

**USO DE COPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES DEL CACAO EN LA
ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS SOSTENIBLES**

Modalidad Monografía

**Propuesta de grado para la obtención del título de:
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**Presentado por:
TATIANA NAVARRO PEREIRA**

**Directora.
MARGARITA DEL ROSARIO SALAZAR SÁNCHEZ Ph. D**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR SECCIONAL AGUACHICA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGROINDUSTRIALES
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
AGUACHICA – CESAR**

2024

**USO DE COPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES DEL CACAO EN LA
ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS SOSTENIBLES**

Modalidad Monografía.

**Propuesta de grado para la obtención del título de:
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**Presentado por:
TATIANA NAVARRO PEREIRA**

**Directora.
MARGARITA DEL ROSARIO SALAZAR SÁNCHEZ Ph. D**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR SECCIONAL AGUACHICA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGROINDUSTRIALES
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
AGUACHICA – CESAR**

2024

Nota de aceptación

Directora

Firma del jurado

Firma del jurado

Agradecimiento

En primer lugar, quiero expresar mi profunda gratitud a DIOS por otorgarme la constancia y perseverancia necesaria para culminar este proyecto de grado. Su guía y fortaleza han sido fundamentales en cada etapa de este proceso.

Agradezco de manera infinita a mi Directora, Margarita del Rosario Salazar Sánchez, por su paciencia inagotable y su disposición constante para orientarme en cada fase de la tesis. Su experiencia, consejos y apoyo han sido invaluable durante todo el trayecto.

Además, quiero reconocer el valioso aporte de los docentes Viviana Julieth Martínez Quintero y Luis Eduardo Galezo, cuya colaboración y orientación han enriquecido significativamente este trabajo.

Extiendo mi agradecimiento a mi amiga Marcela Peña García, por su apoyo incondicional durante este camino. Su presencia ha sido una fuente constante de motivación.

Por último, a la Universidad Popular del Cesar – Seccional Aguachica por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto de tesis y proporcionar el ambiente académico propicio para su desarrollo.

Atte.

Navarro Pereira Tatiana

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a ti DIOS, Por ser mi guía en los momentos más difíciles y permitir superar toda dificultad con tu infinito amor.

A mi amado hijo Juan David Navarro Pereira, quien ha sido mi inspiración y mi mayor motivación para superar todos los obstáculos. Tu amor incondicional y tu sonrisa han sido mi fuerza en los momentos difíciles. Este trabajo está dedicado a ti, con la esperanza de que encuentres en él un testimonio de amor y compromiso contigo.

No podía faltar mi querido hermano Elkin Navarro, aunque ya no estes físicamente entre nosotros, tu presencia sigue siendo fuerte en mi corazón y en cada uno de mis recuerdos. Hoy, alcanzo esta meta en mi vida como te lo prometí, quiero dedicarte este logro como un tributo a tu memoria.

TABLA DE CONTENIDO

1. Resumen.....	11
2. Introducción.....	13
3. Título	14
4. Problema.....	14
4.1 Descripción del Problema.....	15
4.2. Formulación del Problema.....	16
5. Justificación.....	17
6. Objetivos	19
6.1. Objetivo General.....	19
6.2. Objetivos Específicos	19
7. Delimitación.....	19
7.1. Temporal.	19
7.2. Especial.....	20
7.3. Delimitación Espacial.	20
7.4. Delimitación Contextual.....	20
8. Marco Referencial	20
8.1. Contexto Geográfico.....	21
8.2. Marco Histórico	23
8.2.1. Antecedentes Históricos.....	23
8.2.2. Antecedentes Investigativos del Orden Internacional.....	23
8.2.3. Del Orden Nacional.	32
8.3. Marco Teórico.....	33
8.3.1. Historia del Cacao.	34
8.3.4. Partes de la planta de Cacao.....	38

8.3.5. Variedad del Cacao.	39
8.3.6. Procesamiento del Cacao.	43
8.3.7. Coproductos Agroindustriales del Cacao.	44
8.3.8. Historia del Plástico.	45
8.3.9. Definición del Plástico Convencional.....	46
8.3.10. Importancia en la Reducción de la Dependencia de Plásticos Convencionales.	47
8.3.10.1. Impacto ambiental.	47
8.3.10.2. Agotamiento de los recursos no renovables.	47
8.3.10.4. Impacto en la vida marítima.	48
8.3.10.5. Cambio climático.	48
8.3.11. Historia del Bioplásticos.	48
8.3.12. Definición de Bioplástico.	49
8.3.13. Importancia de los Materiales Bioplásticos.....	49
8.3.13.1. Ventajas de los Materiales Bioplásticos.	50
8.3.13.2. Desventajas de los Materiales Bioplásticos.	50
8.4. Marco Legal	51
8.5. Marco Conceptual	53
9. Diseño Metodológico.....	55
9.1. Investigación de Antecedente y Documentación Técnica.	55
9.2. Determinación de Factores Esenciales de este Proyecto.	55
9.2.1. Selección de Fuentes.	55
9.2.2. Criterios de Inclusión y Exclusión.....	56

9.2.3. Proceso de Análisis.	56
10. Resultados	60
10.1. Objetivo 1. Utilización de Residuos Agroindustriales del Cacao para la Obtención de Materiales Poliméricos, a través del Análisis de Artículos Científicos y Estudios de Caso.	60
10.2. Objetivo 2. Las Propiedades Físicas, Mecánicas y Biodegradabilidad de los Bioplásticos Derivados de Coproductos Cacaoteros, Estableciendo Comparativas con Polímeros Convencionales.....	67
10.2.1. Algunas de las tecnologías más destacadas incluyen.	74
10.2.3 Métodos tecnológico para extracción de celulosas en la cascara de cacao. ...	75
10.3. Objetivo 3. Las principales Limitaciones Técnicas, Económicas y Ambientales Asociadas con la Producción y Aplicación de Bioplásticos a partir de Coproductos Agroindustriales del Cacao, aportando a la Comprensión Integral de los Desafíos en la Implementación de estas Soluciones Sostenibles.	77
10.3.2. Ventajas Competitivas De Las Empresas Asociativas De Cacao En El Departamento Del Cesar.....	85
10.3.3. Ejemplo de implementación amigable con el medio ambiente.....	87
10.3.4. Limitaciones en el departamento y municipio de Aguachica.	89
10.3.5. Recomendaciones.....	89
11. Conclusiones.....	91
12. Referencias	93

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 1. Cantidades de materia prima para la obtención de almidón a base de la cascara de cacao y plátano	30
Tabla 2. Taxonomía del cacao (Theobromacaxao L.)	37
Tabla 3. Composición de grano de cacao en porcentajes	40
Tabla 4. Composición de la cascarilla del cacao en porcentajes	40
Tabla 5. Composición físico química del mucilago	41
Tabla 6. Valor nutricional del mucilago del cacao	41
Tabla 7. Composición de la cascara de cacao sin procesar	42
Tabla 8. Valores nutricionales por cada 100g de la cascara de cacao	42
Tabla 9. Porcentajes de los componentes de los residuos de la cascara de cacao	43
Tabla 10. Componentes químicos del plástico	47
Tabla 11. 49	
Composición del bioplástico.....	49
Tabla 12. Proceso de búsqueda y selección de documento.....	57
Tabla 13. Recopilación sobre algunos Estudios más Relevante para la Realización del Bioplástico a partir del Residuo del Cacao	62
Tabla 14. Empresa generadora de residuos agroindustriales	64
Tabla 15. Aguachica. Principales cultivos permanente por promedio anual,2017-2019	66
Tabla 16. Caracterización Física del Residuos del cacao para la elaboración del bioplásticos	68
Tabla 17. Criterios para las Propiedades Físico Mecánico.....	68
Tabla 18. 72	
Características Físicos Mecánicas del bioplástico y plástico PET	72
Tabla 19. Equipos tecnológicos	73
Tabla 20. Retos y Oportunidades	80
Tabla 21. 81	
Envases Biodegradables en Colombia al 2032	81
Tabla 22. 82	
Patentes Asociadas al Desarrollo de Envase Biodegradable	82
Tabla 23. 84	
Producción de cacao en el cesar entre año 2022 hasta 2023	84

ÍNDICES DE FIGURAS

Figura 1.	Municipio de Aguachica, Departamento del Cesar, escala 1:70.00.....	22
Figura 2.	<i>Fotografía del fruto de cacao</i>	37
Figura 3.	<i>Trayecto Metodológico</i>	57
Figura 4.	<i>Búsqueda y Selección de documento</i>	59
Figura 5.	Tipos de Residuos que se Generan en la Agricultura.....	65
Figura 6.	Diagrama de Flujo de la Obtención de Celulosa y Almidón, Método Hidrolisis NaOH 69	69
Figura 7.	Diagrama de Flujo para la Obtención de una lámina en Bioplástico.....	70
Figura 8.	<i>Asociación Cacaotero en el Cesar</i>	83
Figura 9.	Representa la Cantidad de Cacao en Porcentajes	84

1. Resumen

El aumento global de la contaminación, propiciado por la proliferación de desechos plásticos, ha ocasionado una acumulación alarmante en ecosistemas terrestres y acuáticos, generando daños significativos tanto directos como indirectos. En esta investigación, se estableció como objetivo analizar la viabilidad y los avances en la producción de bioplásticos sostenibles a partir de coproductos agroindustriales del cacao. Para ello, se llevó a cabo una revisión bibliográfica en diversas bases de datos que reveló la presencia de abundantes residuos asociados al cacao, como la cascarilla, el mucílago hidrolizado, la mazorca y la placenta, los cuales presentan propiedades fisicoquímicas favorables para la extracción de membranas celulósicas y almidón. Estos componentes pueden ser utilizados como materias primas en la fabricación de bioplásticos, una alternativa sostenible y biodegradable que puede satisfacer las demandas del mercado al tiempo que promueve la economía circular y reduce el impacto ambiental. Así también se encontró que la adopción de estos bioplásticos no solo contribuye a disminuir la dependencia de los plásticos convencionales derivados del petróleo, sino que también impulsa la conservación del medio ambiente. En conclusión, la implementación de biopolímeros obtenidos a partir de residuos agroindustriales, como los del cacao, emerge como una solución prometedora para abordar la crisis de contaminación plástica a nivel global. Este enfoque no solo busca mitigar los efectos negativos de la acumulación de desechos plásticos, sino que también promueve prácticas más sostenibles y responsables en la industria.

Palabras claves: Cacao, plásticos, impacto, bioplástico, residuos.

Abstract

The global increase in pollution, driven by the proliferation of plastic waste, has led to alarming accumulation in terrestrial and aquatic ecosystems, causing significant direct and indirect damage. This research aimed to analyse the feasibility and advancements in the production of sustainable bioplastics from cocoa agro-industrial by-products. A bibliographic review was conducted across various databases, revealing the presence of abundant cocoa-associated residues such as husks, hydrolysed mucilage, pods, and placenta, which exhibit favourable physicochemical properties for the extraction of cellulose membranes and starch. These components can serve as raw materials in the manufacture of bioplastics, a sustainable and biodegradable alternative capable of meeting market demands while promoting circular economy principles and reducing environmental impact. Additionally, it was found that the adoption of these bioplastics not only helps reduce dependence on conventional petroleum-derived plastics but also promotes environmental conservation. In conclusion, the implementation of biopolymers derived from agro-industrial waste, such as cocoa residues, emerges as a promising solution to address the global plastic pollution crisis. This approach not only seeks to mitigate the negative effects of plastic waste accumulation but also promotes more sustainable and responsible practices in the industry.

Keywords: Cocoa, plastics, impact, bioplastic, waste.

2. Introducción

El uso de coproductos agroindustriales del cacao en la elaboración de bioplásticos sostenibles presenta una alternativa prometedora para abordar los desafíos ambientales derivados del uso excesivo de plásticos convencionales. El presente estudio se centra en explorar esta solución innovadora en el contexto del municipio de Aguachica, donde la producción de cacao es una actividad económica vital.

El problema de la contaminación plástica es urgente y global. Los plásticos derivados del petróleo contribuyen significativamente a la contaminación ambiental y representan una amenaza para los ecosistemas. En este sentido, los bioplásticos sostenibles se erigen como una alternativa valiosa al plástico convencional, ya que se elaboran a partir de materiales renovables y son biodegradables, compostables y libres de químicos tóxicos.

Este proyecto de investigación tiene como objetivo analizar críticamente la viabilidad y los avances en la producción de bioplásticos sostenibles a partir de coproductos agroindustriales del cacao. A través de objetivos específicos que se desarrollaron en los siguientes apartados: i. Enfocado en la síntesis de investigaciones previas sobre la utilización de residuos agroindustriales del cacao para la obtención de materiales poliméricos, en el cual se realizó la revisión de artículos científicos y estudios de caso, ii. Consistente en el abordaje de la evaluación de las propiedades físicas, mecánicas y de biodegradabilidad de los bioplásticos derivados del coproducto cacaotero con la finalidad de establecer comparación con polímeros convencionales y iii. Presenta la identificación de las principales limitaciones técnicas, económicas y ambientales asociadas con la producción y aplicación de bioplásticos a partir de coproductos agroindustriales del cacao, estos tres apartados se compilan con finalidad de aportar a la comprensión de los desafíos de la implementación de estas soluciones sostenibles en la región.

En este contexto este trabajo identificó que los coproductos agroindustriales del cacao, como la mazorca, la placenta, el mucílago hidrolizado y la cascarilla, ofrecen una materia prima abundante y potencialmente aprovechable para la producción de bioplásticos sostenibles. Además, el proceso de producción de polímeros naturales a partir de estos coproductos puede generar beneficios económicos y ambientales, al tiempo que promueve prácticas más sostenibles en la industria cacaotera.

Y en cuanto a la gestión adecuada de los residuos agroindustriales del cacao es crucial para prevenir la contaminación del suelo y los cuerpos de agua en la región. Además, la producción y comercialización de bioplásticos derivados de estos coproductos podrían diversificar la economía local, generar empleo y fortalecer la estabilidad económica de la región.

Entre las conclusiones se logró obtener que los diferentes coproductos o residuos del cacao son una fuente prometedora para la obtención de diversas biomoléculas y biopolímeros y dadas sus características fisicoquímicas tienen bajo impacto ambiental por su alta biodegradabilidad, sin embargo, se presentan desafíos para sus aprovechamientos a lo largo de la cadena de producción del cacao.

3. Título

Uso de Coproductos Agroindustriales del Cacao en la Elaboración de Bioplásticos Sostenibles

4. Problema

4.1 Descripción del Problema.

Los materiales plásticos tradicionales se derivan del petróleo, el cual tarda en degradarse, causando contaminación ambiental y generando una amenaza para los ecosistemas. Es crucial reducir el plástico para evitar un problema de contaminación global (ONU, 2021). Los bioplásticos sostenibles son una alternativa al plástico convencional, ya que se elaboran a partir de materiales renovables, como el almidón de maíz, la celulosa y la caña de azúcar, los cuales son biodegradables y compostables no contienen químicos tóxicos ni emiten gases de efecto invernadero en su producción, además pueden ser reciclados y reutilizados, reduciendo la cantidad de residuos generados por las industrias (Arriols,2018). Los residuos que se generan en el aprovechamiento del cacao, también conocidos como coproductos agroindustriales, son aquellos como la mazorca, la placenta, el mucílago hidrolizado y la cascarilla, que se pueden utilizar para producir bioplásticos sostenibles, así como para alimentación animal, fertilizantes orgánicos, biocombustibles y otros productos (Secretaría de Agricultura & Desarrollo Rural de México, 2017).

Los procesos de producción de polímeros naturales pueden variar dependiendo de la materia prima que se emplea y las propiedades fisicoquímicas deseadas para la obtención de los bioplásticos. Se utilizan métodos de extracción de los polímeros de la biomasa, seguidos de la purificación y, por último, la transformación del bioplástico (Arriols,2018).

El cacao es una actividad de suma importancia para la economía del municipio de Aguachica, pero su proceso de producción genera una cantidad significativa de coproductos y residuos que requieren una gestión adecuada, ya que estos residuos agroindustriales pueden tener un impacto negativo en el entorno ambiental, incluyendo la contaminación del suelo y los cuerpos de agua. La producción de bioplásticos a partir de los coproductos del cacao podría generar nuevas oportunidades de desarrollo sostenible en la región. Esto incluye la posibilidad de diversificar la economía local, generar empleo en la cadena de valor de los bioplásticos y

promover la adopción de prácticas más respetuosas con el medio ambiente en la industria cacaotera (Meisel, 2005). En términos de la producción y comercialización de bioplásticos derivados de los coproductos cacaoteros, se podría generar un flujo adicional de ingresos para los agricultores y procesadores de cacao en Aguachica. Esto mejoraría la estabilidad económica de la región y reduciría la dependencia de ingresos agrícolas tradicionales (Finagro, 2018). Este proyecto se realiza con el fin de investigar sobre los coproductos que se generan en el aprovechamiento del cacao, alineando las políticas gubernamentales y las iniciativas de desarrollo sostenible que buscan promover la innovación, la economía circular y la gestión adecuada de los residuos, cruciales para lograr los objetivos del desarrollo sostenible. Además, se busca incentivar la colaboración entre instituciones de investigación, universidades y actores locales, lo que fortalecería la base de conocimientos en la región, promovería la investigación para identificar los desafíos y oportunidades al momento de desarrollar soluciones sostenibles y efectivas. Esta colaboración puede ayudar a fomentar el intercambio de conocimientos y habilidades que pueden impulsar el desarrollo sostenible.

4.2. Formulación del Problema.

Este proyecto de trabajo de grado modalidad monografía se enmarca en las siguientes preguntas de investigación.

¿Cuál es la viabilidad y el estado actual de la producción de bioplásticos sostenibles a partir de coproductos agroindustriales del cacao, y cómo se comparan en términos de propiedades físicas, mecánicas y biodegradabilidad con los polímeros convencionales?

5. Justificación

Los materiales plásticos tradicionales se derivan del petróleo, que tarda en degradarse, causando contaminación al medio ambiente y generando una amenaza a los ecosistemas. Es crucial una reducción del plástico para evitar un problema de contaminación global (ONU, 2021). Los bioplásticos sostenibles son una alternativa al plástico convencional, ya que se elaboran a partir de materiales renovables, como el almidón de maíz, la celulosa y la caña de azúcar, los cuales son biodegradables y compostables (Arriols, 2018). No contienen químicos tóxicos ni emiten gases de efecto invernadero en su producción. Además, pueden ser reciclados y reutilizados, reduciendo la cantidad de residuos generados por las industrias (Rolleat, 2022).

Los residuos que se generan en el aprovechamiento del cacao, también conocidos como coproductos agroindustriales, son aquellos, como la mazorca, la placenta, el mucílago hidrolizado y la cascarilla, que se pueden utilizar para producir bioplásticos sostenibles, así como para alimentación animal, fertilizantes orgánicos, biocombustibles y otros productos (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural México, 2017). Los procesos de producción de polímeros naturales pueden variar dependiendo de la materia prima que se emplea y las propiedades fisicoquímicas deseadas para la obtención de los bioplásticos (Arriols, 2018). Se utilizan métodos de extracción de los polímeros de la biomasa, seguida de la purificación y, por último, la transformación del bioplástico.

El cacao es una actividad de suma importancia para la economía del municipio de Aguachica, pero su proceso de producción genera una cantidad significativa de coproductos y residuos que requieren una gestión adecuada, ya que estos residuos agroindustriales pueden tener un impacto negativo en el entorno ambiental, incluyendo la contaminación del suelo y los

cuerpos de agua (Meisel, 2005). La producción de bioplásticos a partir de los coproductos del cacao podría generar nuevas oportunidades de desarrollo sostenible en la región. Esto incluye la posibilidad de diversificar la economía local, generar empleo en la cadena de valor de los bioplásticos y promover la adopción de prácticas más respetuosas con el medio ambiente en la industria cacaotera (Meisel, 2005). En términos de la producción y comercialización de bioplásticos derivados de los coproductos cacaoteros, se podría generar un flujo adicional de ingresos para los agricultores y procesadores de cacao en Aguachica, lo que mejoraría la estabilidad económica de la región y reduciría la dependencia de ingresos agrícolas tradicionales (Finagro, 2018).

Este proyecto se realiza con el fin de investigar sobre los coproductos que se generan en el aprovechamiento del cacao, con el alineamiento de las políticas gubernamentales y las iniciativas de desarrollo sostenible que buscan promover la innovación, la economía circular y la gestión adecuada de los residuos, las cuales son cruciales para lograr los objetivos del desarrollo sostenible. Además, se busca incentivar la colaboración entre instituciones de investigación, universidades y actores locales, lo que a su vez podría fortalecer la base de conocimientos en la región y promover la investigación para identificar los desafíos y oportunidades de la región al momento de desarrollar soluciones sostenibles y efectivas. Por lo que, esta colaboración puede ayudar a fomentar el intercambio de conocimientos y habilidades que pueden ayudar a impulsar el desarrollo sostenible.

6. Objetivos

6.1. Objetivo General

Analizar críticamente la viabilidad y los avances en la producción de bioplásticos sostenibles a partir de coproductos agroindustriales del cacao, contribuyendo así al conocimiento científico y tecnológico en el campo de la ingeniería agroindustrial.

6.2. Objetivos Específicos

Sintetizar investigaciones previas sobre la utilización de residuos agroindustriales del cacao para la obtención de materiales poliméricos, a través del análisis de artículos científicos y estudios de caso.

Evaluar críticamente las propiedades físicas, mecánicas y biodegradabilidad de los bioplásticos derivados de coproductos cacaoteros, estableciendo comparativas con polímeros convencionales.

Identificar las principales limitaciones técnicas, económicas y ambientales asociadas con la producción y aplicación de bioplásticos a partir de coproductos agroindustriales del cacao, aportando a la comprensión integral de los desafíos en la implementación de estas soluciones sostenibles.

7. Delimitación

7.1. Temporal.

El presente proyecto se desarrollará en un tiempo específico de seis (6) meses a partir de la fecha de aprobación, durante el cual se ejecutarán las metas establecidas para lograr el

cumplimiento de las tareas propuestas. En que se abordarán los documentos bibliográficos disponibles en la base de datos de Scopus con una ventana de tiempo de observación que está entre los años 2004 hasta 2023.

7.2. Especial.

La implementación de este proyecto tendrá lugar en la Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica UPCSA.

7.3. Delimitación Espacial.

La investigación inicialmente se realizará en el casco urbano del municipio de Aguachica, Cesar.

7.4. Delimitación Contextual.

La zona de influencia del proyecto estará delimitada en el municipio de Aguachica y el desarrollo agropecuario que en él se genera, principalmente en las partes altas del municipio.

8. Marco Referencial

Se analiza la literatura existente relacionada con la gestión y aprovechamiento de los residuos generados por la industria del cacao. Este marco proporciona una visión general de los estudios previos sobre el tema, incluyendo investigaciones sobre la composición de los residuos de cacao, métodos de aprovechamiento, tecnologías disponibles para su transformación en productos útiles y sus posibles aplicaciones industriales. Además, se

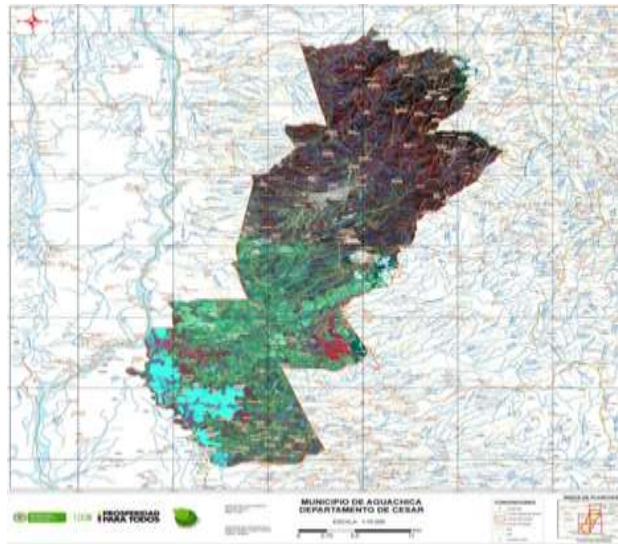
exploran las implicaciones ambientales y económicas del uso de coproductos del cacao, así como los beneficios potenciales para la industria y las comunidades locales. El marco referencial también destaca las tendencias actuales y las áreas de investigación emergentes en este campo, brindando un contexto integral para el desarrollo de nuevas estrategias de aprovechamiento sostenible de los residuos de cacao.

8.1. Contexto Geográfico

Aguachica es oficialmente la segunda ciudad del Departamento del Cesar, colinda entre el Valle de los Andes, Magdalena Medio y la Serranía de los Motilones, ubicada dentro de la región Caribe del sur de Colombia. Sus coordenadas son 08°18'24"N y 73°36'35"O/8.30666, -73.61527, del meridiano de Greenwich, a 162 metros sobre el nivel del mar (msnm); con una superficie total de 976 km², y una temperatura promedio de 30 °C. Para el año 2023, se registró por el DANE un total de 124,553 mil habitantes. Limita al norte con La Gloria (Cesar) y el Carmen (Norte de Santander), al este con el municipio de Río de Oro (Cesar), al sur con San Martín (Cesar) y Puerto Wilches (Santander), y al oeste cerca del municipio de Gamarra (Cesar) y Morales Sur de Bolívar. Podemos apreciar en la (figura1) (Aguilera, 2005).

Figura 1.

Municipio de Aguachica, Departamento del Cesar, escala 1:70.00



Nota. Tomada del Sistema de información geográfica municipal (2013).

En el municipio de Aguachica, Cesar, sus principales actividades económicas giran en torno al sector gastronómico, agricultura, extracción minera energética y el comercio. Gracias a sus excelentes características climatológicas, suelo y geografía heterogénea, se facilita el desarrollo agrícola del municipio. Tanto es así que, dentro de las producciones agrícolas, se encuentra la palma, el aguacate, el cacao, los cítricos, el maíz, el sorgo, el plátano, la auyama, el mango, el café, el arroz, entre otros. Los cultivos del cacao se desarrollan en pequeñas y medianas propiedades; su producción se caracteriza por la interacción de diferentes especies, puesto que en el mismo terreno se encuentra la siembra de maíz, café, aguacate. Sus actividades operacionales son de tipo artesanal con una tecnología baja en implementación. Cabe resaltar que el cultivo de cacao corresponde a la explotación de la economía campesina (DANE, 2013). En el Departamento del Cesar existen 8,400 hectáreas de cultivos de cacao, teniendo un bajo rendimiento de 590 kilos por hectárea. Por lo tanto, han implantado la siembra

en todo el departamento como cultivo empresarial para lograr dos toneladas por hectárea/año, ya que la alta demanda de cacao en el mercado internacional y nacional lo exigen (Campo, 2019).

8.2. Marco Histórico

8.2.1. Antecedentes Históricos.

En el ámbito internacional se tienen como referencia los siguientes estudios Uso de Coproductos Agroindustriales del Cacao en la Elaboración de Bioplásticos Sostenibles, para el cual se describen los más relevantes a nivel internacional y nacional a continuación.

8.2.2. Antecedentes Investigativos del Orden Internacional.

Heredia (2020), de la Universidad de Málaga (España), desarrolló un bioplástico que presenta o refleja los colores del arcoíris, manteniendo sus propiedades biodegradables mediante el uso de residuos de la cáscara de cacao. Tras estudios de laboratorio, se confirmó que este material se descompone de forma natural. En este contexto, el autor seleccionó los granos de cacao, especialmente las cáscaras, por su resistencia y durabilidad. Esta fruta tropical genera desechos tanto en la agricultura como en la industria, y se cree que sus compuestos interactúan con todos los demás desechos cuando se procesan y utilizan (Heredia,2020).

Para la obtención de bioplásticos a partir de las cascarillas de cacao, se llevaron a cabo tres fases: la extracción de celulosa, la extracción de almidón y la elaboración de bioplásticos,

ya que estudios previos han demostrado que los componentes de celulosa y almidón, provenientes de la mazorca y la cascarilla del grano, son precursores de bioplásticos. Se realizaron muestras preliminares de bioplásticos utilizando como materia prima los componentes o biopolímeros: celulosa y almidón, aprovechando los residuos de cacao, y posteriormente se caracterizaron las muestras con base en las variables propuestas en la metodología. A partir de los resultados obtenidos en la elaboración de bioplásticos con celulosa y almidón, junto con una mezcla de plastificantes como agar-agar, glicerina, agua (agente disolvente) y benzoato de sodio (conservante), se obtuvo un rendimiento del 79% en la extracción para la producción del bioplástico (Heredia,2020).

Se llevó a cabo la producción de envases bioplásticos a partir de la mazorca del cacao. Mediante un proceso de molienda y secado, se extrajo la pectina, que fue sometida a un tratamiento previo alcalino. Se adicionó ácido clorhídrico para el efecto de blanqueo y se utilizó glicerol como plastificante. Además, se añadió almidón para proporcionar más resistencia. Estos elementos determinaron una pasta para elaborar bioplásticos. La temperatura se mantuvo entre 50 y 100 °C durante un tiempo de 90 minutos (Heredia, 2020).

En Cuba, Palomino *et al.*, (2019) desarrollaron una película biodegradable utilizando la cascarilla de cacao. En el estudio, se evaluó el impacto del glicerol y la celulosa en sus características de barrera, fisicoquímicas, mecánicas y biodegradabilidad. Como resultado, se sugiere que el material obtenido posee propiedades competitivas para su aplicación como bioplástico, específicamente para envolturas envasadas.

En Ecuador, Najahy et al. (2020) emplearon el bagazo de la caña de azúcar para producir un filme bioplástico destinado al envasado de alimentos utilizando celulosa de la cáscara del cacao. En su investigación, las láminas fabricadas contenían distintas

concentraciones de ingredientes. Tras realizar una evaluación sensorial, se determinó que la combinación más adecuada para el envasado de alimentos era aquella compuesta por un 75% de celulosa de cacao y un 25% de fibra de caña de azúcar, debido a que mostraba el menor contenido de humedad. Entre sus características sensoriales se destacaban un color ligeramente parduzco, una textura ligeramente húmeda y un aroma dulce (Najahy,2020).

Aguilar (2019), en Ecuador llevaron a cabo un estudio donde establecieron que los residuos del cacao, como el mucílago hidrolizado y la placenta, son materias primas fundamentales para la producción de biopolímeros a partir de clones de la especie *Theobroma cacao* (CCN-51). Utilizaron una bacteria llamada *Gluconobacter xylinus*, que se encuentra en estados de putrefacción de las frutas, y la cual utiliza el sustrato de los residuos de las frutas para producir películas de celulosa bacteriana, la cual recibe el nombre de polímero sintético por bacteria del género *Acetobacter*.

Se implementó un diseño metodológico para determinar un rendimiento con un análisis ANOVA simple, incluyendo sus características físico-mecánicas de manera profunda después de la obtención del biopolímero. Se aisló la bacteria *Gluconobacter xylinus*, la cual se activó en un medio de celulosas bacterianas H-S (fuente de carbono; sin presencia de ácido cítrico), utilizando mucílago hidrolizado de cacao. Se logró la generación del preinóculo de 10 ml en medio H-S líquido combinado con sorbitol y glicerol. Esto se realizó en tres réplicas con fermentación, generando membranas de celulosa bacteriana que luego se lavaron y blanquearon. Posteriormente, se sometieron a pruebas físicas y mecánicas de tracción, SEM, DSC y FTIR. Se realizaron los análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM) que muestra la imagen formada, obteniendo un formato en 3D basado en la norma ASTM E986; calorimetría diferencial de barrido (DSC) para registrar la temperatura de reacción o transición de la muestra bajo la normativa ISO 11357-3; pruebas de tracción bajo la normativa ASTM

D882; humedad bajo la normativa GOST 16932-93; y espectrofotometría infrarroja (FTIR) para caracterizar de manera profunda el material obtenido (Aguilar, 2019).

Siti *et al.*, (2019) de Sumatra, Indonesia, realizaron bioplástico a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) junto con el almidón de la semilla de yaca (*Artocarpus heterophyllus*) como plastificante, utilizando etilenglicol como adhesivo o laca. La metodología que implementaron para la obtención del polímero fue la siguiente: se pesaron 5 kg de cáscara de cacao con un tamaño de 2 cm, luego se realizó un lavado con agua para eliminar las impurezas. Se dejó en remojo con un solvente de bicarbonato de calcio (CaCO_3) durante 6 horas con una concentración del 1%; después de 6 horas, se dejó secar al sol la cáscara de cacao y luego se molió hasta obtener una harina. Posteriormente, se molió la semilla de la yaca y se dejó secar. Se pesaron ambas materias (10 gramos) y se realizó una relación de 5:5, 6:4, 7:3, 8:2, 9:1. Se preparó una solución de almidón con agua destilada en una relación de 1:20 y se introdujo la cáscara de cacao en un precipitado. Se calentó el precipitado que contenía la solución de almidón mientras se agitaba durante 10 minutos, y luego se añadió etilenglicol con una variación de volumen de 0,2 ml; 0,25 ml; 0,3 ml; 0,35 ml y 0,4 ml, llevándolo a una temperatura de 88°C. Se añadieron 20 ml de solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 5% p/v, y se revolvió durante 20 minutos. Luego, la mezcla se dejó reposar y se vertió en moldes acrílicos de un tamaño de 25 mm de largo, 25 mm de ancho y 3 mm de grosor. Los moldes se secaron en una estufa a 60°C durante 24 horas y luego se dejaron a temperatura ambiente hasta que se pudieron sacar los bioplásticos del molde. Después de este proceso, se evaluó la fuerza de atracción y el alargamiento, donde se realizó la ruptura de la muestra para la degradación. Se utilizaron dos tipos de muestra: la primera de un peso de 0,25 g, se enterró a una profundidad de unos 30 cm, y después de 14 días no se presenció muestra. La segunda muestra se dejó en el suelo a temperatura ambiente y después de 14 días pesaba 0,24 g. Mediante un análisis microscópico SEM, se pudieron observar las características morfológicas

del bioplástico de cacao mezclado con almidón de yaca y etilenglicol, donde se observó una dispersión favorable de la mezcla. En cambio, el almidón de yaca solo con etilenglicol no se dispersó bien, y la muestra final del cacao solo con etilenglicol no fue muy favorable, ya que no se dispersó adecuadamente (Siti, 2019).

Siti Maysarahy José (2019) de Sumatra, Indonesia, realizaron bioplástico a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) junto con el almidón de la semilla de yaca (*Artocarpus heterophyllus*) como plastificante, utilizando etilenglicol como adhesivo o laca. La metodología que implementaron para la obtención del polímero fue la siguiente: se pesaron 5 kg de cáscara de cacao con un tamaño de 2 cm, luego se realizó un lavado con agua para eliminar las impurezas. Se dejó en remojo con un solvente de bicarbonato de calcio (CaCO_3) durante 6 horas con una concentración del 1%; después de 6 horas, se dejó secar al sol la cáscara de cacao y luego se molió hasta obtener una harina. Posteriormente, se molió la semilla de la yaca y se dejó secar. Se pesaron ambas materias (10 gramos) y se realizó una relación de 5:5, 6:4, 7:3, 8:2, 9:1. Se preparó una solución de almidón con agua destilada en una relación de 1:20 y se introdujo la cáscara de cacao en un precipitado. Se calentó el precipitado que contenía la solución de almidón mientras se agitaba durante 10 minutos, y luego se añadió etilenglicol con una variación de volumen de 0,2 ml; 0,25 ml; 0,3 ml; 0,35 ml y 0,4 ml, llevándolo a una temperatura de 88°C. Se añadieron 20 ml de solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 5% p/v, y se revolvió durante 20 minutos. Luego, la mezcla se dejó reposar y se vertió en moldes acrílicos de un tamaño de 25 mm de largo, 25 mm de ancho y 3 mm de grosor. Los moldes se secaron en una estufa a 60°C durante 24 horas y luego se dejaron a temperatura ambiente hasta que se pudieron sacar los bioplásticos del molde. Después de este proceso, se evaluó la fuerza de atracción y el alargamiento, donde se realizó la ruptura de la muestra para la degradación. Se utilizaron dos tipos de muestra: la primera de un peso de 0,25 g, se enterró a una profundidad de unos 30 cm, y después de 14 días no se presenció muestra. La segunda muestra se dejó en el suelo a temperatura ambiente y después de 14 días pesaba 0,24 g.

Mediante un análisis microscópico SEM, se pudieron observar las características morfológicas del bioplástico de cacao mezclado con almidón de yaca y etilenglicol, donde se observó una dispersión favorable de la mezcla. En cambio, el almidón de yaca solo con etilenglicol no se dispersó bien, y la muestra final del cacao solo con etilenglicol no fue muy favorable, ya que no se dispersó adecuadamente (Siti Maysarahy José, 2019). Siti Maysarahy José (2019) de Sumatra, Indonesia, realizaron bioplástico a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) junto con el almidón de la semilla de yaca (*Artocarpus heterophyllus*) como plastificante, utilizando etilenglicol como adhesivo o laca. La metodología que implementaron para la obtención del polímero fue la siguiente: se pesaron 5 kg de cáscara de cacao con un tamaño de 2 cm, luego se realizó un lavado con agua para eliminar las impurezas. Se dejó en remojo con un solvente de bicarbonato de calcio (CaCO_3) durante 6 horas con una concentración del 1%; después de 6 horas, se dejó secar al sol la cáscara de cacao y luego se molió hasta obtener una harina. Posteriormente, se molió la semilla de la yaca y se dejó secar. Se pesaron ambas materias (10 gramos) y se realizó una relación de 5:5, 6:4, 7:3, 8:2, 9:1. Se preparó una solución de almidón con agua destilada en una relación de 1:20 y se introdujo la cáscara de cacao en un precipitado. Se calentó el precipitado que contenía la solución de almidón mientras se agitaba durante 10 minutos, y luego se añadió etilenglicol con una variación de volumen de 0,2 ml; 0,25 ml; 0,3 ml; 0,35 ml y 0,4 ml, llevándolo a una temperatura de 88°C. Se añadieron 20 ml de solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 5% p/v, y se revolvió durante 20 minutos. Luego, la mezcla se dejó reposar y se vertió en moldes acrílicos de un tamaño de 25 mm de largo, 25 mm de ancho y 3 mm de grosor. Los moldes se secaron en una estufa a 60°C durante 24 horas y luego se dejaron a temperatura ambiente hasta que se pudieron sacar los bioplásticos del molde. Después de este proceso, se evaluó la fuerza de atracción y el alargamiento, donde se realizó la ruptura de la muestra para la degradación. Se utilizaron dos tipos de muestra: la primera de un peso de 0,25 g, se enterró a una profundidad de unos 30 cm, y después de 14 días no se presenció muestra. La segunda muestra se dejó en el suelo a

temperatura ambiente y después de 14 días pesaba 0,24 g. Mediante un análisis microscópico SEM, se pudieron observar las características morfológicas del bioplástico de cacao mezclado con almidón de yaca y etilenglicol, donde se observó una dispersión favorable de la mezcla. En cambio, el almidón de yaca solo con etilenglicol no se dispersó bien, y la muestra final del cacao solo con etilenglicol no fue muy favorable, ya que no se dispersó adecuadamente (Siti Maysarahy José, 2019). Principio del formulario

Castillo (2015) en Veraguas, Panamá, realizaron un bioplástico a base de almidón de plátano (banana) y cáscara de cacao (Theobroma). Básicamente, se realizó un lavado con agua en ambas cáscaras, luego se rayaron y se mezclaron en una solución de vinagre (10 min), se filtraron, se sumergieron en otra solución de jugo de naranja para evitar la oxidación (10 min), se secaron en el horno (20 min a 60 °C), luego se molieron, trituraron y tamizaron. Se agregaron 4 gotas de yodo para verificar el color oscuro que sería positivo para almidón, luego se añadieron 5 CC. de agua, 3 CC. de vinagre y 5 CC. de glicerina, se revolvió y se llevó a cocción (10 min a 60 °C), hasta que espesó a fuego lento, luego se colocó en un molde y se dejó secar y enfriar a temperatura ambiente para que no se arrugara la muestra. Posteriormente, se observaron buenas propiedades mecánicas de flexibilidad y resistencia mediante un microscopio. Materiales utilizados: termómetro, parrilla, horno, herramienta de corte, tamiz y molino; la cantidad de materia prima se observa en la (Tabla1).

Tabla 1.

Cantidades de materia prima para la obtención de almidón a base de la cascara de cacao y plátano

Cantidad	Material
Cascara de cacao	14kg
Cascara de plátano	14kg
Jugo de naranja	2L
Almidón de plátano	40gr
Almidón de cacao	30gr
Agua	80ml
Vinagre disolver	2L
Glicerina	5ml
Vinagre mezclado	3ml

Nota. Adaptado de Castillo (2015).

Rima (2020) de Málaga, España, publicó en la revista Fundación Descubre sobre la elaboración de un bioplástico que denominaron 'brilli-brilli', a partir de una mezcla de la cáscara de cacao. Debido a su estructura resistente, causada por sus altas concentraciones de lignina y composición celulosa, forma un material resistente al agua y la humedad del ambiente. Este material obtenido se utiliza en la industria alimentaria para evitar la falsificación en libretas, juguetes y para fabricar micro lentes. Algunos envases biodegradables se están realizando con residuos a partir de la caña de azúcar, con una mezcla de almidón o aceite vegetal. Con la cáscara de tomate, crearon bioplástico para cubrir el interior de las latas de conserva de frutas.

Gracias al Pacto firmado por el consejo de la Unión Europea en el año 2022 tiene como misión eliminar el plástico del medio ambiente para el 2025, reduciendo su uso y apostando por alternativas amigables con el medio ambiente. Al mismo tiempo, la ciencia avanza ofreciendo productos sostenibles, lo cual se reafirma en el último descubrimiento. Este nuevo bioplástico cumple con la llamada bioeconomía circular (Consejo de la Unión Europea,2022).

La metodología que implementaron para formar la biopelícula consistió en diluir el primer compuesto, compuesto únicamente de celulosa (de color transparente) con un índice de refracción similar al del vidrio, lo que permite una estructura brillante. En el segundo compuesto se añadió la cáscara de cacao, donde se observan pequeñas capas finas de film similares al plástico, con una estructura resistente y biodegradable (que se descompone en el suelo y en el mar con facilidad). Durante los ensayos, ambas muestras obtuvieron una respuesta similar, a pesar de una diferencia en los tiempos de disolución. En el caso de la celulosa, pasa de ser un compuesto blanquecino a una pasta transparente durante 24 horas. En el caso del cacao, se requieren 72 horas de agitación en disolvente para una disolución completa. Durante el proceso, se observó que no hay un orden de formación de la película, no dispersa la luz y tiene una tonalidad transparente. Luego, con el paso del tiempo, se forman cristales que permiten la iridescencia. El proceso final se mezcla con algodón para convertirlo en un material desechable y sostenible (Rima,2022).

Guzmán (2023) utilizó un bioplástico a base de la cascara cacao para envoltura de los chocolates en algunas empresas como AIMPLAS®, tiene el objetivo de mantener los alimentos y bebidas en calidad óptimas. Es parte del proyecto PRESERVE, es una iniciativa europea, coordinada por el Instituto Tecnológico del Plástico y 26 socios participantes de 9 países europeos con un financiamiento del programa de Investigación e Innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea, que, con recubrimientos de barrera al vapor de agua, basados en PHA (propiedades celulósicas resistentes en los envasados), mejoran las propiedades de los alimentos, sustituyendo en su totalidad todos los empaques plásticos que reemplazan el recubrimiento y adhesivo, así mismo, manejar la gestión de residuos y recuperación de polímeros.

8.2.3. Del Orden Nacional.

De acuerdo con reportes, sobre el proceso de beneficio de cacao en los municipios de Nunchía, Tauramena y Yopal, por Suarez Botello William Alirio en el año 2022 se determinó una gran cantidad de residuos de cáscara del cacao, la cual no es aprovechada por los cacaoteros. Además, se evidenció una mala gestión de los residuos agrícolas a nivel general de otros cultivos presentes en las fincas productivas, puesto que no hay recolección de estos por las autoridades competentes. Por su parte, el municipio tampoco hace un aprovechamiento adecuado ni agrega valor sobre los residuos generados en el casco urbano; optan por la venta del material reciclado a terceros. La falta de inversión en las fincas productivas para poder ejercer un adecuado proceso productivo de beneficio de cacao es deficiente, puesto que aún los cacaoteros realizan sus labores de manera artesanal, lo que se traduce en poco conocimiento y acercamiento de las autoridades encargadas de estos cultivos en la región. El aprovechamiento de la cáscara de cacao fue necesario para su caracterización física y química, para conocer en profundidad el material a estudiar y de esta forma relacionar estas propiedades con posibles alternativas que disminuyan el impacto ambiental que causa su mala disposición (Suarez,2022).

Garcés *et al.*, (2021) utilizaron diferentes condiciones experimentales para extraer pectina de las mazorcas de cacao y aplicarla a una biopelícula para evaluar el tipo apropiado de ácido. Se investigó el tipo de ácido clorhídrico y cítrico, niveles de pH, temperatura constante de 90°C. Se obtuvo un rendimiento de pectina, metoxilo, esterificado, ácido galacturónico y acidez. En los extractos de pectina, el rendimiento promedio de ácido cítrico fue del 2,17% a pH 2,0; 2,56% para pH 3,0 y 1,03% para pH 4,0. El rendimiento medio de ácido clorhídrico a pH 2,0 fue del 2,68%; 2,13% a pH 3,0 y 0,83% a pH 4,0. La pectina se caracterizó

mediante la técnica de Owens para determinar los parámetros de acidez libre, peso de la masa y grado de esterificación, y también se realizó análisis FTIR. Con base en el análisis del diseño experimental utilizado, se seleccionó la pectina con mejor propiedad para la producción de biopelícula mezclada con glicerina como plastificante. El biofilm fue sometido a una prueba de biodegradabilidad aeróbica según la norma ISO 17556:2019. Se presentó una pérdida de peso del 18,8% en 5 días, lo que indica una biodegradabilidad.

8.3. Marco Teórico

El cultivo de cacao es de gran importancia económica, ambiental y social en varios países con climas tropicales, especialmente en África y América Latina. Sin embargo, la producción de cacao genera una cantidad de residuos orgánicos que representan entre el 80% y el 90% del peso total de la mazorca, que incluye mucílago hidrolizado y cascarilla. Además, estos residuos son fuente de contaminación y representan pérdidas de recursos naturales que pueden ser aprovechados en la industria, realizando sus transformaciones y convirtiéndolos en un producto final para la industria, como lo son los bioplásticos (Castañeta, 2020).

Los bioplásticos son materiales de fuentes renovables que tienen la capacidad de biodegradarse en condiciones ambientales naturales. Al mismo tiempo, ofrecen una alternativa sostenible a diferencia de los plásticos convencionales, cuyas propiedades vienen de los derivados del petróleo, tardan miles de años en degradarse y en la actualidad son los responsables de los efectos invernadero, contaminación de agua, suelo y aire. El uso de coproductos agroindustriales del cacao para la elaboración de bioplásticos sostenibles es un tema de interés para la innovación e investigación, ya que permite revalorizar el cacao aprovechando sus características fisicoquímicas y biológicas, para contribuir a la economía

circular y la agricultura sostenible (Aguilera, 2005). A través de esta investigación es necesario conocer la historia de la materia prima, su transformación, evolución y el aporte positivo que deja en nuestro entorno, especialmente en la industria agroindustrial.

8.3.1. Historia del Cacao.

La historia del cacao se remonta a sus orígenes en América Latina, específicamente en la zona del Orinoco y Amazonas, donde crecía de forma silvestre. Cultivado inicialmente por la tribu olmeca, el cacao se convirtió en un elemento fundamental de su cultura, utilizado tanto como alimento para preparar bebidas amargas y espumosas, como en terapias medicinales y como moneda de intercambio (Petrel,2019).

Con la expansión de las culturas mesoamericanas, como los mayas y los aztecas, el cacao adquirió un papel aún más relevante. Considerado un regalo de los dioses, el cacao se utilizaba en rituales religiosos, ceremonias y como moneda de pago entre los aztecas. Estas culturas desarrollaron diversas técnicas para preparar el cacao, combinándolo con ingredientes como chile, vainilla, maíz y canela para su consumo (Fedecacao,2018).

En el siglo XVI, el cacao llegó a Europa a través de los conquistadores españoles, quienes descubrieron sus propiedades en México. Inicialmente, esta bebida fue reservada para la nobleza y se mantuvo en secreto durante un tiempo. Sin embargo, con el tiempo, su consumo se extendió por toda Europa y otras regiones del mundo, gracias a la colonización y el comercio. Los españoles llevaron el cacao a otras partes del mundo, como el Archipiélago Indonesio y África Occidental, donde se convirtió en un cultivo importante (Fedecacao,2018).

Durante el siglo XIX, el cacao experimentó una transformación significativa con el desarrollo de procesos para convertirlo en chocolate. Holandeses, ingleses, suizos y otros

innovaron en la producción de chocolate sólido y con leche, mejorando su sabor y textura (Dongyu, 2003).

En Colombia, el cultivo de cacao se expandió gracias a las tribus mtilonas en los siglos XVII y XVIII, siendo un motor económico en la región del Cesar. A pesar de los desafíos, como el conflicto armado, los agricultores buscaron recuperar sus tierras y promover la paz a través del cultivo de cacao (Molano, 2019). Hoy en día, el cacao se cultiva en más de 35 países y sigue siendo un producto fundamental en la industria alimentaria y cultural. Además de su importancia económica, el cacao es reconocido por sus beneficios para la salud, siendo rico en antioxidantes y otros nutrientes (Boussinesq, 2021).

En departamento del Cesar, Colombia, la producción de cacao ha crecido a pesar de los desafíos, con un aumento del 9,2% entre 2019 y 2020. Aunque la pandemia del COVID-19 ha afectado la siembra, el sector sigue siendo vital para la economía local, con mujeres agricultoras desempeñando un papel destacado en la producción de chocolate artesanal (Perez,2003).

8.3.2. Cultivo del Cacao.

El nombre científico del cacao (*Theobroma cacao*) lo convierte en un cultivo que prospera en climas tropicales. En algunos países, alcanza dimensiones considerables, pudiendo llegar a tener una altura de entre 4 y 9 metros, y algunos ejemplares alcanzan incluso los 20 metros. Sin embargo, investigaciones recientes se han centrado en el mejoramiento genético para que sea más resistente a enfermedades y tenga un tamaño más reducido. En su mayoría, el tronco del cacao es recto (Ángel *et al.*, 2017). A continuación, se describen brevemente las características principales para el cultivo de Cacao:

Agua. Es fundamental contar con un sistema de drenaje adecuado. La cantidad de agua necesaria oscila entre los 1500 y 2500 mm. En las zonas más cálidas, como los valles altos, esta cifra puede variar entre 1200 y 1500 mm (Ángel *et al.*, 2017).

Clima y Suelo. Para lograr una buena producción de cacao, es crucial considerar algunos factores que lo acompañan, como la radiación solar, la temperatura, el viento, la luz y la lluvia. Es especialmente importante tener en cuenta la alta humedad relativa, ya que esto puede propiciar la propagación de algunas enfermedades del fruto. Esta condición climática se observa comúnmente en las zonas tropicales, como la Amazonia (Ángel *et al.*, 2017).

Temperatura. La temperatura óptima para la reproducción de este fruto es de alrededor de 21 °C. Cultivarlo por debajo de este rango puede resultar difícil, ya que puede afectar al árbol y, al mismo tiempo, puede interferir con la formación de sus flores (Ángel *et al.*, 2017).

8.3.3. El Cacao.

Theobroma cacao L. es el nombre científico que se le dio a este fruto, conocido habitualmente como cacao. Está conformado por el grano o almendra, que se utiliza para la elaboración de chocolate, mucílago, placenta, que se emplea para la preparación de licores y la mazorca o cáscara que cubre el fruto, con sabor amargo y color marrón, como se observa en la (Figura 2) (Sánchez, 2018).

Figura 2.
Fotografía del fruto de cacao



Nota. Tomada por Salazar (2023).

Tabla 2.
Taxonomía del cacao (Theobromacaxao L.)

Reino	Vegetal
	Trachebionta
División	Magnoliophyta
Subcategoría	Dillenidae
categoría	Malváceas
Familia	Malváceas
Subfamilia	Byttneiroideae
Grupo	<i>Theobroma</i>
Género	<i>Theobrama cacao</i>
Especie	<i>Theobrama cacao</i>

Nota. Adaptado de Sánchez (2018).

8.3.4. Partes de la planta de Cacao.

A continuación, se describen brevemente las características principales de las partes que conforma la planta de cacao.

Flor: Produce flores en pequeños cojines florales de color rosa y blanco. La flor es hermafrodita, con un diámetro de 1-2 cm, y cuenta con 5 sépalos adheridos a la base (Guerrero, 2019).

Fruto: El fruto se presenta en forma de mazorca, tanto por fuera como por dentro. Constata de cinco hileras de semillas cubiertas de pulpa y placenta, con un sabor y olor dulces. Se sujeta en la misma flor mediante un péndulo y madura entre 5 y 7 meses después de la fecundación (Guerrero, 2019).

Hoja: La hoja puede presentar diferentes colores como verde, rosa o morado, los cuales varían según el cruce genético. Tiene una forma colgante y una textura suave, extendiéndose desde la base hasta las hojas que se dividen y caen rápidamente (Gómez, 2020).

Tallo: El tallo alcanza una altura de entre 1,20 y 1,50 metros durante la fase de pleno desarrollo, que ocurre entre los 10 y 18 meses de crecimiento. Forma brotes con 3-5 ramas (Gómez, 2020).

Raíz: La raíz experimenta un rápido crecimiento y posee 6 juegos de raíces laterales secundarias que se desarrollan de manera horizontal (Gómez, 2020).

8.3.5. Variedad del Cacao.

El cacao, una planta originaria de las regiones tropicales de América, presenta una notable diversidad en sus variedades. Estas diferencias en las variedades de cacao influyen directamente en la calidad y características organolépticas del chocolate que se produce a partir de ellas. Entre las principales variedades destacan el Cacao Criollo o Natural, reconocido por su alta calidad y bajo contenido de taninos; el Cacao Campesino, utilizado principalmente para dar volumen al chocolate; y el Trinitario, resultado del cruce entre el criollo y el forastero, que combina la delicadeza y robustez de ambas variedades. Cada una de estas variedades ofrece matices únicos que contribuyen a la amplia gama de sabores y aromas presentes en el mundo del chocolate.

El Cacao Criollo o Natural: Se considera cacao de alta calidad, con bajo contenido de taninos y es utilizado para elaborar mejores chocolates, representando hasta el 10% de la producción mundial. Tiene un fruto de cáscara lisa de color blanca o violeta y una semilla redonda (Grainziani, 2022).

El Cacao Campesino: Con mayor contenido de taninos y producido mayoritariamente en África, se utiliza principalmente para dar volumen al chocolate. La semilla tiene un color morado y la cáscara es lisa, con un sabor amargo (Grainziani, 2022).

Trinitario: Es el cruce entre el criollo y el forastero, que combina el delicado sabor del cacao criollo con la robustez del cacao forastero. En realidad, existen 18 especies diferentes con características similares al criollo (Sánchez, 2018).

A continuación, se describen brevemente las características principales de las partes del grano de cacao.

Grano de Cacao: La almendra o grano de cacao se obtiene a partir de las mazorcas de cacao y se utiliza para elaborar productos como bebidas, manteca de cacao, polvo de cacao y chocolate su composición en porcentaje se puede ver en la (Tabla 3).

Tabla 3.
Composición de grano de cacao en porcentajes

Composición	Valor %
Manteca de caca	54%
Proteínas	11.5%
Celulosa	9%

Nota. Adaptado Grainziani (2022).

Cascarilla de Cacao: Es la piel que protege la almendra y representa el 12% del peso de la semilla. Se obtiene mediante un proceso de tostado de la semilla del cacao. Presenta características físicas como color marrón, sequedad y textura crujiente. Su composición química incluye celulosa, fibras, hemicelulosa y lignina. Su cantidad de composición esta expresada la (Tabla 4).

Tabla 4.
Composición de la cascarilla del cacao en porcentajes

Composición	Valor en %
Cenizas	10.9%
Nitrógeno	31.7%
Estrato eter	2.4%
Fibra	36.2%
Proteína	9.4%
Humedad	9%

Nota. Adaptado de Sanchez (2018).

Mucílago de Cacao: Es la pulpa hidrolizada o mucílago que se utiliza en la producción de bebidas alcohólicas, jaleas y alimentos para animales. Podemos observar su composición fisicoquímica en porcentaje y su valor nutricional en la (Tabla 5y 6).

Tabla 5.
Composición físico química del mucilago

Composición	Valor en %
Azucares	12%
Pentosa	2%
Ácido cítrico	2%
Sale	10%
Pectina	1%

Nota. Adaptado de Martínez (2020).

Tabla 6.
Valor nutricional del mucilago del cacao

Contenido	% valor
Humedad	77%
Ceniza	2.90%
Eterio	0,35%
Proteína	5.42%
Fibra	8.36%
Azucares reductores	62.40%
Azucares totales	11,95%

Nota. Adaptado de Martínez (2020).

Cascara de Cacao: es el cascaron o mazorca que cubre todo el fruto del cacao se genera después de la postcosecha los consideran como un residuo importante proveniente del árbol de cacao. Como se muestra en la (tabla 7) (Huaman,2020).

Tabla 7.
Composición de la cascara de cacao sin procesar

Componente	%(P/P)
Materia seca	87%
Ceniza	7%
Etero	0.5%
Proteína	6,7%
Fibra	26%
Carbohidrato	65%

Nota. Adaptado de Huamán (2020).

La mazorca de cacao contiene altos valores nutricionales, que la mayoría de lo utiliza como terapeuta medicinal para tratar nefermedades como diarrea,antiflamatorio. Al mismo tiempo, contiene moléculas de pectina que se diferentes aplicaciones en la industria como la elaboración de bioplástico, un ejemplo para verificar la composición por cada 100g de cascara de cacao en la (tabla 8) (Huaman,2020).

Tabla 8.
Valores nutricionales por cada 100g de la cascara de cacao

Componentes	Unidad	Cantidad
Energía	J	13,77
Proteína	Kcal	3,54
Fibra	Mg	18,63
Grasa	G	3,26
Hidrato de carbono	G	38,81
Vitamina A	µg	0,00
Vitamina B1	Mg	0,00
Vitamina B2	µg	0,00
Vitamina C	Mg	0,00
Calcio Ca	Mg	17.95
Fosforo P	Mg	1.72
Magnesio Mg	Mg	14,73
Hierro Fe	Mg	7,37
Potasio K	Mg	2,11
Zinc Zn	Mg	5,90
Sodio Na	Mg	7,64

Nota. Adaptado de Huamán (2020).

Sustancias Pectica o Pectina: Están formadas por éteres metílicos de ácido galacturónico, presentes en las paredes celulares de la fruta. Se utilizan para la formación de bioplásticos. Podemos observar la cantidad de pectina en porcentaje en la (Tabla 9).

Tabla 9.
Porcentajes de los componentes de los residuos de la cascara de cacao

Residuos	Valor (%)	Componentes
Cascará de la mazorca	70-75	Fibras
Cascarilla o endocarpio	14 35 11	Pectinas Ligninas Celulosas

Nota. Adaptado de Gomez (2020).

8.3.6. Procesamiento del Cacao.

El procesamiento del cacao se divide en varios pasos fundamentales para la obtención del chocolate:

Fermentación: Durante aproximadamente 7 días, los granos frescos se mantienen en cajas para promover cambios bioquímicos internos y externos. Bajo la influencia de microorganismos, aire y temperatura, se produce la hidrólisis de azúcares, convirtiéndolos en alcohol y luego en ácido acético. Este proceso se lleva a cabo para obtener granos en óptimas condiciones de sabor y aroma (Martinez,2020).

Secado: Tras la fermentación, el cacao se seca en cajas de madera al aire libre, preferiblemente durante dos horas por la mañana, con temperaturas altas que reducen la

humedad del 60% al 7%. Es crucial que el secado sea uniforme para garantizar la calidad del cacao (Martinez,2020).

Añejamiento: Después del secado, los granos de cacao pasan por una fase de maduración que puede durar de 30 días a un año, siendo el periodo más corto de aproximadamente 75 días. Durante este tiempo, los granos se envasan en sacos en un almacén, controlando los niveles de humedad para evitar la formación de moho. (Petrel,2019).

Almacenamiento: Una vez madurados, los granos de cacao están listos para ser empacados en bolsas grandes o lonas completamente secas, en almacenes libres de humedad, listos para su procesamiento o exportación.

Este proceso meticuloso garantiza la calidad y el sabor característico del chocolate que todos usualmente se usa en productos alimentarios.

8.3.7. Coproductos Agroindustriales del Cacao.

Los subproductos agroindustriales del cacao son elementos fundamentales que se obtienen durante la producción y procesamiento de este cultivo, complementando al propio grano de cacao utilizado en la fabricación del chocolate. Estos subproductos incluyen la cáscara, el mucílago, la manteca de cacao y otros derivados que encuentran una amplia variedad de usos en diversas industrias.

Por ejemplo, la cáscara del cacao puede ser una fuente valiosa de fibra y antioxidantes en la industria alimentaria. El mucílago, una sustancia viscosa que rodea las semillas de cacao, se utiliza en la elaboración de bebidas alcohólicas, alimentos para animales y otros productos (Rivera,2017).

La manteca de cacao, extraída durante el procesamiento del cacao, tiene propiedades hidratantes y emolientes, lo que la hace muy solicitada en la industria cosmética y farmacéutica (Rivera,2017).

Además de estos subproductos, existen otros derivados del cacao con diversas aplicaciones. Por ejemplo, la manteca de cacao se utiliza en la elaboración de dulces, labiales, cremas humectantes, jabones y champús, además de en la industria farmacéutica y cosmética. El licor de cacao es un ingrediente clave en la fabricación de chocolates y bebidas alcohólicas, mientras que el polvo de cacao se utiliza en una variedad de productos alimenticios como tartas, helados, galletas y bebidas (Rivera,2017).

Por otro lado, la cáscara de cacao se puede aprovechar para infusiones con el fin de obtener compuestos alcaloides que actúan como tranquilizantes, y su descomposición puede utilizarse como abono orgánico en el sector agrícola. También se ha explorado su potencial como antioxidante y en la fabricación de bioplásticos (Rivera,2017).

8.3.8. Historia del Plástico.

En los Estados Unidos, en el año 1860, se llevó a cabo un concurso para desarrollar un material adecuado para la fabricación de bolas de billar que fuera resistente a golpes y humedad. El ganador fue John Wesley Hyatt, quien creó un material llamado "celuloide", obtenido de una solución de etanol con celulosas en alcanfor. Este hito marcó el inicio de la evolución del plástico. Años más tarde, en 1907, el químico estadounidense Leo Baekeland inventó la primera masa plástica sintética que, al ser sometida a altas temperaturas y

transferencia de calor, resultaba en una masa resistente, aislante y termoestable (García, 2023).

En 1926 se desarrolló un material resistente al fuego llamado PVC (cloruro de vinilo), que todavía se utiliza en la actualidad. Durante la Segunda Guerra Mundial, surgieron materiales plásticos compuestos por polietileno y poliestireno, utilizados en diversos productos como resinas, plásticos para caídas y cascos de batalla. El PVC también se convirtió en un sustituto del vidrio en ventanas debido a su resistencia (García,2023).

Para la década de 1950, se creía que los materiales plásticos serían el futuro de la tecnología y la prosperidad, lo que llevó a su uso generalizado en la vida cotidiana. En 1954, Giulio Natta, un químico italiano, contribuyó significativamente al desarrollo de polímeros con la polimerización del propileno, aunque el polipropileno en sí ya había sido descubierto anteriormente. Este material aún se utiliza en la actualidad (Iñiguez,2019).

En las décadas de los 80, se observó un aumento en la producción de plástico, lo que resultó en una sobrepoblación de este material y una contaminación en el océano Pacífico, además de efectos de invernadero en Texas, Estados Unidos. En respuesta, se implementaron campañas de reciclaje de bioplásticos. A pesar de los riesgos ambientales, el plástico sigue siendo fundamental en la vida moderna y su producción continúa, aunque en algunos países se ha prohibido su uso en productos de un solo uso, como las bolsas plásticas (García,2019).

8.3.9. Definición del Plástico Convencional.

El plástico convencional está compuesto por polímeros mezclados con diversas sustancias que les otorgan propiedades plastificantes. Este tipo de plástico no puede

biodegradarse, no se ve afectado por los rayos del sol ni se altera con el agua de lluvia. A continuación, se muestra los componentes que conforma el plástico (Garcia,2019) (Tabla 10).

Tabla 10.
Componentes químicos del plástico

Componente	Porcentaje %
Azufre	0-5
Carbono	50-70
Cloro	0-5
Hidrogeno	10-20
Nitrógeno	0-10
Oxigeno	10-20

Nota. Adaptado de García, (2019).

8.3.10. Importancia en la Reducción de la Dependencia de Plásticos Convencionales.

Reducir la dependencia de los plásticos convencionales es importante por varias razones fundamentales:

8.3.10.1. Impacto ambiental: Los plásticos convencionales, derivados del petróleo, tienen un impacto ambiental significativo debido a su lenta degradación y su acumulación en el medio ambiente. Esto causa daños a los ecosistemas terrestres y acuáticos, así como a la vida silvestre, y contribuye a la contaminación del aire, el suelo y el agua (Arevalo,2019).

8.3.10.2. Agotamiento de los recursos no renovables: La producción de plásticos convencionales depende del petróleo, un recurso no renovable y finito. Reducir la dependencia de estos plásticos ayuda a conservar los recursos naturales limitados y a disminuir la presión sobre los ecosistemas y las comunidades que dependen de ellos (Garcia,2019).

8.3.10.3. Contaminación por micro plásticos: Los plásticos convencionales se descomponen en micro plásticos, que son difíciles de eliminar del medio ambiente y pueden acumularse en los cuerpos de agua, el suelo y los organismos vivos, incluidos los humanos, a través de la cadena alimentaria. Esto plantea preocupaciones sobre la salud humana y el equilibrio de los ecosistemas (Garcia,2019).

8.3.10.4. Impacto en la vida marítima: Los plásticos convencionales representan una amenaza significativa para la vida marina, ya que los animales marinos pueden ingerirlos accidentalmente o quedar atrapados en ellos, lo que puede provocar lesiones, enfermedades e incluso la muerte (Garcia,2019).

8.3.10.5. Cambio climático: La producción y eliminación de plásticos convencionales generan emisiones de gases de efecto invernadero, lo que contribuye al cambio climático. Reducir la dependencia de estos plásticos puede ayudar a mitigar este impacto al reducir las emisiones asociadas con su producción, transporte y eliminación (Arevalo,2019).

8.3.11. Historia del Bioplásticos.

Wesley Hyatt 1869 elaboró el primer material celuloide a base de algodón como sustituto del marfil, permitiendo plasmar imágenes en los cines y el mundo de la fotografía. En 1912 se desarrolló un producto que en la actualidad se utiliza, como lo es el celofán, obtenido de las fibras del cáñamo. Para la época de 1920, Henry Ford implementó celulosa de soya para la elaboración de bioplásticos, los cuales se adherían a las piezas de automóviles, volantes y tableros. A partir de 1926, la producción masiva de plásticos derivados del petróleo comenzó a competir con los bioplásticos debido a su menor costo y mejores propiedades mecánicas. Sin

embargo, debido a las preocupaciones ambientales y al interés del consumidor por materiales más sostenibles, se retomó el bioplástico con nuevas alternativas. Hoy en día, la comunidad científica reconoce tres clases de bioplásticos: los biobasados, los biodegradables y aquellos que son ambas cosas. Su aplicación varía según el propósito del producto final y el mercado al que se dirige (Castro, 2023)

8.3.12. Definición de Bioplástico.

El bioplástico se refiere al plástico biodegradable hecho de plantas u otros materiales biológicos que no provengan del petróleo. Para la elaboración de bioplástico sostenible para envases de alimentos se utiliza el compuesto PLA (Ácidos poli lácticos) que están presentes en plantas de maíz y caña de azúcar. Los beneficios que nos brinda la implementación de bioplástico sostenible es que disminuye el aumento de la huella de carbono, al mismo tiempo que nos ofrece sostenibilidad, a diferencia de los plásticos tradicionales. A continuación, se presentan los componentes de bioplásticos en la (Tabla 11) (Arriols,2018).

Tabla 11.
Composición del bioplástico

Componente	Porcentaje %
Aditivo	80
Almidón	10
Glicerina	10

Nota. Adaptado de Arriols (2018).

8.3.13. Importancia de los Materiales Bioplásticos.

Los materiales bioplásticos ofrecen una serie de ventajas significativas que los hacen importantes en la reducción del impacto ambiental causado por los plásticos convencionales. A

continuación, se presentan las ventajas y desventajas de los productos finales de materiales biodegradables:

8.3.13.1. Ventajas de los Materiales Bioplásticos.

Contribución al ciclo: Los microorganismos pueden consumir los materiales biodegradables, lo que contribuye a la continuación del ciclo vital de los seres vivos (Boussinesq, 2021).

Reducción de la huella de carbono: Los bioplásticos no emiten gases a la atmósfera ni pierden elementos químicos durante su descomposición, lo que resulta en una reducida huella de carbono y un menor impacto en los ecosistemas (Boussinesq,2021).

Vida útil corta: Debido a su corta vida útil, los bioplásticos no generan residuos persistentes, lo que contribuye a la reducción de la contaminación ambiental (Boussinesq,2021).

Facilidad y economía en la producción: Los bioplásticos permiten aumentar la producción de diversos bienes de consumo, como paquetes, bolsas y cubiertos, debido a su fabricación sencilla y económica.

8.3.13.2. Desventajas de los Materiales Bioplásticos.

Disposición Inadecuada: En general, los productos biodegradables terminan en vertederos, donde no se dan las condiciones adecuadas para su descomposición, lo que limita los beneficios ambientales de estos materiales.

Aceptación del Consumidor: La falta de distinción entre plásticos convencionales y bioplásticos puede dificultar la aceptación por parte del consumidor. Se requiere una buena investigación de mercado y una estrategia efectiva de introducción para promover su adopción (Florez,2022)

En resumen, los materiales bioplásticos ofrecen ventajas significativas en términos de sostenibilidad ambiental y reducción del impacto negativo de los plásticos convencionales. Sin embargo, su disposición adecuada y la aceptación del consumidor son aspectos clave que deben abordarse para maximizar su contribución a la conservación del medio ambiente (Florez,2022).

8.4. Marco Legal

Debido al incremento de la contaminación de los residuos plásticos en Colombia, surgió la necesidad de crear reglamentos y leyes, con el propósito de disminuir el uso de plásticos convencionales y promover alternativas sostenibles con polímeros naturales. en este marco se realizó búsquedas de fuentes que respalden la utilización de los residuos de cacao para la elaboración de empaque de bioplásticos por medio de estatutos y leyes. A continuación, se detallas algunas normativas.

Ley 31 del 1965: Fomenta la productividad agroindustrial del cacao Congreso de la república de Colombia.

Ley 99 del 1993.Art 1: Congreso de la República. Establece que en Colombia la política ambiental tendrá desarrollo sostenible y que protege el medio ambiente.

Ley 388 del 1997: Permite cualquier municipio ejerza en su autonomía, para promover el ordenamiento de su territorio, el uso equilibrado del suelo, la preservación, defensa del patrimonio ecológico, cultural, prevención de sastres en asentamiento de alto riesgo, así como el crecimiento urbano de forma eficientes.

Ley 1450 del 2011: Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014. Se enfoca en evaluar residuos agroindustriales como el cacao, caña de azúcar, el plátano, tomate, banano.

Ley 3866 del 2016: Estrategia para aumentar la productividad y la diversificación de los cultivos productivo colombiano. Departamento nacional de desarrollo.

Ley 1876 del 2017.fomenta en Colombia la investigación de desarrollo tecnológico e innovación, con aporte de incentivo al descubrimiento de soluciones sostenibles y viables relacionado con bioplásticos, compostajes, entre otros.

Decreto 596 del 2016: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Este decreto encamina en disminuir el consumo de bolsas plásticas, promover alternativas amigables con el medio ambiente.

Resolución 668 del 2016: Apoya la investigación sobre materiales biodegradables y compostables. Establece medidas de gestión ambiental la reducción del consumo de polímeros convencionales.

Norma ISO 16929 del 2002: Normas y Estándares de Internacionales. Determinan la desintegración de los polímeros naturales en condiciones de compostajes por medio de los grados de temperatura.

Norma ISO 15985 del 2004: Normas y Estándares de Internacionales. Determina la biodegradación anaerobia de materiales de polímeros naturales para compostajes bajo condiciones controladas, mediante de análisis de dióxido de carbono producido.

Norma ISO 14855 del 2005: Normas y Estándares de Internacionales. Determina la biodegradación aerobia de materiales de polímeros naturales para compostajes bajo condiciones controladas, mediante de análisis de dióxido de carbono producido.

Norma ISO 17088 del 2008: Normas y Estándares de Internacionales. Especificaciones para los polímeros compostables.

Norma ISO 17556 del 2019: Normas y Estándares de Internacionales. Un método para la determinación de la biodegradación aeróbica final de los materiales plásticos. Normas internacionales.

Norma ISO 17556 del 2020: Normas y Estándares de Internacionales. Protocolo de biodegradabilidad en materiales bioplásticos en el suelo, midiendo ambas cantidades de oxígeno que se requiere, y al mismo, tiempo dióxido de carbono liberado en un equipo repirómetro de un sistema.

8.5. Marco Conceptual

A continuación, se presentan las principales definiciones de las temáticas más usadas en la temática de esta monografía:

Bioplásticos: Se refiere a los plásticos elaborados a partir de materiales biológicos derivados de plantas u otras fuentes renovables y que se encuentran en sectores e industrias agrícolas que utilizan insumos de productos agrícolas (residuos alimentarios y no alimentarios), residuos vegetales que contienen biopolímeros utilizados para fabricar productos bioplastificados. Lo que demuestra su biodegradabilidad, sostenibilidad, similaridad a otros plásticos tradicionales e innovación (Arriols,2018).

Biodegradabilidad: Se define como la capacidad inherente de los materiales orgánicos de descomponerse en materia simple como resultado de la acción enzimática de microorganismos, en definitiva, descomposición por influencias naturales (Cando, 2016).

Cacao: Es una plantación tropical en regiones cálidas y húmedas que produce granos. Es la materia prima de la industria alimentaria para producir chocolate y grasas (Ángel *et al.*, 2017).

Cascarilla de cacao: Los granos de cacao se proceden a secar, fermentar y tostar, quedando como residuo de este proceso la cáscara de cacao, que constituye el 13% del peso del grano. Esta corteza tiene propiedades físicas de fibra, color marrón y en la química de la corteza se encontró celulosa, hemicelulosa y lignina en porcentaje (Ángel *et al.*, 2017).

Celulosa: Se compone de cientos de miles de moléculas de glucosa, pero químicamente está más fuertemente unida que el almidón. La celulosa es una estructura lineal y fibrosa, que consta de varios enlaces de hidrógeno y cadenas de glucosa, haciéndolos muy impermeables. Las aplicaciones industriales de la celulosa se han utilizado recientemente para el refuerzo mecánico de polímeros y se ha utilizado en la producción de películas o películas utilizando material celulósico en procesos de moldeo y extrusión para obtener productos innovadores (Ángel *et al.*, 2017).

Contaminación: Es la presencia de sustancias nocivas en el agua, aire o suelo que afecta directa o indirectamente al ecosistema, desencadenando diversos problemas que pueden provocar enfermedades o muertes (Arriols,2018).

Envase: Se denomina material envase que almacena alimentos y otros productos, está en permanente contacto con el producto final, también conocido como embalaje primario, o recubre total o parcialmente el producto. Se considera embalaje: cajas de azúcar, film o papel de regalo. Bolsas, platos, vasos y bolsas desechables de papel o plástico (Garcia,2019).

Glicerina: La glicerina es un alcohol derivado de la descomposición de lípidos o grasas, a menudo utilizado como plastificante, dispersante, lubricante, edulcorante y anticongelante, y es el plastificante más utilizado en la investigación de producción de bioplásticos junto con el agua destilada (Cando, 2016)

9. Diseño Metodológico

9.1. Investigación de Antecedente y Documentación Técnica.

Se presenta una metodología basada en la revisión bibliográfica y el análisis de literatura existente para abordar el tema de uso de productos de cacao para la obtención de bioplásticos sostenibles. El enfoque metodológico tiene como objetivo comprender las tendencias, investigaciones y desarrollos actuales en este campo específico.

9.2. Determinación de Factores Esenciales de este Proyecto.

9.2.1. Selección de Fuentes.

se realizó mediante una exhaustiva búsqueda en bases de datos académicas, repositorios institucionales y recursos especializados de la Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica como Science direct y Scopus. Las palabras clave utilizadas incluyeron:

[cacao AND byproducts AND sustainable AND bioplastics AND biopolimers AND Theoroma cacao]. Se dará prioridad a la inclusión de artículos científicos, libros y estudios que aborden directamente la utilización de productos de cacao en la producción de bioplásticos sostenibles. El período de búsqueda comprende desde el año 2010 hasta 2023.

9.2.2. Criterios de Inclusión y Exclusión.

Los estudios seleccionados para esta revisión cumplen con criterios específicos de inclusión, tales como: (1) estar disponibles en español o inglés, (2) abordar directamente el uso de productos de cacao en la producción de bioplásticos sostenibles, (3) presentar enfoques cualitativos o cuantitativos que permitieran la exploración detallada de los procesos y resultados, y (4) estar accesibles en su totalidad. Se excluyeron trabajos que no estaban relacionados directamente con la temática, así como aquellos que no proporcionaban información relevante y actualizada.

9.2.3. Proceso de Análisis.

Una vez recopilados los estudios relevantes, se llevó un proceso de análisis sistemático y crítico. Se utilizó extracción de datos para registrar información clave, como autores, año de publicación, objetivos del estudio, metodología empleada, resultados destacados y conclusiones relevantes donde se justifican los objetivos. A través de un enfoque inductivo, se identificaron patrones emergentes y conceptos recurrentes relacionados con la utilización de productos de cacao en la producción de bioplásticos sostenibles.

Además, se realizó un análisis comparativo de las propiedades físicas, mecánicas y biodegradabilidad de los bioplásticos derivados de productos de cacao en comparación con los

plásticos convencionales. Se examinaron aspectos de resistencia, flexibilidad, durabilidad y la degradabilidad de los materiales resultantes.

Figura 3.
Trayecto Metodológico



Nota. Ruta Metodología para Elaboración monografía (2023).

Tabla 12.
Proceso de búsqueda y selección de documento

Parámetros	Descripción	Valor
Ecuación de búsqueda	La ecuación de búsqueda se utiliza para encontrar artículo relevante en las bases de datos	cacao AND byproducts AND sustainable AND bioplastics AND biopolimers AND Theoroma cacao
Bases de datos	La base de datos son recopilaciones de artículos científico que se pueden consultar electrónicamente	Scopus, Web of Science, Scielo, Google Académico Las bases de datos son colecciones de artículos científicos que se pueden c
Inclusión	Se tiene en cuenta en la investigación	397 resúmenes, títulos
Tipo de trabajo	Los artículos deben ser científicos, de revisión o libros	Artículos científicos, libros, revista

Año de publicación	Los artículos deben ser publicado entre esta fecha 2010-2023	2015-2023
Idioma	Los artículos deben estar escrito en inglés y español	Español e ingles
Exclusión	No se tiene en cuenta en la investigación	62
Palabras claves no relevante	Los artículos que no tiene palabras claves se excluyeron de la investigación	
Palabras claves relevantes	[cacao AND byproducts AND sustainable AND bioplastics AND biopolimers AND Theoroma cacao	Cacao, plásticos, impacto, bioplástico, residuos
Total, de documentos	Total, con criterio de inclusión y exclusión 459	459

Nota. selección de documento y proceso de búsqueda (2023).

se observa una figura 4. que representa una ecuación de búsqueda, mediante la cual se obtuvieron bases de datos relevantes y no relevantes, así como aquellos que cumplen con el criterio específico de revisión para el uso de coproductos agroindustriales del cacao en la elaboración de bioplásticos sostenibles.

Figura 4.
Búsqueda y Selección de documento



Nota. Selección de Documento para Ejecutar el Desarrollo de la Monografía (2023).

Primer paso es examinar los títulos de las publicaciones. Si un título no es relevante, se descarta. Esto deja 125 publicaciones.

segundo paso es examinar los resúmenes de las publicaciones. Si un resumen no es relevante, se descarta. Esto deja 115 publicaciones.

tercer paso es examinar las publicaciones completas. Si una publicación no especifica elaboración de bioplástico a base de cascara de cacao, se descarta. Esto deja 297 publicaciones.

cuarto paso es examinar las publicaciones completas. Si una publicación no destaca la relación entre residuos de cacao para elaboración de bioplástico sostenibles y las prácticas agroindustriales, se descarta. Esto deja 62 publicaciones. Por lo tanto, el diagrama muestra

que, de las 459 publicaciones relevantes sobre elaboración de bioplástico sostenible a base de residuos de cacao y prácticas agroindustriales, solo 50 cumplen con los criterios establecidos.

Estos criterios se utilizaron para identificar las publicaciones que son más relevantes para el objetivo de determinar la relación entre los residuos del cacao, bioplásticos y las prácticas agroindustriales. El diagrama es una herramienta útil para este propósito porque ayuda a organizar y simplificar el proceso de revisión de publicaciones.

10. Resultados

10.1. Objetivo 1. Utilización de Residuos Agroindustriales del Cacao para la Obtención de Materiales Poliméricos, a través del Análisis de Artículos Científicos y Estudios de Caso.

Para el desarrollo de este primer objetivo se mantuvo presente una síntesis de la Literatura Científica como una compilación detallada y estructurada de los estudios científicos relevantes que investigan la utilización de productos de cacao en la producción de bioplásticos sostenibles. Esta síntesis permitirá establecer un panorama completo de la investigación en este campo.

El objetivo de utilizar residuos agroindustriales del cacao para la obtención de materiales poliméricos, mediante el análisis de artículos científicos y estudios de caso, arrojó una serie de hallazgos significativos que tienen implicaciones importantes para el desarrollo de bioplásticos sostenibles en la región de estudio.

Los resultados de la revisión de la literatura científica revelaron una creciente atención hacia la valorización de los residuos agroindustriales del cacao como materias primas para la producción de bioplásticos. Se identificaron diversos métodos de extracción y procesamiento de los polímeros presentes en estos residuos, tales como la mazorca, la placenta, el mucílago

hidrolizado y la cascarilla. Además, se destacaron los avances en la caracterización de las propiedades físicas, mecánicas y biodegradabilidad de los bioplásticos obtenidos a partir de estos coproductos.

La búsqueda de alternativas sostenibles y eco amigables en la industria de los materiales ha llevado a explorar fuentes naturales poco convencionales para la extracción de polímeros, y la cáscara de cacao emerge como una prometedora fuente de estos compuestos. Este subproducto de la producción de cacao contiene una abundancia de polímeros naturales, como lignina, celulosa y hemicelulosa, lo que lo convierte en un recurso atractivo para la síntesis de materiales poliméricos. En este contexto, investigaciones recientes han enfocado sus esfuerzos en el desarrollo de métodos de extracción eficientes, tales como hidrólisis ácida, enzimática y alcalina, con el objetivo de obtener estos polímeros con rendimientos satisfactorios. (arboleda,2016).

Una vez extraídos, estos polímeros provenientes de la cáscara de cacao se convierten en materia prima para la síntesis de una amplia gama de materiales poliméricos. Estudios han corroborado la viabilidad de utilizar estos compuestos en la fabricación de películas biodegradables, recubrimientos, materiales compuestos y empaques para alimentos, entre otros productos. Estas aplicaciones prometen no solo cumplir con los estándares de calidad requeridos en diversas industrias, sino también ofrecer ventajas adicionales en términos de sostenibilidad y compatibilidad ambiental (Arboleda,2016).

Además de sus propiedades inherentes, como biodegradabilidad y biocompatibilidad, los materiales poliméricos derivados de la cáscara de cacao exhiben interesantes características de barrera, lo que los hace especialmente atractivos para aplicaciones en empaques alimentarios, agricultura, medicina y la industria de la construcción. El potencial de estos materiales para impulsar prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente

abre un horizonte de posibilidades en la búsqueda de soluciones innovadoras y eco amigables en el ámbito de los materiales poliméricos. En la tabla 12 (arboleda,2016).

Tabla 13.

Recopilación sobre algunos Estudios más Relevante para la Realización del Bioplástico a partir del Residuo del Cacao

Residuos agroindustriales	Tipo de material	Composición	Título del artículo	autores	Fecha de publicación
Cascara de cacao	Bioplástico	Celulosa y almidón	Obtención de Bioplástico a partir de Celulosas de la Cascara de Cacao.	Heredia	2020 España
Cascara de cacao	Película biodegradable	Celulosa y glicerina	Desarrollo y Caracterización Físico y Mecánica de Film Biodegradable Elaborado a partir de Subproducto del Cacao	Palomino	2019 Cuba
Cascara de cacao y bagazo de caña de azúcar	Bioplástico envasado para alimentos	Celulosa de la cascara de cacao y fibra de bagazo de caña de azúcar	Diseño de una Línea de Producción de Bioplástico a partir de Residuos del cacao con Aplicación en Envasado de Alimentos	Najahy	2020 Ecuador
Mucilago de cacao y bacteria glucobacter xvlinus	Polímeros sintéticos	Mucilago hidrolizado y bacteria glucobacter xvlinus	Producción y Caracterización de un Biopolímero Obtenido a partir de Residuos Agroindustriales del Cacao (ccn-51).	Aguilar	2019 Ecuador
Cascarilla de Cacao	Platos	Celulosa y glicerina	Planteamiento de proceso	Gaitán	2021 Colombia

Mazorca de cacao	Bioplástico	Fibra, pectina, celulosa	para el desarrollo de platos biodegradable a base de cascarilla de cacao	Lema	2020 Colombia
			Bioplástico a partir de residuo de cacao, alternativa para mitigar la contaminación por plástico		

Nota. Artículos científicos publicados sobre la transformación de los residuos para la elaboración de bioplástico (2023).

A continuación, se detallan las gráficas obtenidas donde se presenta información sobre patentes publicadas y registradas por años Figura 5.

Figura 1

Porcentajes de Patentes Publicadas en el 2010 hasta 2023



Nota. Analiza el Comportamiento anual 2010 hasta 2023 Publicaciones y Patente de Artículos científicos (2023).

Al analizar el comportamiento anual del 2010 al 2023 visualizado en la figura 5, se evidencia un comportamiento irregular debido a la variación de publicaciones de 0 hasta 2 publicaciones, a partir del año 2019 hasta el 2021 donde hubo ascenso notable en el interés del tema de cascarilla de cacao, por motivo de la pandemia del COVID 19. Luego alcanzado máximos valores de 30 y 118 patentes en orden correlativo. Luego, en el año 2012 se registran 8 patentes y en el año 2013 un total de 10. En los últimos tres años, es importante resaltar que en el 2014 hubo 13 patentes y el año 2023, se registraron 25 publicaciones, lo que implica que la cascarilla ha encontrado un espacio con un alto rango de cotización entre los investigadores a nivel mundial.

Tabla 14.

Empresa generadora de residuos agroindustriales

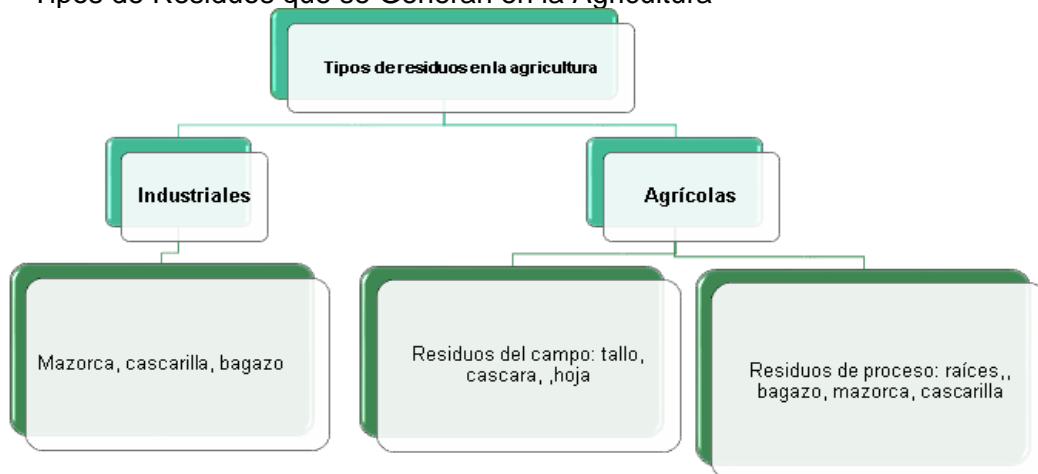
Empresas	Usos
Hershey	Como una de las principales empresas de chocolate a nivel mundial, Hershey's utiliza cacao en la fabricación de una amplia gama de productos de confitería y chocolate, lo que genera residuos de cacao en su proceso de producción
Mars incorporated	Mars es otra empresa líder en la industria del chocolate y la confitería. Su amplia gama de productos, que incluye marcas como M&M's, Snickers y Twix, implica el uso de cacao en sus ingredientes, generando residuos asociados con el procesamiento de estos productos
Ferrero	: Con marcas populares como Ferrero Rocher, Nutella y Kinder, Ferrero es conocida por su uso de cacao en la fabricación de sus productos. Esto resulta en la generación de residuos de cacao en sus instalaciones de producción
Lindt & Sprungli	Esta empresa suiza de chocolate, conocida por su chocolate de alta calidad, también genera residuos de cacao en el proceso de fabricación de sus productos, que incluyen barras de chocolate, trufas y tabletas de chocolate
Barry callebaut	Barry Callebaut es uno de los principales fabricantes de chocolate y productos de cacao a nivel mundial. Suministra chocolate y productos de cacao a una amplia gama de empresas alimentarias, lo que implica la generación de residuos de cacao en sus operaciones
Mondelez Internacional	Con marcas como Cadbury, Toblerone y Oreo en su cartera, Mondelez International es otra empresa importante en la industria del chocolate y la confitería. El uso de cacao en la producción de sus productos conlleva la generación de residuos de cacao como parte de su proceso de fabricación

Nota. Adaptado Agricultura & ganadería (2019).

Tipos de residuos en la agricultura ha sido la actividad fundamental en la provisión de productos esenciales convirtiéndose en el sector más importante en varios países. Sin embargo, las industrias relacionadas con agricultura generan gran cantidad de residuos que se derivan de una revisión de la producción y procesamiento de los productos agrícolas cada año. Estos residuos se clasifican en agrícolas e industriales, donde los primeros se subdividen en residuos de campo y de proceso. Los residuos de campo hacen alusión a aquellos restos dejados en el suelo después una cosecha, mientras que los de proceso se obtienen, como su nombre lo indica, luego del procesamiento del cultivo para obtener productos (Agricultura & ganadería 2019).

Los residuos agroindustriales tienen un gran potencial para ser aprovechados en diversas formas, permitiendo la creación de productos novedosos y la generación de valor agregado a productos ya existentes. Como resultado de esta revisión se identificaron los residuos agroindustriales más comunes que se usan de acuerdo con las investigaciones evidenciadas en la Figura 6.

Figura 5.
Tipos de Residuos que se Generan en la Agricultura



Nota. Ejemplo Clasificación de Residuos de la Agricultura (2023).

De acuerdo el dato reposado por AGRONET En el municipio de Aguachica, Cesar, sus principales actividades económicas giran en torno al sector gastronómico, agricultura, extracción minera energética y el comercio. Gracias a sus excelentes características climatológicas, suelo y geografía heterogénea, se facilita el desarrollo agrícola del municipio. Tanto es así que, dentro de las producciones agrícolas, se encuentra la palma, el aguacate, el cacao, los cítricos, el maíz, el sorgo, el plátano, la auyama, el mango, el café, el arroz, entre otros. Los cultivos del cacao se desarrollan en pequeñas y medianas propiedades; su producción se caracteriza por la interacción de diferentes especies, puesto que en el mismo terreno se encuentra la siembra de maíz, café, aguacate. Sus actividades operacionales son de tipo artesanal con una tecnología baja en implementación. Cabe resaltar que el cultivo de cacao corresponde a la explotación de la economía campesina (AGRONET, 2017). En el Departamento del Cesar existen 8,400 hectáreas de cultivos de cacao, teniendo un bajo rendimiento de 590 kilos por hectárea. Por lo tanto, han implantado la siembra en todo el departamento como cultivo empresarial para lograr dos toneladas por hectárea/año, ya que la alta demanda de cacao en el mercado internacional y nacional lo exigen (Campo, 2019).

Tabla 15.

Aguachica. Principales cultivos permanente por promedio anual,2017-2019

Cultivo	Área sembrada	Parte/total cesar %	Producción Toneladas	Rendimiento Ton/Has	Precio Pesos por toneladas	Valor producción Miles de pesos
Aguacate	41	2.2	368	9.0	205.00	75.40
Cacao	124	4.9	55	0.4	2.113.333	11530
Mango	43	5.4	448	10.5	396.667	177.650
Palma africana	650	2.2	2.43	3.8	759.167	1.854.536
Plátano	208	7.0	1.362	6.5	242.000	329.523

Nota. Tomada los datos de ADRONET (2017).

En la tabla 15 proporciona una visión detallada y concreta sobre la distribución de los cultivos de cacao entre pequeños, medianos y grandes agricultores en el municipio Aguachica Cesar. A través de datos relacionados con la certificación, fechas y ubicación en veredas específicas, esta información es crucial para comprender la estructura y el alcance de la industria del cacao en la región. Analizar estos datos nos permite entender mejor la dinámica de la producción de cacao y su impacto en las comunidades locales, así como identificar posibles áreas de enfoque para políticas y programas de desarrollo agrícola sostenible. En esta introducción, exploraremos en detalle los hallazgos presentados y su relevancia para el sector cacaotero en la región.

10.2. Objetivo 2. Las Propiedades Físicas, Mecánicas y Biodegradabilidad de los Bioplásticos Derivados de Coproductos Cacaoteros, Estableciendo Comparativas con Polímeros Convencionales.

Se presento el análisis de las tendencias emergentes y desarrollos recientes en la producción de bioplásticos sostenibles a partir de productos de cacao. Esto incluyo avances en la metodología, nuevas técnicas de extracción y modificación, así como investigaciones sobre las propiedades de los bioplásticos resultantes en las que se pueden realizar futuros trabajos de investigación con estos coproductos de cacao.

Los bioplásticos derivados de coproductos cacaoteros han surgido como una alternativa prometedora a los polímeros convencionales, ofreciendo propiedades físicas, mecánicas y biodegradabilidad que los hacen atractivos en diversas aplicaciones industriales. En comparación con los polímeros tradicionales, los bioplásticos derivados de productos de cacao tienden a prese

Tabla 16.

Caracterización Física del Residuos del cacao para la elaboración del bioplásticos

Descripción	Observación
Variedad	Como requisito de la de los residuos de la cascara de cacao el fruto debe estar en su etapa de maduración para visualizar su color amarillo característico y sus composiciones estén aptas para extracción de polímeros. 150mm-198mm
Color de cascara	
Apariencia de la cascara	
Grosor de la cascara	

Nota. Adaptado de Lema (2021).

Tabla 17.

Criterios para las Propiedades Físico Mecánico.

Variables	criterios
Rendimiento de los componentes	mayor
Humedad de bioplástico	Menor
Espesor de lamina	Menor 7
Densidad de lamina	Menor o igual a 0.2mm
Ph de la solución	0.90 a 1.20 g/cm ³
Biodegradabilidad	menor

Nota. Adaptado de Lema (2021).

Figura 6.

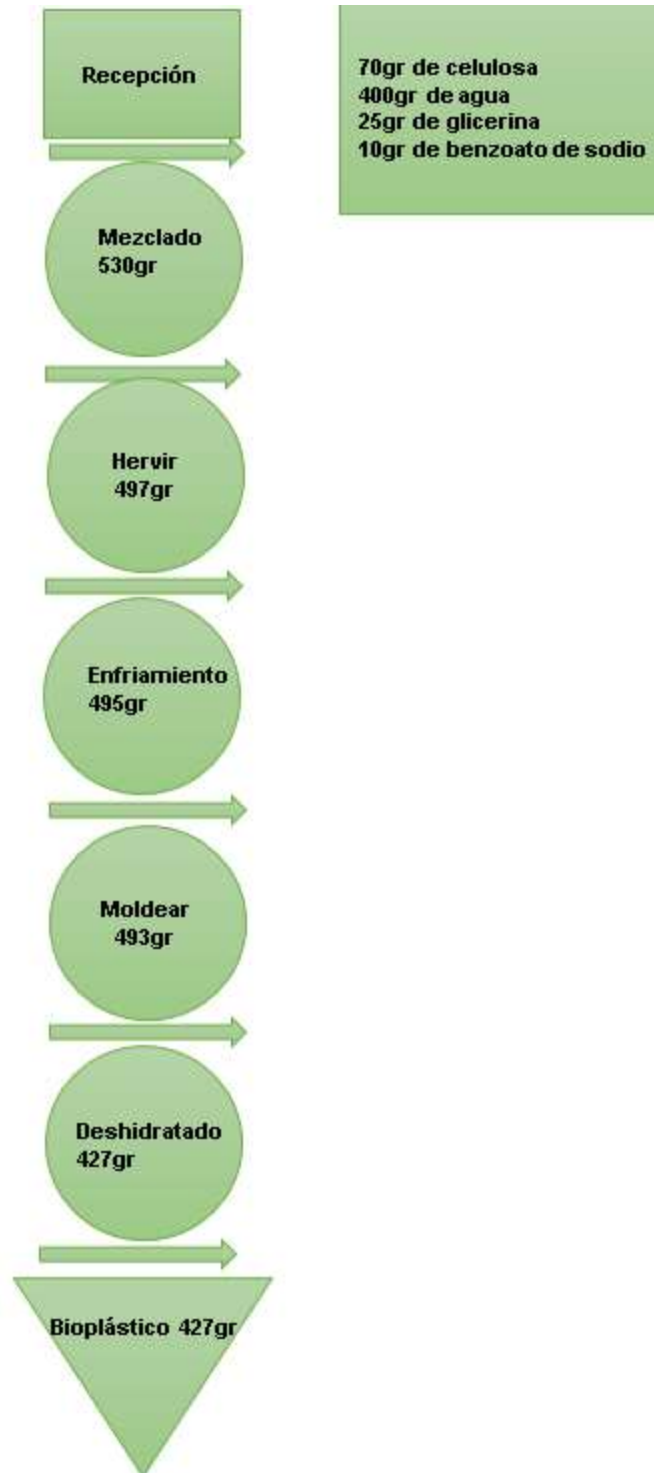
Diagrama de Flujo de la Obtención de Celulosa y Almidón, Método Hidrolisis NaOH





Nota. Adaptado de Lema (2021).

Figura 7.
Diagrama de Flujo para la Obtención de una lámina en Bioplástico



Nota. Adaptado de Lema (2021).

El diagrama representa la cantidad de materia prima que ingresa, a medida que pasa por varias etapas merma por los cambios de estado para logra obtener el bioplásticos. En la tabla 15 se puede observar las característica físico mecánica del plástico convencional y bioplástico sostenible.

Tabla 18.

Características Físicos Mecánicas del bioplástico y plástico PET

Bioplástico a Base de Cascara de Cacao	Plástico PET
Densidad 0.90g/cm ³ .	Densidad 1.2g/cm ³
Espesor 0.2mm	Espesor 0.2mm
Humedad 8.6%	Alargamiento 0,97
Ceniza 13.33%	Rendimiento 60%
Alargamiento0.74%	No presente descomposición.
Rendimiento 35%	Resistencia al impacto 5-500L/m
Descomposición después 10 días 6%	Dureza 40-100
Resistencia a la tracción 40-80Mpa	Elasticidad100-3000Mpa
Resistencia al impacto 20-300L/m	Temperatura deflexión bajo carga 40-150°C
Dureza 40-90	
Elasticidad200-4000Mpa	
Temperatura deflexión bajo carga 50-100°C	

Nota. Adaptado de Lema (2021).

Es importante tener en cuenta que estos rangos son generales y pueden variar significativamente dependiendo del tipo específico de plástico o bioplástico, así como de las formulaciones y procesos de fabricación utilizados. Además, las propiedades físico-mecánicas pueden ser ajustadas mediante la adición de aditivos, modificaciones en el proceso de fabricación, o mediante la combinación de diferentes materiales en caso de bioplásticos. Por lo tanto, siempre es recomendable consultar los datos técnicos específicos proporcionados por el fabricante para obtener valores precisos (Lema,2021).

La producción de bioplásticos implica una variedad de equipos tecnológicos especializados para cada etapa del proceso. Algunos de los equipos comunes utilizados incluyen:

Tabla 19.
Equipos tecnológicos

Equipos tecnológicos	Conceptos
Extrusora	La extrusora son máquina utilizada para fundir y mezclar los materiales base, como almidón, celulosa u otros polímeros naturales, junto con aditivos y plastificantes, para formar una masa homogénea que luego se extruye en forma de película, láminas o pellets
Molino y trituradora	Este equipo se utiliza para reducir el tamaño de los materiales base, como la cascarilla de cacao o la fibra de celulosa, a un tamaño adecuado para su procesamiento en la extrusora
Mezclador y homogeneizador	Se utilizan para mezclar los diferentes componentes de la formulación de bioplásticos de manera uniforme, garantizando una distribución homogénea de los materiales y aditivos
Secador	Después del proceso de extrusión, los bioplásticos suelen necesitar un secado para eliminar la humedad residual y obtener un producto final con las propiedades deseadas
Molde y máquina de moldeo por inyección	Para la producción de productos moldeados, como envases o piezas de plástico, se utilizan moldes y máquinas de moldeo por inyección que inyectan el material fundido en moldes para dar forma a los productos finales
Equipo de análisis y caracterización	Estos equipos se utilizan para evaluar las propiedades físicas, mecánicas y biodegradables de los bioplásticos producidos, como la resistencia, la flexibilidad, la biodegradabilidad y la degradación térmica

Nota. Adaptado Gonzales (2019).

Estos son solo algunos de los equipos tecnológicos comúnmente utilizados en la producción de bioplásticos. La selección específica de equipos puede variar dependiendo de los materiales base utilizados, el proceso de producción y las características deseadas del producto final.

Los avances tecnológicos en la realización de bioplásticos están transformando la industria, permitiendo la producción de materiales plásticos más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

10.2.1. Algunas de las tecnologías más destacadas incluyen.

La ingeniería genética se está utilizando para desarrollar microorganismos modificados genéticamente que pueden fermentar materias primas renovables, como azúcares, almidón o aceites vegetales, para producir polímeros biodegradables. Estos microorganismos pueden producir polímeros como el ácido poli láctico (PLA), polihidroxialcanoatos (PHAs) y otros (Barrera 2007).

Procesos de fermentación y biorrefinería se están desarrollando procesos de fermentación y biorrefinería para convertir biomasa lignocelulósica, como residuos agrícolas, forestales o algas, en azúcares fermentables que pueden ser utilizados como materias primas para la producción de bioplásticos (Barrera 2007).

Química verde y catálisis, La química verde se enfoca en desarrollar procesos y catalizadores más sostenibles y menos tóxicos para la síntesis de polímeros biodegradables y bioplásticos a partir de materias primas dores más sostenibles y menos tóxicos para la síntesis de polímeros biodegradables y bioplásticos a partir de materias primas renovables. Esto incluye el uso de catalizadores bioinspirados y métodos de polimerización más eficientes (Barrera 2007).

Reciclaje y biodegradación controlada se están desarrollando tecnologías para el reciclaje y la degradación controlada de bioplásticos, lo que permite su reutilización como materia prima o su descomposición en condiciones específicas, reduciendo así su impacto ambiental y promoviendo un ciclo de vida más sostenible (González 2019).

Impresiones 3D bioplásticos se está siendo utilizada para fabricar productos y piezas utilizando bioplásticos, lo que abre nuevas oportunidades en la fabricación personalizada y la producción bajo demanda de productos sostenibles (González 2019).

Estos avances tecnológicos están impulsando la industria de los bioplásticos hacia un futuro más sostenible, donde los materiales plásticos pueden ser producidos de manera más eficiente y respetuosa con el medio ambiente, contribuyendo a la reducción de la dependencia de los recursos fósiles y la mitigación de los problemas asociados con la contaminación plástica. El método óptimo para la extracción de bioplásticos puede variar según la materia prima utilizada y las condiciones específicas de producción. Sin embargo, uno de los enfoques más prometedores y ampliamente utilizados es la fermentación microbiana de biomasa renovable.

10.2.3 Métodos tecnológico para extracción de celulosas en la cascara de cacao.

Selección de la materia prima: Se elige una materia prima renovable adecuada, como azúcares, almidón, celulosa o aceites vegetales, que servirán como sustrato para la fermentación microbiana

Pretratamiento de la materia prima: La materia prima puede requerir pretratamiento para facilitar su descomposición y liberación de los componentes que serán utilizados por los microorganismos. Esto puede incluir procesos como molienda, hidrólisis enzimática o tratamiento químico (Vieytes 2017).

Fermentación microbiana: Se inocula la materia prima tratada con microorganismos seleccionados, como bacterias o levaduras modificadas genéticamente, que tienen la capacidad de fermentar los azúcares presentes en la biomasa para producir polímeros bioplásticos, como el ácido poli láctico (PLA) (Vieytes 2017).

Proceso de fermentación controlado: La fermentación se lleva a cabo en condiciones controladas de temperatura, pH, oxigenación y agitación para maximizar la producción de bioplásticos y garantizar la calidad del producto final (Vieytes, R. 2017).

Modificación Y Purificación De Celulosas: La celulosa extraída puede necesitar ser modificada químicamente para mejorar sus propiedades de procesamiento y rendimiento como bioplástico. Esto puede incluir tratamientos con agentes químicos o enzimas para modificar su estructura molecular. Posteriormente, la celulosa se purifica para eliminar cualquier impureza residual. (Vieytes 2017).

Procesamiento De Bioplástico: La celulosa purificada se puede utilizar como materia prima para la producción de bioplásticos mediante técnicas de polimerización, como la fabricación de películas delgadas o la extrusión de pellets de bioplástico. Durante este proceso, la celulosa se mezcla con otros aditivos y plastificantes, si es necesario, para mejorar sus propiedades mecánicas y degradabilidad. (Vieytes 2017).

caracterización y pruebas: Los bioplásticos producidos se caracterizan y prueban para evaluar sus propiedades físicas, mecánicas y de degradabilidad. Esto puede incluir pruebas de resistencia, flexibilidad, biodegradación y compostabilidad para garantizar que cumplan con los estándares de calidad y sostenibilidad requeridos. (Vieytes 2017).

Este método aprovecha los residuos de cacao como una valiosa materia prima para la producción de bioplásticos, lo que contribuye a la reducción de desechos y al aprovechamiento de recursos renovables. Sin embargo, es importante destacar que este proceso requeriría

investigación adicional y desarrollo para optimizar la extracción y procesamiento de bioplásticos a partir de residuos de cacao a escala comercial.

10.3. Objetivo 3. Las principales Limitaciones Técnicas, Económicas y Ambientales Asociadas con la Producción y Aplicación de Bioplásticos a partir de Coproductos Agroindustriales del Cacao, aportando a la Comprensión Integral de los Desafíos en la Implementación de estas Soluciones Sostenibles.

La producción y aplicación de bioplásticos a partir de coproductos agroindustriales del cacao enfrenta una serie de desafíos técnicos, económicos y ambientales que deben abordarse para garantizar su viabilidad y sostenibilidad. En primer lugar, el desarrollo de procesos de extracción eficientes es crucial para obtener biopolímeros de alta calidad, minimizando la pérdida de materia prima y maximizando el rendimiento. Además, la modificación de estos biopolímeros es esencial para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, adaptándolos a diversas aplicaciones industriales. Asimismo, la compatibilidad con los equipos de producción existentes es fundamental para una transición sin problemas hacia su uso en la industria (colciencias,2018).

Desde una perspectiva económica, los altos costos de producción pueden ser una barrera significativa, ya que la necesidad de tecnologías especializadas y procesos complejos puede aumentar los costos. Además, es crucial evaluar la escalabilidad de la producción para garantizar que pueda satisfacer la demanda industrial a gran escala sin aumentar significativamente los costos. Además, los bioplásticos deben ser competitivos en términos de precio y rendimiento en comparación con los plásticos convencionales para ser ampliamente adoptados por la industria (Aloise,2017).

En cuanto a las limitaciones ambientales, la producción de bioplásticos puede competir con el uso de recursos naturales para otros fines, como la alimentación humana o animal, lo

que plantea preocupaciones sobre la competencia por tierras agrícolas y otros recursos. Además, la expansión de la producción de cultivos para la producción de bioplásticos puede tener impactos negativos en el cambio de uso de la tierra, como la deforestación y la pérdida de biodiversidad. Por último, es importante evaluar el ciclo de vida completo de los bioplásticos para comprender su impacto ambiental total, incluidas las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con su producción, transporte y eliminación (colciencias,2018).

Las limitaciones técnicas que pueden surgir en la producción de bioplásticos a partir de los coproductos agroindustriales del cacao incluyen diversos aspectos. Primero, la disponibilidad y calidad de la materia prima, como las cáscaras y residuos de la pulpa del cacao, pueden verse afectadas por factores como la temporada, ubicación geográfica y procesos de producción, lo que puede impactar la viabilidad y consistencia de los bioplásticos. Además, el desarrollo de tecnologías eficientes y rentables para la extracción y transformación de estos coproductos en biopolímeros es crucial y puede requerir inversiones significativas en investigación y desarrollo. La compatibilidad y rendimiento en los bioplásticos también son aspectos importantes a considerar, ya que deben cumplir con requisitos específicos de resistencia mecánica, durabilidad, barrera a los gases y propiedades de degradación para diversas aplicaciones (Fernández, 2018).

Los costos de producción pueden ser más altos en comparación con los plásticos convencionales debido a la necesidad de tecnologías especializadas y procesos de extracción complejos, lo que puede afectar su competitividad en el mercado. Además, aunque los bioplásticos ofrecen ventajas ambientales como la biodegradabilidad y la reducción de la dependencia de los recursos fósiles, también pueden plantear desafíos relacionados con el uso de tierras agrícolas, consumo de agua y emisiones de gases de efecto invernadero asociados con la producción de cultivos. La regulación y certificación son aspectos clave, ya que existen estándares estrictos que rigen la producción y aplicación de bioplásticos, lo que puede requerir

inversiones adicionales en pruebas de calidad, certificaciones y cumplimiento normativo. Por último, el desarrollo de procesos de extracción eficientes es fundamental para maximizar el rendimiento de los biopolímeros y minimizar la pérdida de materia prima durante el proceso de producción (Hwang,2020).

Se requiere el desarrollo de métodos de modificación de biopolímeros para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, haciéndolos más adecuados para diversas aplicaciones industriales. Además, es crucial que los bioplásticos sean compatibles con los equipos de producción existentes para garantizar una transición sin problemas hacia su uso en la industria. Para lograr una amplia adopción, los bioplásticos deben ser competitivos en términos de precio y rendimiento en comparación con los plásticos convencionales. Sin embargo, la expansión de la producción de cultivos para bioplásticos puede tener impactos ambientales negativos, como la deforestación y la pérdida de biodiversidad, por lo que es importante evaluar el cambio de uso de la tierra. Además, se debe realizar una evaluación completa del ciclo de vida de los bioplásticos para comprender su impacto ambiental total, incluidas las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con su producción, transporte y eliminación (Piñeros & Sierra, 2019).

. En la siguiente tabla16. Se puede evidenciar algunas debilidades y oportunidades aplicando el bioplástico sostenibles.

Tabla 20.
Retos y Oportunidades

Debilidades	Oportunidades
Alto costo de producción, dependencia de las materias primas, competencia con el plástico convencional, relaciones ambientales, fluctuaciones del precio de la materia prima, cambio de leyes en los bioplásticos, facilidad en la entrada de los mercados.	Sostenibilidad, calidad, aumento de conciencia ambiental, colaboración con otros sectores, apoyo gubernamental

Nota. Elaboración propia 2023.

Algunas universidades en Colombia están realizando múltiples iniciativas frente a los bioplásticos sostenibles, donde la innovación dependerá del desarrollo de nuevos polímeros con características confirmadas de biodegradabilidad o sustitutos directos derivados de recursos renovables. De igual manera, se han encontrado resultados frente a las proyecciones que se pueden establecer frente a envases biodegradables, tal es el caso del estudio adelantado por Zartha en el 2015 quienes desarrollaron una metodología Delphi, con el fin de priorizar la innovación tecnológica, nuevos productos y tecnología en la producción de envases biodegradables en Colombia hasta 2032. Sus resultados se pueden observar en la Tabla 17 en donde se aprecia como empaques inteligentes o espumas hacen parte de los temas prioritarios frente a la innovación tecnológica, seguida de materias primas clave como el maíz, yuca y papa como posibles precursores de estos materiales y tecnologías asociadas a la extrusión de doble tornillo, extrusión reactiva o coextrusión (Zartha,2015).

Tabla 21.
Envases Biodegradables en Colombia al 2032

Materias primas	Composición	Equipos	Innovaciones tecnológicas
Maíz. Cacao. Papa. Fibra de madera. Desechos. agroindustriales. Acido grasos.	Glicerol Agentes. antimicrobianos Fibra de plátano. Fibra de caña de caña de azúcar.	Extrusión de doble tornillo Extrusión de película de soplado	Recubrimiento natural. Contenedor de alimentos. Películas retractiles. Moldeo por inyección. Pulverización. Bioprocesos nanotecnologías.
Observación: En una primera fase el enfoque inicial de la industria de bioplásticos se basaba en la sustitución de materias primas petroquímicas por monómeros de origen vegetal y polímeros como almidón, celulosa, residuos de cultivos y en mezclas con otros agentes bioplásticos.	En una segunda fase se presentó una expansión, diversificación y ampliación de producción de nuevos bioplásticos con propiedades técnicas similares o superiores a la de plásticos tradicionales. Como películas y materiales de alto valor para aplicaciones biomédicas.		

Nota. Adaptado zartha (2015).

Por medio de la recopilación de información recolectada se evidencio un proceso de expansión, diversificación y aumento en la producción de bioplásticos innovadores, los cuales poseen características técnicas equiparables o incluso superiores a los plásticos convencionales. Estos bioplásticos se destacan por su utilidad en la fabricación de películas y materiales de alta calidad destinados a aplicaciones biomédica (Olaya, 2018).

En el 2018 por Olaya Dávila Alejandro de la Universidad del Cauca en Colombia, se han logrado destacar con una cantidad significativa de resultados a nivel latinoamericano. Es crucial resaltar que la labor de generación de nuevo conocimiento en torno a los envases

biodegradables no se limita únicamente al trabajo de laboratorio. Además, se ha contribuido mediante ejercicios de vigilancia tecnológica, análisis prospectivo, estudios de mercado y colaboración con comunidades para la apropiación del conocimiento. Dentro de esta dinámica, se han llevado a cabo numerosos esfuerzos para transferir los resultados de investigación a productos de desarrollo tecnológico, como se detalla en la tabla 18 en relación con las patentes. Es destacable mencionar que, en la Universidad del Cauca, una institución con una trayectoria de 193 años, las patentes asociadas a los desarrollos de envases biodegradables representan las primeras patentes concedidas a la Universidad en toda su historia se puede observar patente asociada al envase biodegradable (Olaya,2018).

Tabla 22.
Patentes Asociadas al Desarrollo de Envase Biodegradable

Titulo	Código y fecha de publicación.
Material compuesto a partir de fibra de yuca para la fabricación de envase biodegradable.	NC2018/0014376 Colombia. 18/05/2020. 16004096. Colombia 17/05/2018.
Proceso de obtención de películas biodegradables para la fabricación de guantes para el consumo de alimentos.	16004093 Colombia 17/05/2018
Plato desechable biodegradable elaborado a partir de harina de yuca.	16004103 Colombia 11/09/2017
Bolsa biodegradable para almácigos de cafés y cacao especiales.	

Nota. Elaborado a partir de buscador de patentes de la superintendencia de Industria, comercio y Google patents (2023).

Lo anterior, plantea una dinámica sumamente interesante alrededor del desarrollo científico, pues además de consolidar una apuesta clara de generación de conocimiento traducida en artículos y documentos de investigación, la apuesta del grupo ha sido permanente

frente al desarrollo tecnológico, traducida en patentes concedidas que se convierte en un importante insumo para la medición de las capacidades de innovación de la región.

10.3.1. Asociación cacaotero en el cesar.

Figura 8.
Asociación Cacaotero en el Cesar



Nota. Tomada AINEI (2020).

Se destaca el compromiso de seis organizaciones de pequeños productores que buscan promover la paz y el desarrollo comunitario en armonía con la naturaleza. Su objetivo es mejorar la calidad de vida de las familias asociadas y establecer una conexión significativa entre el consumidor y el origen del producto, asegurando un precio justo. Estas organizaciones inspiran a sus colaboradores para promover la mejora continua y colaborar con el gobierno en la generación de bienestar, ofreciendo a la comunidad una alternativa de vida sostenible. El cacao producido, con atributos étnicos y ancestrales, proviene de la majestuosa Sierra Nevada de Santa Marta y la riqueza ambiental de la Serranía del Perijá. El trabajo de familias

campesinas e indígenas, enfocado en la calidad, ha posicionado este producto como uno de los mejores del mundo en sabores y aromas, obteniendo reconocimientos como la Medalla de Oro en el International Chocolate Awards en 2015 (ANEI, 2020).

Figura 9.
Representa la Cantidad de Cacao en Porcentajes



Nota. En el departamento del cesar se maneja esta clase de caca, Tomada AINEI (2020).

Tabla 23.

Producción de cacao en el cesar entre año 2022 hasta 2023

oferta de cacao inclusivo sostenible		año
cacao orgánico certificado	1t a 10t	2022-2023
Cacao origen mujeres	15t a 31t	2022-2023
cacao ambiental	26t a 52t	2022-2023
cacao origen étnico	9t a 17 t	2022-2023
cacao origen cesar	70t a134t	2022-2023

Nota. Información tomada AINEI (2020).

10.3.2. Ventajas Competitivas De Las Empresas Asociativas De Cacao En El

Departamento Del Cesar

la cadena de valor del Cacao inicia con los pequeños productores cacaoteros vinculados a las empresas asociativas constituidas en promedio por 72 miembros que poseen un área promedio de 2 a 2,5 hectáreas sembradas y su producción no supera los 350 kilogramos al año. Las actividades que aportan ventaja competitiva o las operaciones desde el cultivo hasta su comercialización se describen a continuación. Las unidades productivas en su mayoría, poseen plantas de cacao sembradas entre los años de 1999 a 2003 por proyectos del Plan Colombia por medio de “Misión Animar”, actualmente las áreas cultivadas se encuentran en un sistema agroforestal compuesto por arboles maderables y frutales propios de la región creando un ambiente adecuado desde la sombra, microclimas y temperaturas adecuadas para que el árbol de cacao exprese sus mejores características fisiológicas. Las fincas o pequeñas unidades productivas están localizadas entre los 500 a 1200 metros sobre el nivel del mar. Son muy pocas las unidades productivas que cumplen con los 1100 árboles por hectáreas, este aspecto es muy variable en muchos lotes de cultivo, al igual que las variedades establecidas, solo algunas hectáreas sembradas en los tres últimos años cumplen con esta densidad de siembra. Su producción es comercializada en el mercado de cacao “corriente”. Sin embargo, se producen almendras de cacao con una gran diversidad de características sensoriales propias y diferenciales que los potencializan como cacaos finos y de aroma (AGROSAVIA,2016).

Referente a la mano de obra utilizada en las unidades productivas cacaoteras, se encontró que la familia es la base de sostenimiento y quehaceres necesarios para el cultivo, el hombre trabaja en la siembra, poda, limpia y deshierbe, abonamiento, riego, control de insectos, plagas y enfermedades; las mujeres y jóvenes apoyan en las actividades de recolección. Se contrata mano de obra externa muy pocas veces, especialmente durante la cosecha. El valor jornal se encuentra entre (30.000 a 40.000 pesos colombianos); en algunas

unidades productivas se incluye el almuerzo y la jornada de trabajo se realiza aproximadamente entre las cinco de la mañana a las dos de la tarde. La mano de obra que se emplea en las fincas para el manejo del cultivo de cacao es de tipo familiar, siendo las actividades de recolección, apertura y desgrane las de mayor participación de mano de obra femenina. En muchos casos y durante buena parte del año, la unidad productiva necesita personal temporal adicional para las labores de manejo del cultivo tales como la poda, deshierbe, cosecha y desgrane; no obstante, la dificultad para conseguir mano de obra, ya que ésta abandona las prácticas agrícolas con el fin de desarrollar otro tipo de actividades como las relacionadas con el transporte y la construcción (AGROSAVIA 2016).

Igualmente, se observó que el nivel de aplicación de abonos o fertilizantes es muy bajo, son muy pocos los productores que tienen implementado un plan de fertilización adecuado más por su baja capacidad de compra que por conocimiento, son conscientes que la planta necesita de nutrientes para su productividad y desarrollo pero por sus bajos ingresos no tienen como invertir en estos insumos, desde el 2016 se vienen desarrollando proyectos a favor de los pequeños productores gestionado por la Secretaría de agricultura Departamental y algunas alcaldías como la de Manaure, La Jagua de Ibirico, San Martín, Bosconia, Curumani, Codazzi y Aguachica la parte alta. Para mejorar la productividad y calidad de la almendra tales como Programa de transformación productiva y Alianzas productivas. Lo anterior produce cosechas con un número de granos por mazorca muy variables entre 35 a 50 dependiendo a la variedad, al igual que el tamaño de las almendras; la cosecha se da en dos temporadas, de abril a junio la primera y la otra entre octubre y diciembre. Acorde a lo observado, la fermentación es realizada en cajones de madera, canecas plásticas, baldes, sacos o bolsas; su inicio se da el mismo día en que es cosechada la mazorca y dura entre 4 a 6 días. Muy pocos productores controlan temperaturas de fermentación, ninguno controla grados Brix y Ph (AGROSAVIA,2016).

Algunos productores no fermentan los granos de cacao, los colocan a secar directamente, este tipo de productores en su gran mayoría venden a intermediarios. Fedecacao y la Compañía nacional de chocolates por medio de sus equipos técnicos realizan en sus intervenciones capacitaciones que buscan concientizar, mejorar e implantar la fermentación en pequeños productores con el fin de mejorar la calidad sensorial de las almendras. Luego de la fermentación los pequeños productores realizan el secado aprovechando la luz solar y las temperaturas del día entre las nueve de la mañana a 3 de la tarde durante tres o cuatro días aproximadamente cuando la lluvia se los permite. Como equipos de secado utilizan bandejas de maderas, plásticos, superficies de concreto u otra área que le permita exponer los granos al sol para su secado. Al igual que en los fertilizantes, los proyectos incluyen la entrega de cajones fermentadores con el fin de mejorar la calidad y que el productor reciba una mejor paga (Campo,2018).

En el Departamento del Cesar existen alrededor de 50 Asociaciones de Productores localizadas en los diferentes municipios con un área promedio de 2 hectáreas, actualmente el cacao son cultivos priorizados en el Plan de Desarrollo Departamental 2016 - 2019 “El Camino del Desarrollo y la Paz”. A través de la secretaria de agricultura departamental y el programa “Cesar Siembra” ha incentivado el cultivo del cacao por medio del establecimiento de un vivero específicamente para clones de cacao en convenio con la Compañía Nacional de Chocolates y AGROSAVIA estratégicamente ubicado en el municipio de Codazzi para el apoyo de los proyectos a ejecutar como los de alianzas productivas, Programa de Transformación Productiva y Compensación Ambiental, entre otros (Campo, 2018).

10.3.3. Ejemplo de implementación amigable con el medio ambiente

El cacao se erige como un motor de desarrollo económico para los pequeños productores rurales, ofreciendo una serie de oportunidades que no solo agregan valor de manera sostenible a sus cadenas productivas, sino que también promueven la conservación del medio ambiente. Estos cultivos no solo generan múltiples agronegocios que benefician la economía local, sino que también fomentan la inclusión de un considerable número de pequeños productores, brindándoles la posibilidad de mantener sus unidades productivas rurales y proporcionar sostenibilidad a sus familias y empresas asociativas.

Aunque las cadenas de valor del cacao en el departamento del Cesar están bien establecidas, su optimización requiere de una inversión en tecnología y transferencia de conocimientos para mejorar su eficiencia y rendimiento, lo que a su vez beneficia directamente al pequeño productor. Además, al asociar estos cultivos con especies maderables en sistemas agroforestales, se contribuye significativamente a la retención de carbono en el suelo y la madera, lo que representa un beneficio económico adicional al abrir nuevas oportunidades en mercados de carbono, cada vez más relevantes a nivel mundial.

Por otro lado, la integración de árboles en los paisajes agrícolas no solo favorece la conservación de la biodiversidad y protege las riberas de los ríos, sino que también crea hábitats interconectados para una variedad de especies animales y vegetales. Esta práctica embellece el paisaje rural y mejora las condiciones de vida de los habitantes del campo.

Para seguir fomentando la sostenibilidad ambiental, se pueden implementar estrategias como la reducción del uso de plásticos de un solo uso, la utilización de envases y embalajes biodegradables, la mejora en la gestión de residuos plásticos mediante sistemas de recogida en las explotaciones agrícolas, y el reciclaje de residuos plásticos a través de empresas especializadas. Estas acciones no solo contribuirían a mitigar el impacto ambiental, sino que también fortalecerían el compromiso de los productores con la preservación del entorno.

10.3.4. Limitaciones en el departamento y municipio de Aguachica.

Las estrategias de mitigación del plástico convencional mediante el uso de bioplásticos sostenibles a base de residuos de cáscara de cacao representan solo una de las soluciones potenciales para abordar este problema. Sin embargo, para su efectiva implementación, se necesitan mayores recursos financieros, así como lugares de investigación destinados a evaluar su eficacia y a desarrollar nuevas estrategias que sean aún más eficientes y sostenibles.

En el municipio de Aguachica, Cesar, donde predominan los pequeños agricultores dedicados al cultivo de cacao en las veredas y corregimientos de la parte alta del municipio, es fundamental realizar un estudio empírico para validar cuantitativamente la cantidad de residuos generados. Esta evaluación permitirá entender mejor el potencial de la cáscara de cacao como materia prima para los bioplásticos y guiará el diseño de estrategias de gestión de residuos más efectivas.

Además, los municipios vecinos como San Martín y Rio de Oro, Cesar, mantienen una producción considerable de cacao, lo que resulta en acumulaciones significativas de residuos. Estos lugares ofrecen oportunidades para implementar las propuestas de este proyecto y colaborar en la gestión conjunta de residuos a nivel regional. La cooperación entre estos municipios puede potenciar el impacto de las estrategias de mitigación y avanzar hacia un modelo más sostenible de producción y gestión de residuos en toda la región.

10.3.5. Recomendaciones.

Es crucial llevar a cabo estudios adicionales para evaluar minuciosamente la eficacia de las diversas estrategias de mitigación propuestas. Asimismo, se sugiere colaborar

estrechamente con los agricultores para fomentar la adopción e implementación de dichas estrategias. Estos estudios adicionales permitirán una comprensión más profunda de cómo funcionan estas estrategias en diferentes contextos y condiciones, lo que a su vez facilitará su aplicación efectiva en el campo. Trabajar en estrecha colaboración con los agricultores es fundamental para garantizar que estas estrategias sean viables y prácticas en la realidad agrícola, y para maximizar su impacto en la mitigación de los problemas identificados. Esta cooperación también promueve un enfoque participativo y basado en la comunidad, lo que puede aumentar la aceptación y el éxito a largo plazo de las medidas de mitigación.

Se recomienda encarecidamente a todos los estudiantes participar en estas investigaciones, ya que no solo contribuyen al avance del conocimiento y la innovación, sino que también promueven la amigabilidad con el medio ambiente. Al involucrarse en estos proyectos, los estudiantes tienen la oportunidad de aprender de primera mano sobre importantes cuestiones ambientales y cómo abordarlas de manera sostenible. Esta experiencia no solo enriquece su educación, sino que también los capacita para convertirse en ciudadanos responsables y comprometidos con la preservación del entorno natural. En última instancia, la participación en investigaciones medioambientales no solo beneficia a los estudiantes individualmente, sino que también contribuye al bienestar colectivo de nuestra sociedad y nuestro planeta.

los cultivos de Cacao por múltiples razones se pueden decir son verdaderamente amigables con el medio ambiente. De hecho, se desarrollan de manera ideal dentro de los sistemas agroforestales, asociados con cultivos de ciclo corto, sombríos temporal y sombrío permanentes, que sirven de guía para consolidar el cambio del planeta. se ponen en práctica como responsabilidad de los gobiernos, órganos privados, comunitarios y de la sociedad civil”, al igual que las empresas asociativas rurales de cacao.

Desde el punto de vista ambiental y productivo presentan una serie aspectos positivos tales como: preservar la biodiversidad, conservar o propiciar un microclima favorable, aumentar

la productividad vegetal y animal, diversificar la producción, integrar la producción forestal con la agropecuaria, mitigar los efectos perjudiciales del sol, el viento y la lluvia sobre los suelos, combinar lo mejor del saber tradicional con los conocimientos modernos, asegurar la sostenibilidad a través de la intensificación apropiada en el uso de la tierra, mejorar el reciclaje de nutrientes, proteger al suelo contra la erosión, influenciar positivamente el manejo de las plagas, disminuir la competencia con el cultivo, utilizar especies multi propósito y persistentes, favorecer la regeneración rápida de hojas, propiciar la alta producción de hojarasca, mejorar la Fijación de Nitrógeno, crear un ambiente favorable al crecimiento de un sistema radical fuerte, proveer alimentos, materias primas, combustibles, forrajes y favorecer la biodiversidad.

11. Conclusiones

En conclusión, el análisis exhaustivo de investigaciones previas sobre la utilización de residuos agroindustriales del cacao para la obtención de materiales poliméricos revela un creciente interés en la búsqueda de soluciones sostenibles en la industria del cacao. A través de la revisión de artículos científicos y estudios de caso, se ha demostrado que estos residuos, como la cáscara y la cascarilla de cacao, pueden ser transformados en bioplásticos con propiedades físicas, mecánicas y de biodegradabilidad prometedoras.

La evaluación crítica de las propiedades de estos bioplásticos, en comparación con polímeros convencionales, sugiere que pueden competir en términos de resistencia y durabilidad, al tiempo que ofrecen la ventaja de ser biodegradables y menos perjudiciales para el medio ambiente.

Sin embargo, se han identificado importantes limitaciones técnicas, económicas y ambientales en la producción y aplicación de estos bioplásticos derivados de coproductos cacaoteros. Entre estas limitaciones se incluyen desafíos en la escalabilidad de la producción,

costos de producción comparativamente más altos y preocupaciones sobre la gestión de residuos durante el proceso de fabricación y al final de su vida útil.

A pesar de estas limitaciones, el avance en la investigación y desarrollo de tecnologías para la producción de bioplásticos a partir de coproductos agroindustriales del cacao representa un paso significativo hacia la implementación de soluciones sostenibles en la industria del cacao. Es fundamental abordar estas limitaciones de manera integral y colaborativa, involucrando a múltiples partes interesadas, desde productores de cacao hasta fabricantes de productos finales y legisladores, para impulsar la adopción generalizada de estas innovaciones y contribuir así a un futuro más sostenible para la industria del cacao y el medio ambiente en general.

Es importante avanzar hacia la consolidación de procesos de innovación transformadora presenta nuevos desafíos tanto para aquellos que están involucrados en la generación de conocimiento como para aquellos que lo demandan. El ejemplo de los bioplásticos ilustra cómo es posible coordinar esfuerzos con comunidades de base, incluyendo proveedores de materias primas y posibles usuarios de las tecnologías desarrolladas. La capacidad de generar cambios desde las bases sociales a través de actividades de ciencia, tecnología e innovación se vuelve un elemento esencial para fortalecer las capacidades de innovación a nivel territorial, fomentando la participación activa de los actores sociales y civiles.

En conclusión, los resultados de los objetivos destacan el potencial prometedor de los residuos agroindustriales del cacao como materias primas para la producción de bioplásticos sostenibles. Sin embargo, también subrayan la importancia de continuar investigando y desarrollando nuevas tecnologías y estrategias para mejorar la eficiencia y la viabilidad económica de estos procesos. En última instancia, se espera que estos hallazgos contribuyan

al avance del conocimiento científico y tecnológico en el campo de la ingeniería agroindustrial y a la promoción del desarrollo sostenible en la región de Aguachica.

12. Referencias

- Agricultura y ganadería. (2019). Producción de cacao aumentó 24% durante enero en Colombia. Tomado de: <http://www.agriculturayganaderia.com/website/produccion-de-cacao-aumento-24-durante-enero-en-Colombia>
- AGROSAVIA (2016) Min ciencias; Min Agricultura. PECTIA: Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano (2017–2027). 161 p. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1275>
- Aguilar, S.M. (2019). Producción y Caracterización de un Biopolímero Obtenido a partir de Residuos Agroindustriales del Cacao (ccn-51). *Revista Respiratorio de guayaquil*. <http://repositorio.ug.edu.ec>
- Aguilera, M. (2005) La Economía del Departamento de Sucre: Ganadería y Sector Público. *Revista del Banco de la República de Colombia*,6(3). [https:// www.banrep.gov.co](https://www.banrep.gov.co)
- Aloise, P., y Macke, J. (2017). Eco-innovations in developing countries: The case of Manaus Free Trade Zone (Brazil). *Journal of Cleaner Production*, 168(1), 30-38.
- ANEI.2020 (Productores Agroecológicos Indígenas). Acerca de ANEI. Recuperado en . <https://www.anei.org.co/>
- Ángel, M. Sánchez, A. González, D. & Montoya, P. (2017). Manual Técnico del Cultivo de Cacao Prácticas Latinoamericanas. *Revista Instituto Interamericano de Cooperación para Agricultura*. <https://repositorio.iica.int>
- Arboleda, G., y Villada, H. (2016). Vigilancia tecnológica: películas flexibles a partir de las mezclas de almidón y ácido poli láctico. *Agronomía Colombiana*, 34(1Supl.), S132-S135. <https://www.researchgate.net/p>

- Arévalo, M.R. (2019). Reducción de plástico. *Revista Caminos Verdes*. <https://urbansa.co>
- Arriols, E. (2018). Qué son los Bioplásticos y Cómo se Producen. *Revista Ecología Verde*.
<https://www.ecologiaverde.com>
- Barrera M. A (2007). Asociatividad Económica en los Encadenamientos Productivos. Consultoría Realizada por los Autores para la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad De Chile. Tomado de <http://repiica.iica.int/docs/b2066e/b2066e.pdf>
- Boussinesq, A. V. (2021). Bioplástico Sostenible. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*.<https://www.sostenibilidad.com>.
- Brockhaus, S., Petersen, M., y Kersten, W. (2016). A crossroads for bioplastics: Exploring product developers' challenges to move beyond petroleum-based plastics. *Journal of Cleaner Production*, 127, 84-95. <https://www.researchgate.net>
- Campo, E. C. (2019). Agro emprender Cacao Beneficiará a 733 Familias Cacaoteras en el Cesar. *Revista el Diario Del Cesar*. <https://www.diariodelcesar.com>
- Cando, D. A. (2016). La Química. *Revista Ciencia Química*, 16(22).
<https://es.khanacademy.org/science/chemistry>.
- Castañeta, G. (2020). Micro Plásticos un Contaminante por sus características y posibles riesgos para la Salud Pública por Exposición. *Revista Boliviana de Química*, 37(3).
<https://www.researchgate.net>
- Castillo, E. F. (2015). Realizaron un Bioplástico a Base de Almidón de Plátano y Cascara Cacao. *Revista Resear*, 3(5)<https://revistas.utp.ac.pa/index>.
- Castro, M. (2023). Historia del *Bioplástico*. *Revista liffeder*. <https://www.lifeder.com/bioplasticos/>
- Colombia, C. d. (2015). *Ley 99 de 1993*. Gaceta Oficial del Congreso
<https://www.minambiente.gov.co>
- Congreso de la Republica de Colombia . (2015). *Ley 31 del 1965*. Gaceta Oficial del Congreso .
<https://www.suin-juriscal.gov.co>

Congreso de la Republica de Colombia . (2016). *Decreto 596 del 2016*. Gaceta Oficial del Congreso. <https://www.funcionpublica.gov.co>

Congreso de la Republica de Colombia . (2016). *Ley 3866 del 2016*. Gaceta Oficial del Congreso. <https://colaboracion.dnp.gov.co>

Congreso de la Republica de Colombia. (2010-2014). *Ley 1450 del 2011*. Gaceta Oficial del Congreso. <https://www.funcionpublica.gov.co>

Congreso de la republica de Colombia. (2011). *Ley 1450 de 2011*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/>

Congreso de la Republica de Colombia. (2015). *Ley 99 del 1993*. Gaceta Oficial del congreso . <https://www.funcionpublica.gov.co>

Congreso de la Republica de Colombia. (2015). *Ley 99 dfel 1993*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co>

Congreso de la Republica de Colombia. (2017). *Ley 1876 del 2017*. Obtenido de <https://www.suin-juriscol.gov.co>

Congreso Nacional e Internacional . (2016). *Resolucion del 2016*. Gaceta Oficial del Congreso del Senado a la Camara. <http://leyes.senado.gov.co>

Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación Colciencias. (2018). Libro Verde 2030. Política Nacional de Ciencia e Innovación para el Desarrollo Sostenible. <https://www.minciencias.gov.co>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Aguachica - Cesar. (2013, May 13). <https://es.wikipedia.org>.

Dongyu, M. (2003). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Revista FAO*. <https://www.fao.org/home/es>

Fedecacao. (2012). Historia del Cacao en Colombia. *Revista Mundo Del Cacao*. <https://www.mundocacao.com.co>

- Fernández, A. (2018). Factores condicionantes del surgimiento y sostenibilidad de una organización de base tecnológica en el sector de empaques biodegradables en el departamento del Cauca. <http://repositorio.unicauca.edu.co>
- Finagro. (2018). Inteligencia del Mercado Cacao. *Revista Finagro*, 2(2). <https://www.finagro.com.co>
- Flórez, V. A. (2022). *Bioplástico Sostenible del Futuro*. *Revista infinitia industrial consulting*. <https://www.infinitiaresearch.com>.
- Garcés, F.A. (2023). Extracción de Pectina de la Hidrolisis Acidas del Cacao. *Revista TADEO*. <https://revistas.utadeo.edu.co>
- García, A. (2019). Contaminación por Plásticos: Causas, Consecuencias y Soluciones. *Revista Ecología Verde*. <https://www.ecologiaverde.com>
- García, S. (2023). Historia del Plástico. *Revista Tecnología*. <https://concepto.de/historia-del-plastico>
- Gómez, P.D. (2020). El cacao y sus Condiciones de Cultivo, Composición y Valor Nutricional. *Revista Fundación Antama*. <https://fundacion-antama.org>
- González B J. (2019). Producción de Cacao Evidencia un Crecimiento Promedio de 6,48% en los Últimos 10 Años. *Agronegocios*. Tomado de: <https://www.agronegocios.co/agricultura/produccion-de-cacao-evidencia-uncrecimiento-promedio-de-648-en-los-ultimos-10-anos-2813684>
- Grainziani, F. (2022). Los Diferentes Tipos de Cacao. *Revista Amazonical*. <https://amazonical.com>
- Guerrero, F. R. (2019). El Cultivo de Cacao Clima y Suelos. *Revista El Productor Far-Agro*. <https://elproductor.com>
- Guzmán, S. (2023). Envases Biodegradables a base de Cascara de Cacao. *Revista The Food Tech*. <https://thefoodtech.com>

- Heredia, A. (2020). Obtención de Bioplástico a partir de Celulosas de Cascara de Cacao. *Revista Chckmica*. <https://clickmica.fundaciondescubre.es>.
- Huamán, M. P. (2020). Propiedades de la Cascara del Cacao. *Revista de Investigación Científica Manglar*. <https://erp.untumbes.edu>
- Hwang, K. (2020). Sustainable bioplastics: Recent progress in the production of bio-building blocks for the bio-based next generation polymer PEF. *Chemical Engineering Journal*, 390.
- Iñiguez, M. E. (2019). Estudio de la Contaminación Marina por Plástico y Evaluación del Contaminante Derivado de sus Tratamientos. *Revista Alacant*. <https://rua.ua.es>
- Martínez, B.C. (2020). El Cacao. *Revista Cuídate Plus*. <https://cuidateplus.marca.com>
- Meisel, R. A. (2005). Economías locales en el Caribe Colombiano. *Revista Respiratorio*. <https://repositorio.banrep.gov.co>
- Molano, E. (2019). El Cacao Construye Territorio. *Revista Las II Orillas*. <https://www.las2orillas.co>
- Municipal Sistema de Información Geográfica Municipal de Aguachica. (2013). <http://censoarchivos.mcu.es>
- Najary, S. (2021) Diseño de una Línea de Producción de Bioplástico a partir de Residuos del cacao con Aplicación en Envasado de Alimentos. *Revista Respiratorio*. <https://repositorio.uteq.edu.ec/>
- Norma Internacional de Estandarizacion. (2004). *Norma 15985 del 2004*. <https://dialnet.unirioja.es>
- Olaya, H. D. (2018). Libros Verdes 2030 Tecnología e Innovación Colciencias. Política Nacional de Ciencia e Innovación para el Desarrollo Sostenible. <https://www.minciencias.gov.co>
- Organización de las Naciones Unidas. (2021). *Falsas Soluciones y Confirma la Necesidad de una Acción Mundial Urgente*. <https://www.unep.org/es/>

- Organizacion Internacional de Estandarizacion. (2005). *Norma 14855 del 2005*. Obtenido de <http://repositorio.unicauca.edu.co>.
- Organizacion Internacional de Estandarizacion. (2019). *Norma 17556 del 2005*. <https://www.eafit.edu.co>
- Organizacion Internacional de Estandrizacion. (2008). *Norma17088 del 2008*. <https://www.plastic.org>
- Organizacion Internacional Estandare. (2020). *Norma 17556 del 2020*. Obtenido de cerrado. <https://www.une.org>
- Organizacion Internacional Estandarizacion. (2002). *Norma 16929 del 2002*. Obtenido de <https://www.une.org>
- Palomino, A. (2019). Desarrollo y Caracterización Físico y Mecánica de Film Biodegradable Elaborado a partir de Subproducto del Cacao. *Revista ReseachGate*. <https://www.researchgate.net>
- Pérez, G. J. (2003). La tasa de cambio real Regional y Departamental en Colombia, 1980-2002. *Revista de trabajos sobre Economía Regional*. <https://www.banrep.gov.co>
- Petrel, S. J. (2019). Historia del Cacao. *Revista AGROSAVIA*. <https://www.agrosavia.co>
- Piñeros, N., Sierra, F. (2019). Propiedades microestructurales y ópticas de películas biodegradables a base de almidón termoplástico y poli (Caprolactona) con actividad antioxidante. *Información Tecnológica*, 30(4), 293-300
- Rima, A. C. (2022). Bioplástico para envasado de alimento a partir de Celulosa de Cascarilla de Cacao incorporada con fibra de bagazo de Caña de Azúcar. *Revista Respiratorio*. <https://repositorio.uteq.edu.ec>
- Rivera, A. (2017). Coproductos Agrícolas. *Revista MAVITEC*. <https://revista-agroproductividad.org>
- Rolleat, J. A. (2022). El Impacto Medioambiental del Plástico. *Revista IMP* <https://rolleat.com>

- Sánchez, O. (2018). Ficha de Cacao II. *Revista Finagro Versión II*, 2(6).
<https://www.finagro.com.co>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2017). *Revista Agroindustria, Motor de Desarrollo de México*. <https://www.go>
- Siti M. J. (2020). Realizaron Bioplástico a partir de la Cáscara de Cacao junto con el Almidón de la Semilla de Yaca, como Plastificante (*Etilenglicol*). *Revista Unicordoba*.
<https://revistas.unicordoba.edu.co>
- Suarez, w. A. (2022). Alternativa de Aprovechamiento para la Cascara de Cacao Generada en la Unidades Productivas del Departamento Casanare. *Revista el Universidad del bosque*.
<https://repositorio.unbosque.edu.co>.
- Vieytes, R. (2017). Metodología De La Investigación En Organizaciones, Mercado Y Sociedad: Epistemología Y Técnicas. Buenos Aires, Argentina: Editorial De Las Ciencias. *Revista repositorio*. <https://repositorio.unbosque.edu.co>