuentes fósiles.

Uno de los bioplásticos más comunes es el ácido poliláctico (PLA), que se produce a partir de almidón de maíz. El PLA es utilizado en una variedad de aplicaciones, desde envases de alimentos y bebidas hasta utensilios desechables y textiles. Es apreciado por su capacidad para biodegradarse en condiciones industriales de compostaje, aunque esta descomposición no siempre ocurre en condiciones naturales, lo cual es una limitación a tener en cuenta.

Otro bioplástico importante es el polihidroxicanoato (PHA), que es producido por bacterias a través de la fermentación de azúcares o lípidos. Los PHAs son completamente biodegradables y pueden descomponerse en una amplia variedad de ambientes, incluyendo el compostaje doméstico y los ambientes marinos. Su uso se extiende a envases de alimentos, productos médicos como suturas y parches, y en la agricultura para películas de acolchado.

Además, está el biopolietileno (bio-PE), que es químicamente idéntico al polietileno tradicional pero se produce a partir de etanol derivado de caña de azúcar u otras fuentes vegetales. El bio-PE no es biodegradable, pero tiene la ventaja de ser reciclable en las mismas corrientes de reciclaje que el polietileno convencional. Su aplicación principal es en envases, botellas y bolsas.

Las propiedades de los bioplásticos pueden variar significativamente según su composición química y el proceso de fabricación. En general, algunos de los beneficios incluyen la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero durante la producción, la disminución de la dependencia de recursos fósiles y, en ciertos casos, la capacidad de biodegradación. Sin embargo, también presentan desafíos, como la necesidad de infraestructuras específicas para el compostaje

industrial y el costo relativamente alto en comparación con los plásticos convencionales.

En cuanto a sus aplicaciones, los bioplásticos se utilizan en una amplia gama de industrias. En el sector del embalaje, los bioplásticos están ganando terreno debido a la creciente demanda de soluciones sostenibles. Por ejemplo, las bandejas de PLA se utilizan comúnmente en el envasado de alimentos frescos, mientras que las películas biodegradables están reemplazando a las de polietileno en productos como bolsas de supermercado y envoltorios de alimentos.

En la industria textil, los bioplásticos como el PLA se emplean para fabricar fibras que se pueden utilizar en ropa y tapicería. Estas fibras tienen propiedades similares a las de las fibras sintéticas tradicionales, como el poliéster, pero con una menor huella de carbono.

En el sector médico, los bioplásticos están revolucionando la fabricación de dispositivos y productos médicos. Los PHAs, por ejemplo, se utilizan para hacer suturas y parches biodegradables, que pueden ser absorbidos por el cuerpo, eliminando la necesidad de una segunda cirugía para retirar el material.

En la agricultura, los bioplásticos se utilizan para fabricar películas de acolchado que protegen los cultivos. Estas películas pueden biodegradarse en el suelo después de su uso, lo que reduce la contaminación plástica en el medio ambiente y elimina la necesidad de retirarlas manualmente.

A pesar de las ventajas, es importante reconocer los desafíos asociados con los bioplásticos. Uno de los principales es la competencia por los recursos agrícolas. La producción de bioplásticos a partir de cultivos alimentarios puede tener implicaciones para la seguridad alimentaria y la utilización de la tierra. Además, la infraestructura para el compostaje industrial no está ampliamente disponible en todas las regiones, lo que limita la eficacia de la biodegradación de ciertos bioplásticos.

2.1.5.1. Principales materias primas para la producción de bioplásticos

Los bioplásticos, materiales derivados de fuentes biológicas renovables, están ganando atención como una alternativa más sostenible a los plásticos convencionales basados en combustibles fósiles. La producción de bioplásticos puede involucrar una variedad de especies agrícolas que proporcionan las materias primas necesarias. Entre las principales especies agrícolas utilizadas en la generación de bioplásticos se encuentra el maíz (*Zea mays*), que es quizás la especie más prominente en la producción de bioplásticos, particularmente del ácido poliláctico (PLA). El PLA se produce a partir del almidón de maíz mediante un proceso que incluye la fermentación del azúcar del maíz para producir ácido láctico, que luego se polimeriza para formar PLA. El maíz es abundante y fácilmente cultivable en muchas regiones del mundo, además, el PLA derivado del maíz es biodegradable y compostable en condiciones industriales, lo que lo hace ideal para envases de alimentos, utensilios desechables y aplicaciones médicas. Sin embargo, la producción de bioplásticos a partir de maíz puede competir con la producción de alimentos, lo que plantea preocupaciones sobre la seguridad alimentaria y el uso sostenible de la tierra; además, el compostaje del PLA requiere instalaciones específicas que no están disponibles en todas partes.

Otra especie importante es la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), que es una fuente crucial de materia prima para bioplásticos, especialmente para la producción de biopolietileno (bio-PE). El etanol obtenido de la fermentación del jugo de caña de azúcar se utiliza para producir etileno, que luego se polimeriza para formar polietileno. La caña de azúcar es altamente eficiente en la producción de biomasa, y el biopolietileno tiene propiedades idénticas al polietileno convencional, lo que facilita su integración en las corrientes de reciclaje existentes. Además, el cultivo de caña de azúcar puede tener un balance positivo de carbono, contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, al igual que con el maíz, existe la preocupación de que el uso de caña de azúcar para bioplásticos pueda desplazar la producción de alimentos o provocar la deforestación si no se maneja adecuadamente.

La soja (*Glycine max*) también se utiliza en la producción de varios tipos de bioplásticos, incluyendo poliamidas y poliuretanos. El aceite de soja puede ser

procesado para obtener polioles, que son componentes cruciales en la fabricación de estos bioplásticos. La soja es una fuente rica en aceites y proteínas, lo que la hace versátil no solo para bioplásticos sino también para biocombustibles y alimentos. Los bioplásticos derivados de soja pueden tener propiedades mecánicas comparables a los plásticos convencionales y pueden ser biodegradables. No obstante, la expansión del cultivo de soja para bioplásticos puede impactar negativamente en los ecosistemas si no se gestiona de manera sostenible, y la competencia por tierras de cultivo también es una preocupación.

La papa (*Solanum tuberosum*) es utilizada principalmente para la producción de almidón, que puede ser transformado en bioplásticos como el ácido poliláctico (PLA) y otros polímeros almidónicos. El almidón de papa es una fuente renovable y biodegradable, y puede ser convertido en bioplásticos con propiedades útiles para aplicaciones de embalaje y productos desechables. Sin embargo, la producción de almidón de papa para bioplásticos puede enfrentar limitaciones debido a la competencia con la producción de alimentos y la necesidad de métodos eficientes de procesamiento.

El trigo (*Triticum spp.*) es otra fuente importante de almidón que puede ser utilizado para producir bioplásticos. Similar a la papa y el maíz, el almidón de trigo puede ser procesado para obtener PLA y otros biopolímeros. El trigo es ampliamente cultivado y su almidón es relativamente fácil de extraer y procesar. Los bioplásticos derivados del trigo pueden ser biodegradables y tienen aplicaciones en el embalaje y productos desechables. No obstante, la utilización de trigo para bioplásticos también plantea preocupaciones sobre la competencia con la producción de alimentos y el manejo sostenible de los recursos agrícolas.

La remolacha azucarera (*Beta vulgaris*) es otra fuente de sacarosa, que puede ser fermentada para producir etanol y otros compuestos necesarios para la fabricación de bioplásticos. La remolacha azucarera tiene una alta concentración de azúcar, lo que la hace eficiente para la producción de bioplásticos. El etanol derivado de la remolacha puede ser utilizado para producir bio-PE y otros biopolímeros. Sin embargo, similar a otras plantas ricas en azúcar, la producción de bioplásticos a

partir de remolacha azucarera debe equilibrarse con la producción de alimentos y consideraciones sobre el uso sostenible de la tierra.

El algodón (*Gossypium* spp.), aunque conocido principalmente por su fibra, también produce semillas que contienen aceites utilizables en la fabricación de bioplásticos. Los aceites de algodón pueden ser procesados para producir polioles y otros componentes de bioplásticos. El uso de subproductos del algodón para bioplásticos añade valor a la cosecha y puede reducir los residuos agrícolas. Los bioplásticos derivados del algodón pueden tener propiedades similares a los plásticos convencionales y ser biodegradables. No obstante, la producción de algodón es intensiva en recursos, particularmente en términos de agua y pesticidas, lo que plantea desafíos ambientales que deben ser gestionados.

Las algas, tanto microalgas como macroalgas, están emergiendo como una fuente prometedora de bioplásticos debido a su rápido crecimiento y alta productividad. Las algas no compiten con los cultivos alimentarios y pueden cultivarse en ambientes marinos o en biorreactores, utilizando aguas residuales y reduciendo la carga sobre los recursos terrestres. Los bioplásticos derivados de algas pueden ser completamente biodegradables. Sin embargo, la tecnología para la producción de bioplásticos a partir de algas aún está en desarrollo y puede ser costosa. Además, la cosecha y procesamiento eficiente de algas requieren avances tecnológicos adicionales.

La producción de bioplásticos a partir de especies agrícolas ofrece una alternativa sostenible a los plásticos convencionales, aprovechando fuentes renovables y, en muchos casos, proporcionando opciones biodegradables. Sin embargo, es esencial gestionar adecuadamente los recursos agrícolas para evitar impactos negativos en la seguridad alimentaria y el medio ambiente. La diversificación de las materias primas, incluidos cultivos no alimentarios y algas, junto con la implementación de prácticas agrícolas sostenibles, será crucial para el éxito a largo plazo de los bioplásticos en el mercado global. La investigación continua y el desarrollo de tecnologías eficientes de procesamiento también desempeñarán un papel fundamental en la expansión del uso de bioplásticos derivados de estas diversas especies agrícolas.

En el contexto actual, la búsqueda de alternativas a los plásticos tradicionales es una necesidad urgente debido a la creciente preocupación por la contaminación ambiental y el agotamiento de los recursos fósiles. Los bioplásticos, al ser derivados de fuentes biológicas renovables como el maíz, la caña de azúcar, la soja, la papa, el trigo, la remolacha azucarera, el algodón y las algas, representan un avance significativo en esta dirección. Sin embargo, su adopción generalizada enfrenta varios desafíos, entre ellos, la competencia con la producción de alimentos, el manejo sostenible de los recursos agrícolas y la necesidad de infraestructuras adecuadas para su compostaje y reciclaje. Además, el desarrollo tecnológico y la investigación en métodos de producción más eficientes y menos costosos son esenciales para hacer de los bioplásticos una opción viable a gran escala.

CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación realizada es de tipo bibliométrica. Este tipo de investigación se centra en el análisis cuantitativo de la literatura científica publicada sobre un tema específico. La bibliometría es particularmente útil porque permite evaluar y medir la producción científica, identificar tendencias de investigación, analizar patrones de autoría y colaboración, así como determinar el impacto de las publicaciones a través del conteo de citas.

El diseño de la investigación es descriptivo y analítico, estructurado en varias fases metodológicas. Primero, se realizó la recolección de datos mediante la búsqueda de artículos científicos en bases de datos reconocidas como Web of Science, Scopus y Google Scholar, utilizando palabras clave relevantes. Luego, se llevó a cabo un análisis de datos utilizando herramientas y software bibliométricos para identificar tendencias, patrones de colaboración y los protocolos de producción de bioplásticos más comunes. Finalmente, se interpretaron y presentaron los resultados mediante visualizaciones y un informe detallado que resume los hallazgos clave y ofrece recomendaciones para futuras investigaciones.

3.2. La población y la muestra

3.2.1. Características de la población

La población estudiada estuvo compuesta exclusivamente por artículos científicos publicados en revistas académicas y conferencias. Estos artículos trataron el uso de residuos agrícolas en la producción de bioplásticos, abarcando diversas áreas de estudio como la química de polímeros, ingeniería de materiales y ciencias ambientales. Los artículos seleccionados provenían de una amplia gama de regiones geográficas y períodos de tiempo, reflejando un enfoque global y evolutivo del tema.

3.2.2. Delimitación de la población

La delimitación de la población se centró en publicaciones comprendidas entre los años 2014 y 2024. Se incluyeron únicamente aquellos artículos que explícitamente abordaron el uso de residuos agrícolas para la producción de bioplásticos. No se consideraron investigaciones preliminares o revisiones que no aportaran datos empíricos o metodológicos específicos sobre el tema.

3.2.3. Tipo de muestra

Se utilizó una muestra no probabilística y de conveniencia. Esta muestra estuvo compuesta por artículos accesibles a través de bases de datos académicas como Scopus, Web of Science, Google Scholar, y repositorios institucionales.

3.2.4. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra fue de 150 artículos. Este número se consideró adecuado para ofrecer una visión comprehensiva y representativa de la investigación actual y pasada sobre el tema.

3.2.5. Proceso de selección de la muestra

El proceso de selección de la muestra se llevó a cabo en varias etapas. Primero, se realizó una búsqueda inicial utilizando palabras clave específicas como "residuos agrícolas", "bioplásticos", "biopolímeros", y "sostenibilidad". Posteriormente, se aplicaron filtros para excluir duplicados y estudios que no cumplieran con los criterios de inclusión. Los artículos seleccionados fueron sometidos a una revisión exhaustiva para asegurar su relevancia y calidad científica. Finalmente, se llevó a cabo una revisión de referencias para identificar estudios adicionales que pudieran haberse pasado por alto en la búsqueda inicial.

3.3. Métodos y las técnicas

Búsqueda bibliográfica: Se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos científicas utilizando palabras clave relacionadas con la producción de bioplásticos y residuos agrícolas. Las palabras clave seleccionadas incluyeron términos como "bioplásticos", "residuos agrícolas", "producción de bioplásticos" y "materiales biodegradables".

Selección de documentos: Se seleccionaron documentos relevantes para la investigación, como artículos de investigación, revisiones y conferencias relacionadas con el tema. Se establecieron criterios de inclusión y exclusión para garantizar la calidad y relevancia de los documentos seleccionados.

Análisis bibliométrico: Se aplicaron técnicas bibliométricas para analizar los documentos seleccionados. Estas técnicas incluyeron el cálculo de indicadores bibliométricos como el índice h, el número de citas recibidas, la producción científica por año y la colaboración entre autores e instituciones.

Visualización de datos: Se utilizaron herramientas de visualización para representar gráficamente los resultados del análisis bibliométrico. Estas herramientas permitieron crear mapas de términos, mapas de citas y otros tipos de visualizaciones que facilitaron la interpretación de los datos.

Análisis de contenido: Se llevó a cabo un análisis cualitativo del contenido de los documentos seleccionados. Se identificaron y analizaron los protocolos de producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas, las tendencias de investigación y otros aspectos relevantes del contenido de los documentos.

3.4. Procesamiento estadístico de la información.

En el procesamiento estadístico de la información, se utilizó R Studio en combinación con el paquete bibliométrico llamado bibliometrix. Este paquete es ampliamente utilizado en investigaciones bibliométricas debido a su capacidad para analizar y visualizar datos bibliográficos de manera eficiente y detallada.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

EN LA INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Tendencias de investigación y desarrollo en la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas.

La Figura 1 ilustra la evolución en el número de publicaciones relacionadas con la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas entre 2014 y 2024. Durante estos años, se evidencia una tendencia creciente en el interés y la investigación sobre este tema. En 2014, se registró una única publicación, mientras que en 2015 el número aumentó modestamente a cuatro. A pesar de una ligera disminución en 2016, con tres publicaciones, la tendencia general a partir de 2017 muestra un incremento significativo y sostenido. En este año, las publicaciones aumentaron a seis y continuaron subiendo en 2018 con ocho.

El año 2019 marca un punto de inflexión notable, con un crecimiento acelerado que llevó a 14 publicaciones. Este crecimiento se intensificó aún más en 2020 y 2021, con 24 y 31 publicaciones respectivamente, alcanzando un máximo de 53 publicaciones en 2023. Sin embargo, en 2024 se observa una disminución a 24 publicaciones, lo que podría indicar una saturación en la producción de estudios o un cambio en el enfoque de investigación hacia otras áreas emergentes.

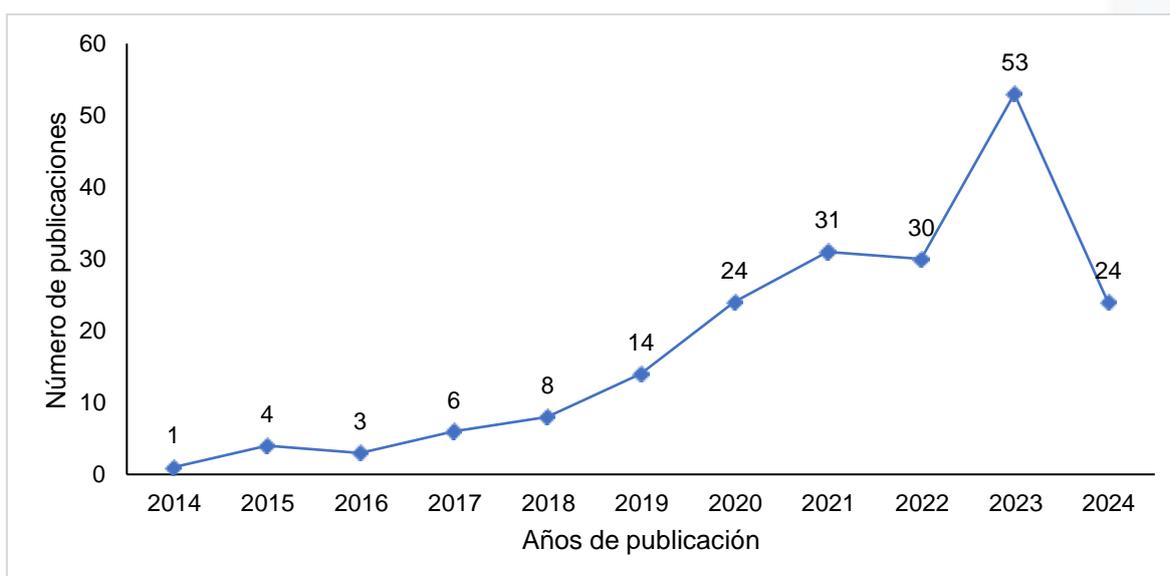


Figura 1. Número de publicaciones relacionadas con la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas, período 2014 – 2024.

La Figura 2 presenta el número de publicaciones por país relacionadas con la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas en el período comprendido entre 2014 y 2024. India destaca significativamente con 45 publicaciones, liderando claramente la investigación en este campo. Le siguen Italia y China con 25 y 22 publicaciones respectivamente, lo que sugiere un fuerte interés y actividad investigativa en estos países. España también muestra un compromiso notable con 13 publicaciones.

Otros países como Estados Unidos, Alemania y Malasia han contribuido con 9 y 8 publicaciones cada uno, indicando una participación moderada en la investigación. Reino Unido y Malasia también tienen 8 publicaciones cada uno. Por otro lado, países como Brasil, Australia, Corea del Sur y Ecuador han producido 6 publicaciones cada uno, mientras que Indonesia ha contribuido con 7 publicaciones. Argentina y Tailandia cuentan con 5 publicaciones cada uno, y Turquía y México tienen 4 publicaciones cada uno. Además, otros países que en conjunto suman 11 publicaciones, reflejando un interés disperso pero presente en diversas partes del mundo.

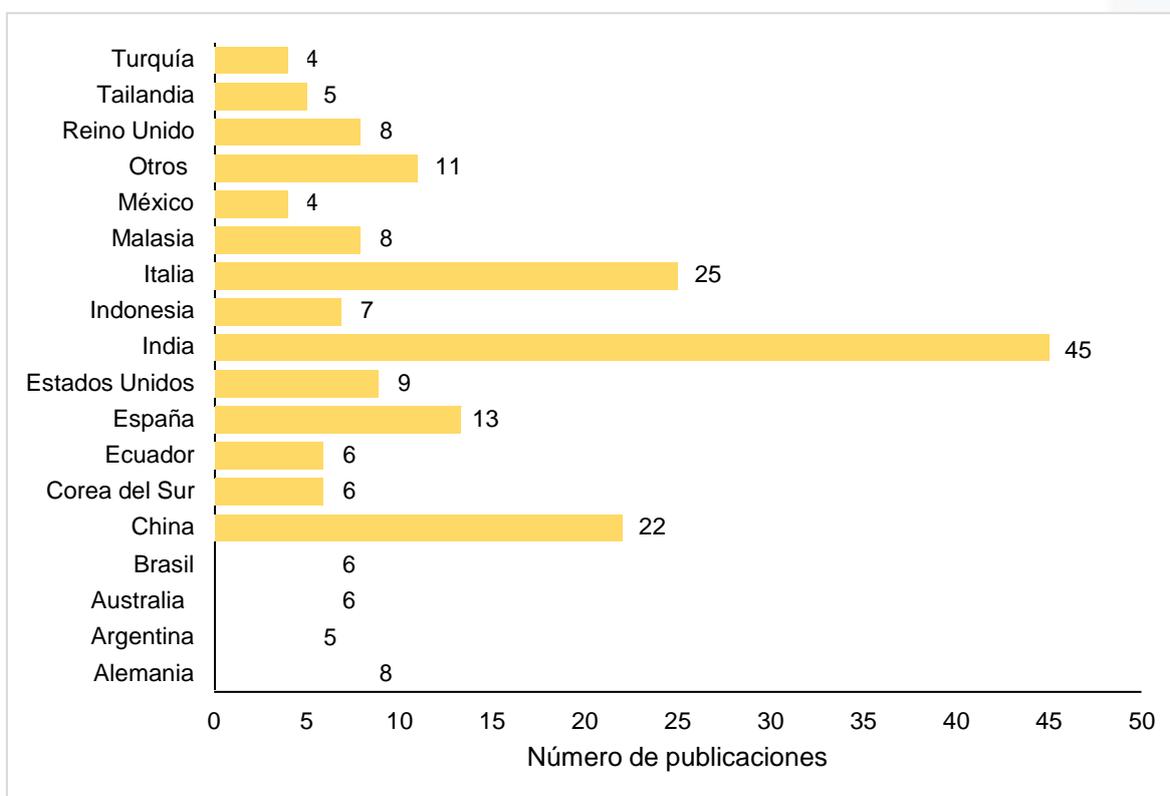


Figura 2. Número de publicaciones por país relacionadas con la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas, período 2014 – 2024.

En la Figura 3 se clasifica los tipos de publicaciones realizadas sobre la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas en el período comprendido entre 2014 y 2024. El análisis muestra que la mayoría de las publicaciones son artículos originales, con un total de 82, lo que representa la forma más común de difusión de investigaciones en este campo. A continuación, se encuentran los artículos de revisión, con 65 publicaciones, lo que indica un interés considerable en la síntesis y evaluación de los avances existentes en la producción de bioplásticos.

Además, se han publicado 29 capítulos de libro, lo que sugiere una integración significativa de este tema en obras académicas más amplias. Los documentos de sesión, que son generalmente presentaciones o resúmenes en congresos y conferencias, suman 17, reflejando la participación activa de los investigadores en eventos académicos y profesionales.

En menor medida, se han publicado 3 libros completos dedicados exclusivamente a este tema, lo que, aunque es una cantidad relativamente baja, demuestra la profundidad de investigación alcanzada en ciertos casos. Finalmente, se identifican 2 publicaciones clasificadas como otros, lo que puede incluir informes técnicos, artículos de divulgación o publicaciones no convencionales.

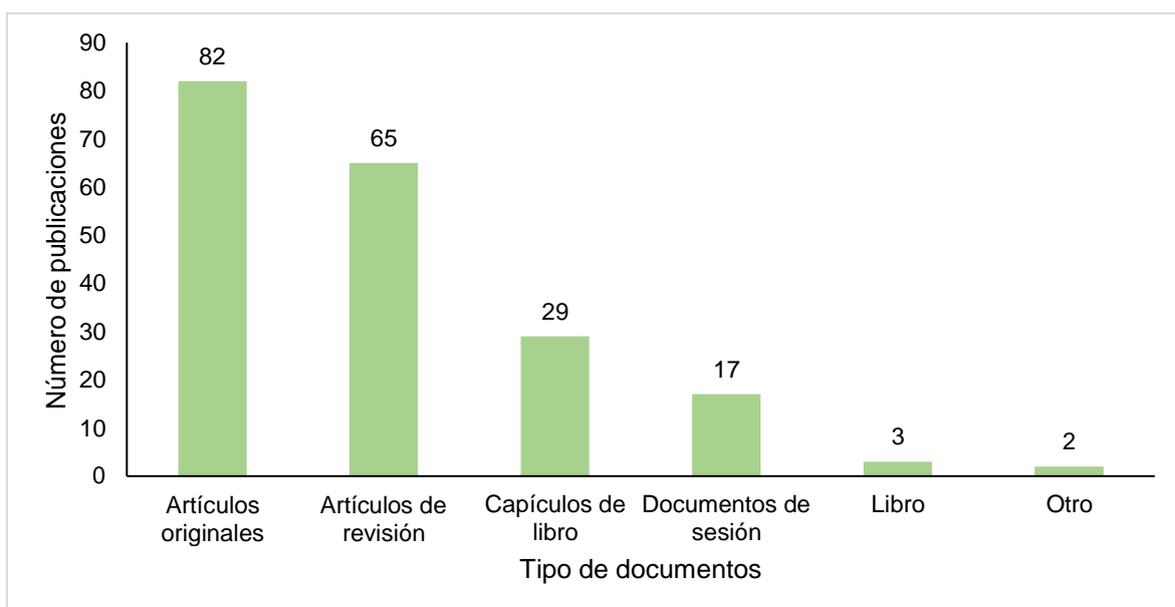


Figura 3. Tipo de publicaciones realizadas sobre la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas, período 2014 – 2024.

La Figura 4, representa las revistas que más publicaciones tienen relacionadas con la producción de bioplásticos en el período comprendido entre 2014 y 2024. Durante este lapso, la revista Science of The Total Environment lidera con 10 publicaciones, seguida de cerca por International Journal of Biological Macromolecules y Polymers, ambas con 8 publicaciones cada una. Detrás de estas, se encuentran Journal of Cleaner Production con 6 publicaciones, y Bioresource Technology con 4. A continuación, varias revistas tienen 3 publicaciones cada una: Biomass Conversion and Biorefinery, Chemosphere, Encyclopedia of Materials: Plastics and Polymers, Energy, Environment, and Sustainability, e Industrial Crops and Products.

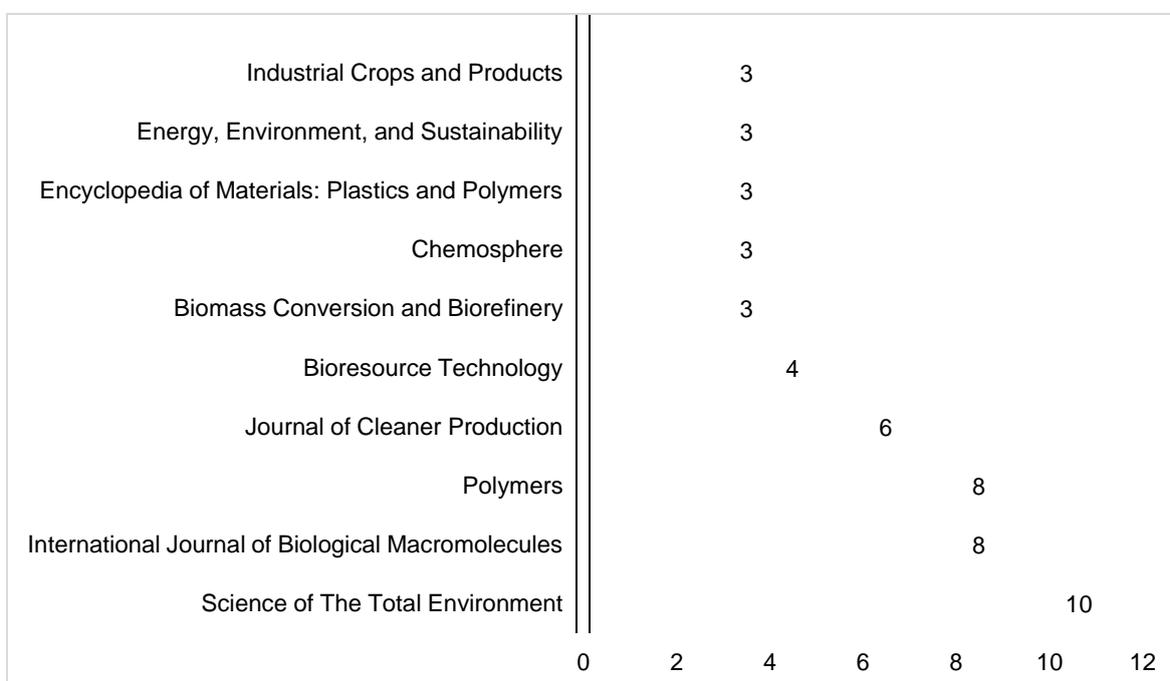


Figura 4. Revistas con mayor número de publicaciones relacionadas con la producción de bioplásticos en el período 2014 – 2024.

La Figura 5 presenta las publicaciones más citadas a nivel global en estudios relacionados con la producción de bioplásticos durante el período de 2014 a 2024. En la lista se encuentran estudios como el de Emadian, Onay, y Demirel (2017) con 686 citas, seguido de cerca por Rosenboom, Langer, y Traverso (2022) con 638 citas.

También se destacan trabajos como el de Wong *et al.* (2020) con 384 citas, Ahmad *et al.* (2019) con 313 citas, y Rujnić y Pilipović (2017) con 305 citas. Otros estudios

relevantes en la lista son Ncube *et al.* (2020) con 261 citas, Sharma *et al.* (2020) con 256 citas, Kharissova *et al.* (2019) con 244 citas, Samantaray *et al.* (2020) con 230 citas, y Cesário *et al.* (2014) con 194 citas.

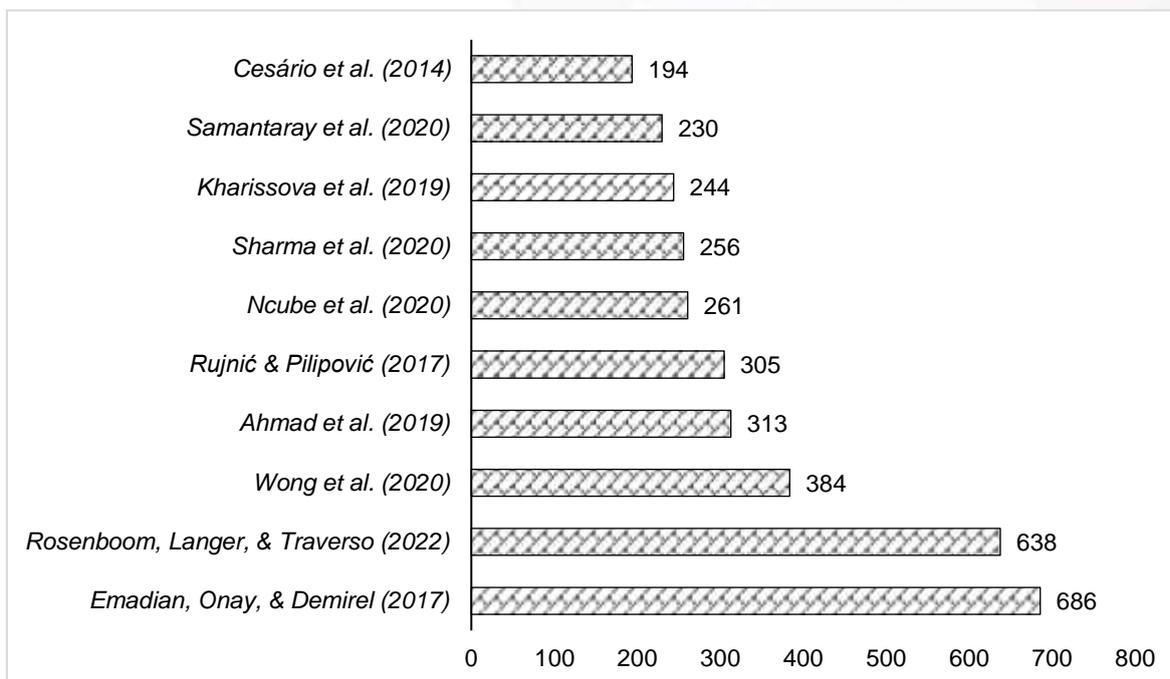


Figura 5. Publicaciones más citadas a nivel global en estudio relacionados con la producción de bioplásticos en el período 2014 – 2024.

La Figura 6 se presenta el número de publicaciones relacionadas con la producción de bioplásticos en revistas de mayor relevancia durante el período de 2014 a 2024. A lo largo de estos años, se observa un incremento gradual en el número de publicaciones en la mayoría de las revistas consideradas.

En los primeros años (2014-2017), no se registran publicaciones en ninguna de las revistas analizadas. Sin embargo, a partir de 2018, comienza a notarse un aumento en las publicaciones, especialmente en *Science of The Total Environment*, *International Journal of Biological Macromolecules*, y *Journal of Cleaner Production*.

En 2020, se observa un aumento significativo en el número de publicaciones en varias de las revistas, destacándose *Science of The Total Environment* con 4 publicaciones, *International Journal of Biological Macromolecules* con 2 publicaciones, y *Journal of Cleaner Production* con 3 publicaciones, entre otras.

A medida que avanzan los años, el número de publicaciones continúa en aumento en la mayoría de las revistas, alcanzando su punto máximo en 2023 con Science of The Total Environment liderando con 10 publicaciones, seguida de International Journal of Biological Macromolecules con 7 publicaciones, y Polymers con 8 publicaciones.

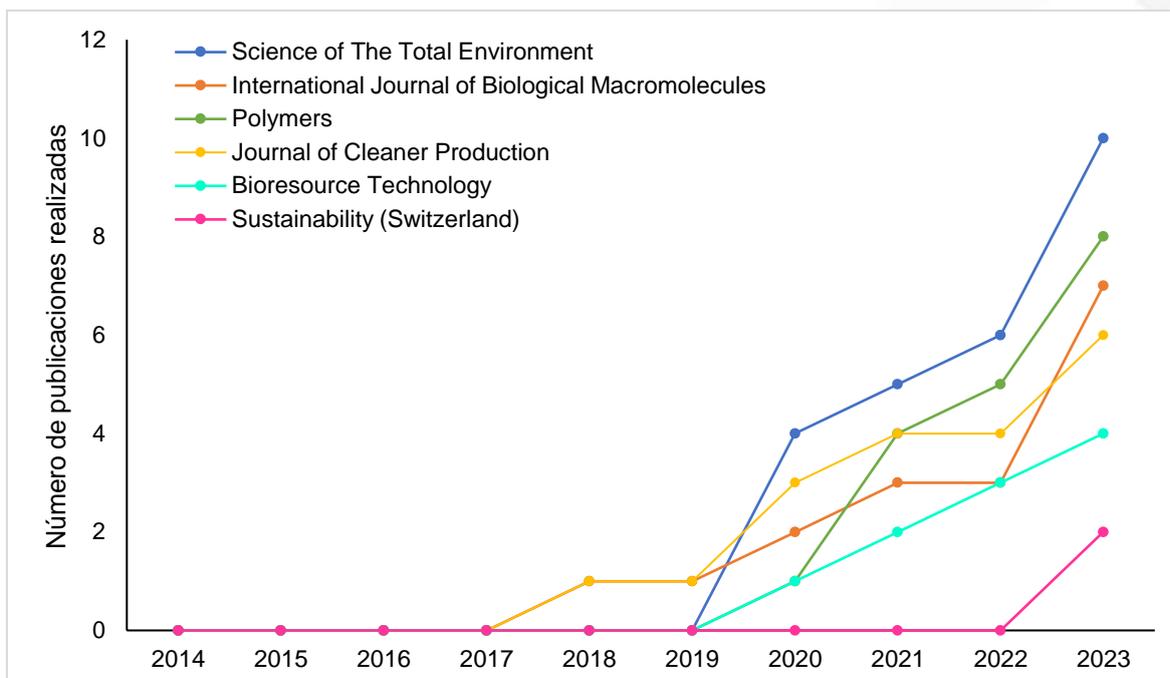


Figura 6. Número de publicaciones relacionadas con la producción de bioplásticos en revistas de mayor relevancia en el período 2014 – 2024.

La Figura 8 proporciona información sobre el número de publicaciones realizadas por los países más citados a nivel global en estudios relacionados con la producción de bioplásticos durante el período de 2014 a 2024. India muestra un aumento significativo en el número de publicaciones a lo largo de los años, partiendo de cero en 2014 y alcanzando la cifra más alta en 2024 con 173 publicaciones. España también muestra un crecimiento gradual, pasando de cero en 2014 a 38 publicaciones en 2024.

China comienza con cero publicaciones en 2014 y experimenta un crecimiento constante, llegando a 82 publicaciones en 2024. Italia muestra un patrón similar, comenzando con cero publicaciones en 2014 y alcanzando 107 publicaciones en 2024. Por otro lado, Brasil muestra un crecimiento más moderado, con cero publicaciones en 2014 y llegando a 36 publicaciones en 2024.

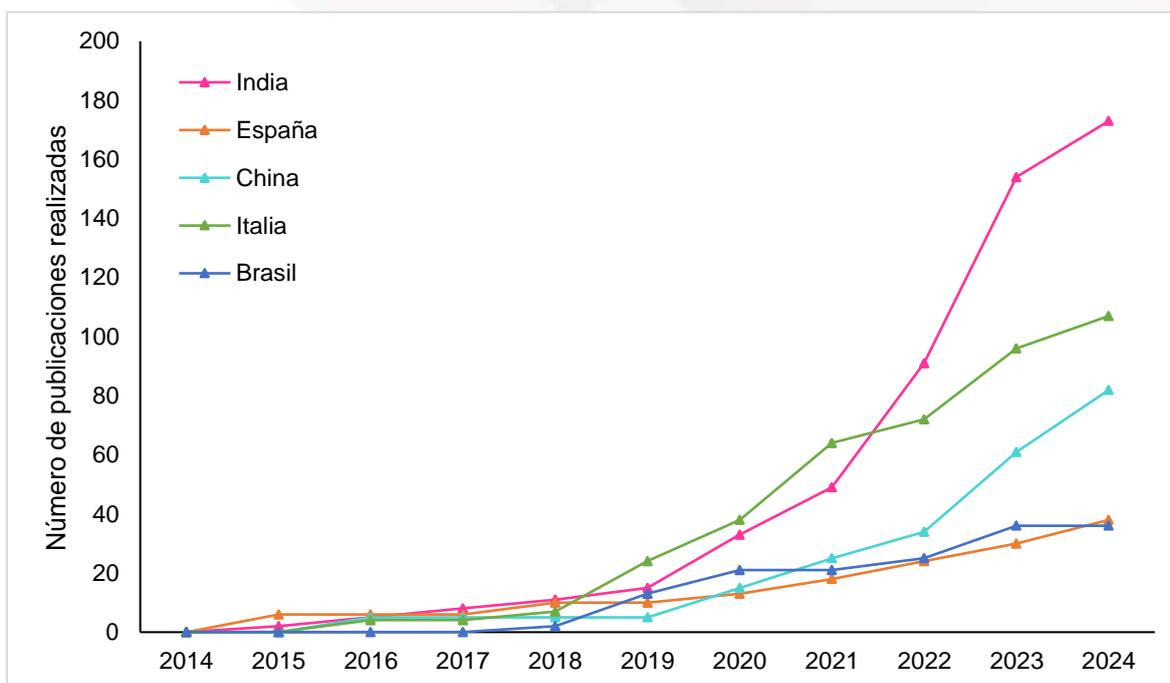


Figura 7. Número de publicaciones realizadas por país más citadas a nivel global en estudio relacionados con la producción de bioplásticos en el período 2014 – 2024.

La Tabla 2 muestra el uso de diferentes palabras clave en las búsquedas de publicaciones sobre bioplásticos durante el período de 2014 a 2024. La palabra clave "Reinforced plastics" fue mencionada 0 veces en 2014 y experimentó un aumento constante hasta llegar a 58 menciones en 2023, acumulando un total de 193 menciones en todo el período. Por su parte, "Bio-plastics" tuvo un crecimiento similar, partiendo de 0 menciones en 2014 y llegando a 47 menciones en 2023, con un total de 111 menciones en el período completo. "Plastic" también tuvo un crecimiento significativo, desde 0 menciones en 2014 hasta 43 menciones en 2023, totalizando 139 menciones en el período.

Otras palabras clave como "Agricultural wastes", "Biodegradable polymers" y "Biodegradation" también mostraron un aumento gradual en su uso a lo largo de los años, reflejando un interés en aspectos relacionados con la sostenibilidad y la biodegradabilidad de los plásticos. En contraste, términos como "Cellulose" y "Biomass" tuvieron un uso más moderado, señalando un enfoque más específico en ciertos tipos de materiales y fuentes de materias primas en la investigación sobre bioplásticos.

Tabla 2. Principales palabras clave utilizadas en las búsquedas de publicaciones sobre bioplásticos en el período de 2014 – 2024.

Palabras clave	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Σ
Reinforced plastics	0	2	3	6	9	14	26	33	42	58	193
Bio-plastics	0	1	1	3	5	7	9	13	25	47	111
Plastic	0	2	2	8	9	9	14	23	29	43	139
Agricultural wastes	0	2	2	3	5	9	17	21	28	40	127
Biodegradable polymers	0	0	0	2	4	7	15	19	26	38	111
Biomass	0	0	0	1	4	4	5	18	29	35	96
Elastomers	0	1	1	4	5	7	14	16	20	30	98
Waste management	0	0	0	3	3	4	9	15	22	31	87
Biodegradation	0	1	1	5	8	10	18	24	27	35	129
Cellulose	0	0	0	0	2	7	9	10	20	30	78

4.2. Diversidad de residuos agrícolas utilizados en la producción de bioplásticos.

La producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas representa una innovación significativa en la búsqueda de alternativas sostenibles a los plásticos convencionales. En este contexto, en la Tabla 3, se presenta una variedad de residuos agrícolas y los bioplásticos derivados de ellos, destacando sus propiedades y aplicaciones. Esta diversificación no solo permite el aprovechamiento integral de subproductos agroindustriales, sino que también contribuye a la mitigación de problemas ambientales asociados con los desechos plásticos.

Tabla 3. Diversidad de residuos agrícolas utilizados en la producción de bioplásticos, sus propiedades y aplicaciones

Residuo agrícola	Bioplástico derivado	Propiedades del bioplástico	Ejemplos de aplicaciones	Fuente
Cereales	Almidón termoplástico (TPS)	Biodegradable, compostable, barrera contra la humedad y el oxígeno	Bolsas, empaques de alimentos, vajillas desechables	Tashiguano-Encalada (2020)
Tubérculos	Almidón termoplástico (TPS)	Biodegradable, compostable, barrera contra la humedad y el oxígeno	Bolsas, empaques de alimentos, vajillas desechables	Rodríguez, Montenengro, y Marín (2022)
Frutas	Pieles y cáscaras de frutas	Biodegradables, compostables, ricos en celulosa y fibra	Film transparente, empaques de alimentos, biocomposites	Alata-Mayhuire <i>et al.</i> (2019)
Hortalizas	Residuos de hortalizas	Biodegradables, compostables, ricos en celulosa y fibra	Film transparente, empaques de alimentos, biocomposites	Riera, Maldonado, y Palma (2018)
Bagazo de caña de azúcar	Poliácido láctico (PLA)	Biodegradable, compostable, alta resistencia y transparencia	Botellas, empaques de alimentos, textiles	Riera, Maldonado, y Palma (2018)
Tallos secos de gramíneas	Celulosa	Biodegradable, compostable, alta resistencia	Refuerzo en biocomposites, materiales de construcción	Francisco-Ponce <i>et al.</i> (2021)
Cáscaras de frutos secos	Lignina	Biodegradable, alta resistencia, barrera contra el agua	Adhesivos, resinas, materiales de construcción	Montoya-Cedeño <i>et al.</i> (2022)

Los cereales y tubérculos, como el maíz y la papa, son fuentes ricas de almidón, un polisacárido que puede transformarse en almidón termoplástico (TPS). Este bioplástico es biodegradable y compostable, lo que lo hace una opción favorable para aplicaciones de corta duración como bolsas, empaques de alimentos y vajillas desechables (Rodríguez, Montenengro, y Marín, 2022). La capacidad del TPS para actuar como barrera contra la humedad y el oxígeno es particularmente útil en el sector de empaques, donde protege los productos alimenticios de la descomposición prematura. Esta característica no solo alarga la vida útil de los productos, sino que también reduce el desperdicio de alimentos (Tashiguano-Encalada, 2020).

Las pieles y cáscaras de frutas, así como los residuos de hortalizas, fueron estudiadas por Alata-Mayhuire *et al.* (2019), quienes expresan en sus resultados

que estos son ricos en celulosa y fibra, dos componentes cruciales para la producción de bioplásticos biodegradables y compostables. La celulosa, al ser un polímero natural abundante, proporciona estructura y resistencia a los bioplásticos, mientras que la fibra mejora las propiedades mecánicas. Estos materiales son ideales para producir films transparentes, empaques de alimentos y biocomposites. Estos bioplásticos no solo reducen la dependencia de materiales no renovables, sino que también ofrecen una solución viable para el manejo de residuos agrícolas, convirtiéndolos en recursos valiosos.

Riera, Maldonado, y Palma (2018) muestra como resultado de sus investigaciones que, el bagazo de caña de azúcar es un subproducto agroindustrial que se utiliza para producir poliácido láctico (PLA), un bioplástico conocido por su alta resistencia y transparencia. El PLA es biodegradable y compostable, y se emplea ampliamente en la fabricación de botellas, empaques de alimentos y textiles. La utilización de bagazo de caña de azúcar para la producción de PLA no solo agrega valor a un residuo agrícola, sino que también ofrece una alternativa ecológica a los plásticos convencionales. Este enfoque de valorización de residuos promueve la economía circular y contribuye a la reducción de la huella de carbono en la producción de plásticos.

Así mismo, la paja, un residuo común en la agricultura de cereales, es una fuente importante de celulosa. La investigación de Francisco-Ponce *et al.* (2021), concluye que, esta celulosa puede transformarse en bioplásticos que son biodegradables y compostables, y que presentan alta resistencia. Los bioplásticos derivados de paja se utilizan como refuerzos en biocomposites y materiales de construcción. Estos materiales no solo ofrecen una resistencia comparable a los plásticos tradicionales, sino que también son más sostenibles y ecológicos. La paja, por tanto, no solo se convierte en un recurso valioso en la producción de bioplásticos, sino que también contribuye a la gestión eficiente de residuos agrícolas.

Montoya-Cedeño *et al.* (2022), expresan que, las cáscaras de frutos secos, como nueces y almendras, contienen lignina, un polímero natural con alta resistencia y capacidad de actuar como barrera contra el agua. La lignina se utiliza para producir bioplásticos biodegradables que encuentran aplicaciones en adhesivos, resinas y

materiales de construcción. Estos bioplásticos no solo son duraderos y resistentes, sino que también ofrecen una solución sostenible al problema de los residuos plásticos. La transformación de cáscaras de frutos secos en bioplásticos representa una innovación en la valorización de residuos agroindustriales, promoviendo el desarrollo de materiales sostenibles y de alto rendimiento.

4.3. Principales protocolos reportados para obtención de bioplásticos a partir de diferentes residuos agrícolas.

Los cereales y tubérculos, al ser ricos en almidón, se someten a un proceso que involucra la extracción del almidón seguido de su gelatinización y posterior termoformado para obtener almidón termoplástico (TPS). Este protocolo resalta la necesidad de preparar adecuadamente la materia prima antes de su conversión en bioplástico (Tashiguano-Encalada, 2020). La gelatinización es un paso clave, ya que rompe las estructuras cristalinas del almidón, permitiendo que adquiera propiedades termoplásticas, esenciales para su moldeado posterior. Esto es fundamental para la producción de productos como bolsas, envases de alimentos y vajillas desechables (Romero-Sáez, 2022).

Por otro lado, las oleaginosas, al contener aceites vegetales, se someten a transesterificación seguida de polimerización para producir poliolefinas bioderivadas. Este proceso implica la reacción de los aceites con un alcohol para producir ésteres, que luego se polimerizan para obtener los bioplásticos deseados. Estos bioplásticos, derivados de fuentes renovables, se utilizan en botellas, envases y productos cosméticos, destacando su versatilidad y su contribución a la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles (Muñoz, Canepa, y Peñafiel, 2022).

En el caso de las frutas y hortalizas, cuyos residuos como las pieles y cáscaras son utilizados, se emplean procesos de molienda, tratamiento químico y termoformado para producir bioplásticos en forma de films transparentes, envases de alimentos y biocomposites. La molienda es esencial para reducir el tamaño de las materias primas, facilitando su procesamiento. El tratamiento químico puede implicar la eliminación de impurezas o la modificación de propiedades para obtener el

bioplástico deseado. Finalmente, el termoformado permite dar forma y estructura a estos bioplásticos, convirtiéndolos en productos finales listos para su uso en diversas aplicaciones (Riera, Maldonado, y Palma, 2018).

En la Tabla 4, se describen los principales procesos de conversión de residuos agrícolas en diferentes tipos de bioplásticos.

Tabla 4. Principales procesos de conversión de residuos agrícolas en diferentes tipos de bioplásticos

Residuo agrícola	Bioplástico derivado	Protocolo	Fuente
Cereales (almidón)	Almidón termoplástico (TPS)	Extracción de almidón, gelatinización, termoformado	Tashiguano-Encalada (2020)
Tubérculos (almidón)	Almidón termoplástico (TPS)	Extracción de almidón, gelatinización, termoformado	Rodríguez, Montenengro, y Marín (2022)
Frutas (pieles y cáscaras)	Film transparente, empaques de alimentos, biocomposites	Molienda, tratamiento químico, termoformado	Alata-Mayhuire <i>et al.</i> (2019)
Hortalizas (residuos)	Film transparente, empaques de alimentos, biocomposites	Molienda, tratamiento químico, termoformado	Riera, Maldonado, y Palma (2018)
Bagazo de caña de azúcar (celulosa)	Poliácido láctico (PLA)	Hidrólisis ácida, fermentación, polimerización	Riera, Maldonado, y Palma (2018)
Paja (celulosa)	Refuerzo en biocomposites, materiales de construcción	Molienda, tratamiento químico, termoformado	Francisco-Ponce <i>et al.</i> (2021)
Cáscaras de frutos secos (lignina)	Adhesivos, resinas, materiales de construcción	Extracción de lignina, purificación, tratamiento químico	Montoya-Cedeño <i>et al.</i> (2022)

Por su parte, el bagazo de caña de azúcar y la paja, ricos en celulosa, se utilizan en la producción de poliácido láctico (PLA) y como refuerzo en biocomposites y materiales de construcción, respectivamente. El proceso para obtener PLA involucra hidrólisis ácida seguida de fermentación y polimerización. Este proceso muestra cómo la biomasa se convierte en un bioplástico biodegradable y compostable. En el caso de la paja, se emplean procesos similares de molienda, tratamiento químico y termoformado para su uso como refuerzo en biocomposites, resaltando su versatilidad en aplicaciones de construcción más sostenibles (Riera, Maldonado, y Palma, 2018).

Finalmente, las cáscaras de frutos secos, según describe Montoya-Cedeño *et al.* (2022), contienen lignina, se someten a un proceso de extracción, purificación y tratamiento químico para producir bioplásticos utilizados en adhesivos, resinas y materiales de construcción. La extracción de lignina es un paso crítico ya que este polímero natural aporta resistencia y propiedades impermeables al bioplástico final. La purificación y el tratamiento químico son esenciales para garantizar la calidad y funcionalidad del bioplástico, haciéndolo adecuado para diversas aplicaciones industriales.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Las tendencias de investigación y desarrollo en la producción de bioplásticos a partir de residuos agrícolas muestran un interés creciente y sostenido a lo largo de la última década, con un enfoque geográficamente diverso liderado por India (22.73%), Italia (12.63%) y China (11.11%), y una predominancia de artículos originales (41.41%) y de revisión (32.83%), siendo la revista Science of The Total Environment la que mayor número de publicaciones tiene en este campo (10 publicaciones), y los autores Emadian, Onay, y Demirel (2017), los más citados a nivel global (686 citas).

Los principales residuos agrícolas reportados en la literatura para la producción de bioplásticos, como cereales, tubérculos, oleaginosas, frutas, hortalizas, bagazo de caña de azúcar, tallos secos de gramíneas y cáscaras de frutos secos, han sido ampliamente estudiados debido a su potencial para ser transformados en bioplásticos biodegradables y compostables, contribuyendo así a la reducción del impacto ambiental asociado con los plásticos convencionales.

El protocolo más viable para la obtención de bioplásticos a partir de residuos agrícolas es el que utiliza la extracción de almidón de cereales y tubérculos, seguido de gelatinización y termoformado, debido a la abundancia de materia prima, la simplicidad del proceso y la versatilidad del almidón termoplástico en diversas aplicaciones.

5.2. Recomendaciones

Fomentar la investigación interdisciplinaria entre expertos en ciencias agrícolas, química e ingeniería de materiales. Esto permitirá impulsar el desarrollo de nuevos protocolos y tecnologías innovadoras, alineándose con el interés creciente y sostenido en esta área de estudio.

Implementar programas de financiamiento y apoyo dirigidos a proyectos de investigación y desarrollo en bioplásticos agrícolas en estos países. Promover la generación de conocimiento y la transferencia de tecnología puede fortalecer aún más su posición en este campo.

Promover activamente la difusión de resultados de investigación a través de publicaciones, conferencias y plataformas de intercambio de conocimientos. Esto facilitará la transferencia de tecnología a la industria, contribuyendo a una transición más sostenible en el sector de los materiales plásticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbas, N., y Al-Hashimi, S. (2020). Recent advances in the removal of emerging contaminants from water using nanomaterials. *Environmental Science y Technology* 54(17): 10770-10792.
- Aguayo-Villarreal, I., García-Gómez, C., y Martínez-Huitle, C. (2023). Recent advances in the electrochemical removal of emerging contaminants from water: A review. *Environmental Science y Technology* 57(1): 20-44.
- Aguiar, S., Enríquez, M., y Uvidia, H. (2022). Residuos agroindustriales: Su impacto, manejo y aprovechamiento. *Axioma, Revista Científica de Investigación, Docencia y Proyección Social* (27): 5-10.
- Ahmad, T., Aadil, R., Ahmed, H., Rahman, U., Soares, B., Souza, S., . . . Almada, R. (2019). Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. *Trends in Food Science and Technology* 88: 361-372.
- Alata-Mayhure, E., Cuadros-Huamaní, Y., Miranda-Zanardi, L., y Medina-De Miranda, E. (2019). Biopelículas producidas con cáscara de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 85(2): 231-241.
- Alcívar, M., Carrillo, K., y Rieral, M. (2022). Development of a bioplastic from banana peel. *Ingeniería e Investigación* 42(3): e202.
- Alzuhairi, M., Khalil, B., y Hadi, R. (2017). Nano ZnO Catalyst for Chemical Recycling of Polyethylene terephthalate (PET). *Journal of Engineering Technology* 35: 831-837.
- Aponte, G., y Soledad, B. (2022). Bioplásticos: Sustentabilidad ambiental y principales tendencias. *Tekhné* 25(3): 45-60.
- Avellán, A., Díaz, D., Mendoza, A., Zambrano, M., Zamora, Y., y Riera, M. (2020). Obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios* 7(1): 1-11.
- Bollaín, C., y Vicente, D. (2020). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Revista Española de Salud Pública* 93: e201908064.
- Cesário, M., Raposo, R., De Almeida, M., Van Keulen, F., Ferreira, B., y Da Fonseca, M. (2014). Enhanced bioproduction of poly-3-hydroxybutyrate from wheat straw lignocellulosic hydrolysates. *New Biotechnology* 31(1): 104-113.

- Emadian, S., Onay, T., y Demirel, B. (2017). Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management* 59: 526-536.
- Francisco-Ponce, B., Vidal-Silva, I., Maldonado-Astudillo, Y., Jiménez-Hernández, J., Flores-Casamayor, V., Arámbula-Villa, G., y Salazar, R. (2021). Efecto de la adición de subproductos agroindustriales en las propiedades físicas de un bioplástico almidón-gelatina. *Biotecnia* 23(1): 52-61.
- Franco, S., Matías, V., Tavárez, N., Franco, S., Peña, M., Reynoso, B., y Marín, W. (2023). Evaluación de propiedades físicas de películas plásticas biodegradables elaborados utilizando una combinación de subproductos de arroz (*Oryza sativa*) y Yuca (*Manihot esculenta*). *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* 7(2): 11735-11747.
- Ghoshal, G. (2019). Recent development in beverage packaging material and its adaptation strategy. *Trends in Beverage Packaging* 16: 21-50.
- Infante, J., y Valderrama, C. (2019). Análisis Técnico, Económico y Medioambiental de la Fabricación de Bloques de Hormigón con Polietileno Tereftalato Reciclado (PET). *Información Tecnológica* 30(5): 25-36.
- Kharissova, O., Kharisov, B., González, C., Méndez, Y., y López, I. (2019). Greener synthesis of chemical compounds and materials. *Royal Society* 16(111): e191378.
- Kosuth, M., Mason, S., y Wattenberg, E. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLoSOne* 13(4): e0194970.
- Lebreton, L., y Andrady, A. (2021). Future scenarios of global plast waste generation and disposal. *Palgrave Commun* 5: e6.
- Ledesma, R., y Abreu, R. (2023). Evaluación de residuos forestales de especies potenciales para la obtención del carbono como energía limpia de la Amazonía ecuatoriana. *Enfoque UTE* 14(2): 35-51.
- Martillo, J., Lesme, R., y Oliva, L. (2020). Estimación del potencial energético de la tusa en la provincia de Los Ríos y Guayas, Ecuador. *Centro Azúcar* 47(2): 11-21.
- Montoya-Cedeño, M., Espinal-Lascano, M., Bello-Moreira, I., López-Zambrano, C., Mendoza-Cedeño, E., Bravo-Moreira, C., y López-Zambrano, P. (2022). Elaboración de bioplásticos a base de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) y almidón de maíz (*Zea mays*) . *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* 6(4): 2385-2401.

- Muñoz, O., Canepa, E., y Peñafiel, A. (2022). Enseñanzas para el manejo de los desechos agrícolas del Cantón Montalvo mediante charlas en gestión ambiental. *Conrado* 18(88): 141-150.
- Ncube, L., Ude, A., Ogunmuyiwa, E., Zulkifli, R., y Beas, I. (2020). Environmental impact of food packaging materials: A review of contemporary development from conventional plastics to polylactic acid based materials. *Materials* 13(21): 1-24.
- Paredes-Vega, R. (2020). Propuesta de elaboración de bioplástico en base a almidón de yuca para vasos descartables. Universidad Continental. Arequipa - Perú. 91 p.
- Pinto, C., Cardona, J., y Polanco, M. (2023). Percepción de consumidores y perspectivas de industrias de alimentos de Cali sobre el uso de bioplástico en sus empaques. *Revista Universidad y Empresa* 25(44): e3.
- Prata, J., y Dias, P. (2023). Microplastics in terrestrial domestic animals and human health: Implications for food security and food safety and their role as sentinels. *Animals (Basel)* 13(4): e661.
- Quevedo, J., y Ormaza, J. (2022). Análisis de percepción del usuario en el uso de plásticos biodegradables en la ciudad de Azogues. *Conciencia Digital* 5(3): 183-204.
- Riera, M., y Palma, R. (2018). Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador. *Avances en Química* 13(3): 69-78.
- Riera, M., Maldonado, S., y Palma, R. (2018). Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial* 17(3): 227-246.
- Rodríguez, J., Montenengro, V., y Marín, N. (2022). Fabricación de polímeros a base de almidón de tubérculos panameños seleccionado. *Revista de Iniciación Científica* 8: e338.
- Romero-Sáez, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *TecnoLógicas* 25(54): e100.
- Rosenboom, J., Langer, R., y Traverso, G. (2022). Bioplastics for a circular economy. *Nature Reviews Materials* 7(2): 117-137.
- Rujnić, M., y Pilipović, A. (2017). Challenges and opportunities of biodegradable plastics: A mini review. *Waste Management and Research* 35(2): 132-140.

- Samantaray, P., Little, A., Haddleton, D., McNally, T., Tan, B., Sun, Z., . . . Wan, C. (2020). Poly(glycolic acid) (PGA): A versatile building block expanding high performance and sustainable bioplastic applications. *Green Chemistry* 22(13): 4055-4081.
- Sernaqué-Auccahuasi, F., Huamán-Mogollón, L., Pecho-Chipa, H., y Chacón-Chacón, M. (2020). Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de *Mangifera indica* y *Musa paradisiaca*. *Centro Agrícola* 47(4): 22-31.
- Sharma, P., Gaur, V., Kim, S., y Pandey, A. (2020). Microbial strategies for bio-transforming food waste into resources. *Bioresource Technology* 299: e122580.
- Solórzano-Vélez, J., Vargas-Delgado, M., Ponce-Saltos, W., Rosero-Delgado, E., y Riera, M. (2023). Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de la tusa de maíz (*Zea mays*). *Publicaciones en Ciencia y Tecnología* 17(1): 19-31.
- Tashiguano-Encalada, V. (2020). Revisión de literatura y propuesta de un laboratorio de innovación y desarrollo de materiales biodegradables en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. *Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. El Zamorano - Honduras*. 55 p.
- Valderrama, M., Chavarro, L., Osorio, J., y Peña, C. (2018). Estudio dinámico del reciclaje de envases PET en el Valle del Cauca. *Revista Lasallista de Investigación* 15(1): 67-74.
- Wong, J., Lee, K., Tang, K., y Yap, P. (2020). Microplastics in the freshwater and terrestrial environments: Prevalence, fates, impacts and sustainable solutions. *Science of the Total Environment* 7191: e137512.

ANEXOS

Anexo 1. Proceso de búsqueda de artículos en la base de datos de Scopus

The screenshot shows the Scopus search interface. The search query is "bioplastics AND agricultural AND waste". The results show 198 documents found. The first document is titled "Investigating waste mineral-filled cellulose sourcing in circular economy for regeneration into composite: Matching existing market volumes of oil-based plastics for packaging" by Hrafi, M., Carreras, I.M.X., Denis-Merc, K., Garcia, M.A.C., Gans, P. The second document is titled "Impact of bioplastics on environment from its production to end-of-life" by Hilm, M., Koyachuk, T., Haque, N., Bhuiyan, M., Prasenki, S.K.

Anexo 2. Procesamiento de los datos bibliométricos en Bibliometrix

The screenshot shows the Bibliometrix interface. The main window displays a table titled "Completeness of bibliographic metadata - 188 documents from Scopus". The table has columns for Metadata, Description, Missing Counts, Missing %, and Status.

Metadata	Description	Missing Counts	Missing %	Status
All	Author	0	0.00	Excellent
DT	Document Type	0	0.00	Excellent
SD	Journal	0	0.00	Excellent
PI	Publisher Name	0	0.00	Excellent
IS	Year	0	0.00	Excellent
TC	Total Citations	0	0.00	Excellent
DI	DOI	16	8.50	Good
AB	Abstract	198	100.00	Complete missing
EY	Affiliates	198	100.00	Complete missing
CR	Cited References	198	100.00	Complete missing
CA	Corresponding Author	198	100.00	Complete missing
KE	Keywords	198	100.00	Complete missing
KEP	Keywords Plus	198	100.00	Complete missing
LA	Language	198	100.00	Complete missing
SC	Science Categories	198	100.00	Complete missing

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

