

# UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO  
FACULTAD DE POSGRADO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y  
POSGRADO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGIA

**TEMA:**

Análisis Descriptivo de la Producción de Etanol a partir del Mucílago de Cacao  
(*Theobroma cacao*) mediante el Proceso de Fermentación Alcohólica.

**Autor:**

William Steven Mendez Cajamarca

**Director:**

Guevara Viejo Jorge Fabricio

*Milagro, 2025*

## Derechos de autor

**Sr. Dr.**

**Fabricio Guevara Viejo**

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo, William Steven Méndez Cajamarca en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de Magister en Biotecnología, como aporte a la Línea de Investigación Tesis investigativa de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Informe de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

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

Milagro, 08/ de Agosto del 2025



**William Steven Méndez Cajamarca**

**C.I.: 0302278478**

Yo, **Dr. Fabricio Guevara Viejo** en mi calidad de director del trabajo de titulación, elaborado por **William Steven Méndez Cajamarca**, cuyo tema es, **Análisis Descriptivo de la Producción de Etanol a partir del Mucílago de Cacao (Theobroma cacao) mediante el Proceso de Fermentación Alcohólica** que aporta a la Línea de Investigación **tesis investigativa**, previo a la obtención del Grado Magister en biotecnología, Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo **APRUEBO** , a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 08/08/2025



**Guevara Viejo Jorge Fabricio**  
**Cedula 0917882961**

# VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## FACULTAD DE POSGRADO

### CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. MENDEZ CAJAMARCA WILLIAM STEVEN**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DEL MUCÍLAGO DE CACAO (THEOBROMA CACAO) MEDIANTE EL PROCESO DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	60.00
SUSTENTACIÓN	38.00
<b>PROMEDIO</b>	<b>98.00</b>
<b>EQUIVALENTE</b>	<b>Excelente</b>



firmado electrónicamente por:  
JUAN DIEGO  
VALENZUELA COBOS

---

Ph.D. VALENZUELA COBOS JUAN DIEGO  
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



firmado electrónicamente por:  
ALEX EDWIN GUILLEN  
BONILLA

---

Ing. GUILLEN BONILLA ALEX EDWIN  
VOCAL



firmado electrónicamente por:  
MARCELA MARICELA  
CARPIO ARIAS

---

CARPIO ARIAS MARCELA MARICELA  
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

## **DEDICATORIA**

Esta meta anhelada se la dedico a toda mi familia en especial a mis abuelos Ramón Mendez y María León, quienes me dedicaron todo el tiempo y paciencia de preparación tanto ética como moral para formarme como un profesional.

A mis padres William Mendez y Mariana Cajamarca que fueron los que me dieron la vida, me ayudaron en mi etapa educativa y de manera muy especial a mi tia Carmen Mendez que siempre me apoyo en cada instante para poder cumplir cada una de mis metas propuestas.

## **AGRADECIMIENTO**

Siempre agradecido con Dios por brindarme fuerzas, Fe y esperanzas, el que me ofrece paciencia, salud y fortaleza en cada paso de mi vida.

A mis abuelos y padres que me inculcaron valores y principios desde muy pequeño, agradezco a mis tías Estrella, Lady, Rosa, Johana que me brindaron apoyo incondicional, también a mi esposa Gabriela Gualpa que fue quien me apoyo en cada momento de mi vida.

Agradezco a mis tíos Patricio, Danny, Walther, Wilson, Amílcar, que fueron las personas que estuvieron a mi lado aconsejándome en todo momento.

Gratifico a mis primos, hermanos y amistades que siempre estuvieron manifestándome cariño y brindándome ánimo para formar así parte de mi vida que me llena de satisfacción.

## RESUMEN

El problema central que aborda este proyecto es la necesidad de explorar diversas aplicaciones del mucílago de cacao. El estudio se desarrolló como una investigación descriptiva, utilizando el método de triangulación de datos para exponer los proyectos significativos sobre el potencial de este subproducto del cacao.

El cultivo de cacao se enfoca principalmente en la semilla, que constituye solo el 10% del peso total del fruto fresco. Durante el proceso de beneficio del cacao, se generan subproductos como el mucílago, que no son reutilizados por los agricultores. Este subproducto tiene un gran potencial para diversas aplicaciones industriales y ambientales, ofreciendo beneficios económicos y ecológicos. Este subproducto es una alternativa para reemplazar el uso de herbicidas químicos para el control de malezas, es crucial debido a los efectos negativos de estos productos en el medio ambiente. Este estudio analiza la influencia del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el control de malezas y su impacto en la composición del suelo. Los resultados mostraron que el mucílago de cacao puede controlar las malezas en un 61.59%, y cuando se combina con cloruro de sodio (al 24% de sodio), el control de malezas aumenta al 76.84%.

Otros estudios han explorado el uso del mucílago de cacao en la producción de etanol y bioetanol. García Navarrete (2022) demostró su viabilidad como fuente alternativa de azúcares en la fermentación para bebidas. Delgado Noboa et al. (2023) destacaron el potencial del mucílago para la producción de etanol como aditivo de combustibles. Castillo Cárdenas y Huillca Córdova (2020) encontraron que el mucílago de cacao es un excelente sustrato para la producción de bioetanol debido a su alta concentración de azúcar.

El mucílago de cacao muestra un gran potencial en el control natural de malezas y en la producción de biocombustibles, ofreciendo una alternativa a los herbicidas químicos y promoviendo una agricultura más sostenible.

**Palabras clave:** Mucílago de cacao, etanol, biocombustible, fermentación, subproductos agrícolas, sostenibilidad ambiental.

## Abstract

The central problem that this project addresses is the need to explore various applications of cocoa mucilage. The study was developed as descriptive research, using the data triangulation method to expose significant projects on the potential of this cocoa by-product.

Cocoa cultivation focuses mainly on the seed, which constitutes only 10% of the total weight of the fresh fruit. During the cocoa processing process, byproducts such as mucilage are generated, which are not reused by farmers. This byproduct has great potential for various industrial and environmental applications, offering economic and ecological benefits. This byproduct is an alternative to replacing the use of chemical herbicides for weed control, which is crucial due to the negative effects of these products on the environment. This study analyzes the influence of cocoa mucilage (*Theobroma cacao* L.) on weed control and its impact on soil composition. The results showed that cocoa mucilage can control weeds by 61.59%, and when combined with sodium chloride (at 24% sodium), weed control increases to 76.84%. Other studies have explored the use of cocoa mucilage in the production of ethanol and bioethanol. García Navarrete (2022) demonstrated its viability as an alternative source of sugars in fermentation for beverages. Delgado Noboa et al. (2023) highlighted the potential of mucilage to produce ethanol as a fuel additive. Castillo Cárdenas and Huillca Córdova (2020) found that cocoa mucilage is an excellent substrate to produce bioethanol due to its high sugar concentration.

Cocoa mucilage shows great potential in the natural control of weeds and in the production of biofuels, offering an alternative to chemical herbicides and promoting more sustainable agriculture.

**Keywords:** Cocoa mucilage, ethanol, biofuel, fermentation, agricultural byproducts, environmental sustainability.

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Operacionalización de las variables .....	19
<b>Tabla 2.</b> Resumen de Proyectos sobre el Uso del Mucílago de Cacao en Diferentes Aplicaciones Industriales y Ambientales .....	54

## Indice General

UNEMI .....	I
DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
Resumen .....	IV
Abstract.....	V
Lista de Tablas.....	
Índice General.....	
Introducción .....	1
Capítulo I: El problema de la investigación .....	3
1.2 Delimitación del problema .....	4
1.2 Formulación del problema .....	5
1.3 Preguntas de investigación .....	5
1.4 Determinación del tema .....	5
1.5 Objetivo general.....	6
1.6 Objetivos específicos .....	6
1.7 Declaración de las variables (operacionalización) .....	6
1.8 Justificación.....	9
1.9 Alcance y limitaciones .....	9
CAPÍTULO II: Marco teórico referencial .....	10
2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación.....	12
2.3. Historia y Contexto del Cacao.....	13
2.3.1. Origen e Historia del Cacao .....	13

2.3.2. Evolución histórica e importancia.....	14
2.4. El Cacao en la Economía Mundial .....	15
2.5. Mucílago de cacao .....	17
2.5.1. Factores de producción del mucilago de cacao .....	19
2.5.2. Estacionalidad .....	19
2.6. Abundancia y disponibilidad del mucílago de cacao.....	21
2.6.1. Importancia del Mucílago en la Producción de Cacao .....	23
2.6.2. Métodos de Recolección del Mucílago de Cacao .....	24
2.6.3. Aplicaciones Tradicionales y Modernas del Mucílago de Cacao.....	25
2.6.4. Impacto Ambiental de la Recolección del Mucílago de Cacao.....	25
2.7. Producción de Biocombustibles.....	26
2.7.1. Contexto general de la producción de etanol.....	26
2.7.2. Importancia del Etanol como biocombustible.....	27
2.8.3. Comparación con otros biocombustibles .....	28
CAPÍTULO III: Diseño metodológico .....	29
3.3.1 Alcance.....	30
3.3.2. Búsqueda de literatura .....	30
3.3. Triangulación de datos.....	32
CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados .....	34
4.2 Interpretación de los resultados .....	34
CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones .....	43
5.2 Recomendaciones .....	43
6. Bibliografía .....	48

## Introducción

El cacao, un cultivo altamente apreciado en la industria de alimentos, no solo es conocido por sus apetitosos granos que sirven de base para la producción de chocolate, sino también por un subproducto que a menudo pasa desapercibido: el mucílago de cacao. Esta sustancia gelatinosa que rodea las semillas de cacao no solo desempeña un papel fundamental en el proceso de fermentación de los granos, sino que también ofrece un potencial considerable en términos de aplicaciones industriales, nutricionales y medicinales (Bastidas et al., 2023).

En la actualidad los esfuerzos se centran en dejar de lado los compuestos sintéticos en favor de componentes naturales, lo que permite crear productos saludables, ecológicos, sostenibles y rentables. En respuesta, la industria alimentaria busca nuevas materias primas para producir alimentos bajos en grasas, omitiendo los aditivos artificiales, gluten, prebióticos y fortificados. De igual manera, se está procediendo en la industria farmacéutica y médica que están adoptando estas materias primas naturales para abordar desafíos en los biomateriales de manera más eficiente que con ingredientes sintéticos. Teniendo en cuenta este contexto, el mucílago vegetal, es un polisacárido con múltiples usos y características para la salud, industria y tecnología, ya que se ha demostrado ser útil tanto en aplicaciones alimentarias como biomédicas. Estudios indican que su inclusión en alimentos mejora la calidad de los productos reformulados y, en el campo biomédico, su estructura biocompatible es beneficiosa para la regeneración de tejidos en ingeniería de tejidos (Goksen et al., 2023).

Aunque el mucílago de cacao suele ser considerado un desperdicio de la industria cacaotera, en realidad es una fuente abundante de nutrientes y compuestos bioactivos. Contiene una amplia gama de vitaminas, minerales y antioxidantes que lo convierten en un recurso valioso para diversas industrias, incluyendo la alimentaria, cosmética y farmacéutica. Además, se está explorando su potencial como fuente de biocombustibles y otros productos bioenergéticos (Teshager et al., 2024).

Sin embargo, a pesar de sus múltiples beneficios, el aprovechamiento eficiente del mucílago de cacao enfrenta importantes desafíos. La falta de conocimiento sobre sus propiedades y aplicaciones, así como la ausencia de tecnologías adecuadas para su

procesamiento, han resultado en un desperdicio significativo de este recurso valioso. El objetivo de este documento es explorar el potencial del mucílago de cacao y resaltar la importancia de su aprovechamiento integral en diversos sectores industriales. Además, se examinarán los desafíos y oportunidades asociados con su uso eficiente, junto con posibles soluciones para maximizar su valor en la cadena de producción de cacao (Goksen et al., 2023).

## Capítulo I: El problema de la investigación

### 1.1 Planteamiento del problema

El mucílago de cacao no es más que una sustancia viscosa que rodea las semillas de cacao dentro del fruto, ha sido tradicionalmente subutilizada en la producción de cacao. Mientras que la atención principal se ha dirigido hacia los granos de cacao para la elaboración de chocolate, el mucílago, que constituye una parte considerable del fruto, suele ser descartado como residuo (Sánchez Olaya et al., 2019).

La autora (Arteaga Estrella, 2013), publicó un estudio del desperdicio del Mucilago del Cacao en el cantón Naranjal provincia del guayas, dentro de sus observaciones destaco que lo pequeños agricultores desechan esa materia prima que se desprende las pepas, originando el desperdicio de este subproducto, entre los factores o causas que dan origen al desperdicio de esta materia prima, es la falta de conocimiento de los agricultores y despreocupación de la autoridades gubernamentales, la mayoría de los agricultores desconoce los nutrientes y las propiedades que posee este recurso, esta investigación dio como resultado que el desperdicio se da por que el 72% de los agricultores desconoce los beneficios, el 22% no tiene ningún interés de utilizar esta materia prima, y el 6% es por la falta de innovación de parte de las autoridades. No obstante, investigaciones recientes han indicado que el mucílago de cacao posee propiedades químicas y nutricionales únicas que podrían tener aplicaciones valiosas en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética.

Los autores (Noboa et al., 2019), realizaron un proyecto para la aplicación de modelos cinéticos y logístico integrado de Gompertz modificado para la producción de bioetanol en procesos fermentativos utilizando mucilago de cacao de la variedad CCN-51.

El objetivo de este proyecto es modelar la producción de bioetanol mediante la fermentación del mucílago de cacao CCN-51 con levadura *Saccharomyces cerevisiae*, empleando los modelos Logístico Integrado y Gompertz modificado. Destacan que, en nuestro país, el mucílago de cacao, un residuo con alto potencial

energético para producir bioetanol, y este no ha sido valorizado. La fermentación se llevó a cabo en un biorreactor batch bajo diferentes condiciones de pH, temperatura y concentración de levadura. Se evaluó la biomasa y el bioetanol generado, obteniendo una concentración final de 25,41 g/L de bioetanol a 35 °C, pH 4 y 3 g/L de levadura. Los modelos logístico y Gompertz modificado describieron con precisión el crecimiento de la levadura y la producción de bioetanol, respectivamente, con coeficientes de determinación superiores a 0,9 (Noboa et al., 2019).

La falta de aprovechamiento del mucílago de cacao no solo resulta en una pérdida de recursos valiosos, sino que también representa una alternativa de ingresos económicos no explorado por los productores de cacao y otros sectores industriales. A pesar de su potencial, la carencia de conocimiento y la investigación limitada sobre las aplicaciones prácticas del mucílago han impedido su utilización completa (Banerjee et al., 2017).

Por lo tanto, es fundamental realizar una revisión exhaustiva de la literatura existente para evaluar y sintetizar la información sobre las propiedades del mucílago de cacao, así como los desarrollos tecnológicos y estrategias de valorización propuestas hasta la fecha. Esta revisión permitirá identificar las oportunidades y desafíos asociados con el aprovechamiento integral del mucílago de cacao y destacar su importancia para promover la sostenibilidad y la innovación en diversos sectores industriales (Villarroel-Bastidas et al., 2023).

## 1.2 Delimitación del problema

**Campo:** Biotecnología y agroindustria

**Área:** valorización de subproductos agrícolas

**Aspectos:** Aprovechamiento del mucílago de cacao, para la producción de biocombustible

**Tema:** Análisis Descriptivo de la Producción de Etanol a partir del Mucílago de Cacao (*Theobroma cacao*) mediante el Proceso de Fermentación Alcohólica.

**Delimitación:** El estudio se desarrollará en documentos relevantes de procesos de fermentación alcohólica.

**Delimitación Temporal:** la investigación se llevará a cabo con información

publicada desde el año 2010 hasta 2024.

**Línea de Investigación:** Innovación Tecnológica en Proceso de Producción agropecuaria.

## 1.2 Formulación del problema

La siguiente investigación busca explorar el potencial del mucílago de cacao y su viabilidad como materia prima para la producción de biocombustible. Se centra en hacer una revisión exhaustiva de la literatura disponible sobre los aspectos técnicos, económicos y sociales del proceso de extracción y fermentación del etanol a partir del mucílago de cacao, así como en evaluar los aspectos económicos relacionados con la implementación de esta alternativa en la industria del cacao en la región mencionada. Este estudio busca proporcionar información para comprender mejor el potencial del mucílago de cacao como fuente de energía renovable y su impacto en la economía local y la sostenibilidad ambiental (Teshager et al., 2024).

## 1.3 Preguntas de investigación

¿Cómo ha evolucionado la producción científica en materia de investigación sobre el aprovechamiento del mucílago de cacao para la producción de bioetanol?

¿Cuáles son las principales materias primas, además del mucílago de cacao, que se destacan en la investigación sobre la producción de bioetanol sostenible?

¿Cuáles son los principales puntos de investigación en la literatura sobre la utilización del mucílago de cacao para la producción de bioetanol?

¿Cuáles son los principales grupos de cocitación en esta área de investigación sobre el aprovechamiento del mucílago de cacao para la producción de bioetanol?

## 1.4 Determinación del tema

Análisis Descriptivo de la Producción de Etanol a partir del Mucílago de Cacao (*Theobroma cacao*) mediante el Proceso de Fermentación Alcohólica.

## 1.5 Objetivo general

Explorar el potencial del mucílago de cacao y resaltar la importancia de su aprovechamiento integral en diversos sectores de la salud, biotecnología e industrial.

## 1.6 Objetivos específicos

Analizar la literatura científica existente para identificar las propiedades químicas y nutricionales del mucílago de cacao y su potencial aplicación en diferentes sectores industriales, como la alimentaria, farmacéutica y cosmética.

Revisar los procesos tecnológicos y modelos de fermentación utilizados en la producción de bioetanol a partir del mucílago de cacao presentes en la literatura, incluyendo la evaluación de las condiciones óptimas de pH, temperatura y concentración de levadura para maximizar la producción.

Comparar la literatura existente para identificar otras materias primas utilizadas en la producción de bioetanol sostenible, situando el mucílago de cacao en el contexto de las alternativas disponibles y su viabilidad económica.

Documentar a partir de la revisión bibliográfica, las barreras y oportunidades para la implementación del aprovechamiento del mucílago de cacao en sectores industriales clave, incluyendo factores económicos, sociales y tecnológicos que influyen en su adopción.

## 1.7 Declaración de las variables (operacionalización)

**Variables Independientes:** Propiedades del Mucílago de Cacao, Procesos Tecnológicos y Modelos de Fermentación, Materias Primas Alternativas, Barreras y Oportunidades para la Implementación.

**Variable Dependiente:** Aprovechamiento Integral del Mucílago de Cacao

**Tabla 1:** Operacionalización de las variables

<b>Variable</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad de Medida</b>
<b>Propiedades del Mucílago de Cacao</b>	Características químicas y físicas del mucílago de cacao que pueden influir en su aplicabilidad en diversos sectores industriales.	Medición de la composición química, propiedades nutricionales y físicas del mucílago de cacao.	Diversas	Composición química, propiedades nutricionales y físicas del mucílago de cacao	Gramos, mililitros, porcentaje, grados Celsius, pH
<b>Procesos Tecnológicos y Modelos de Fermentación</b>	Procedimientos y técnicas utilizadas para fermentar el mucílago de cacao y modelos empleados para predecir y optimizar la producción de bioetanol.	Identificación y descripción de los procesos tecnológicos utilizados para la fermentación, así como los modelos de fermentación aplicados en la producción de bioetanol.	Diversas	Procedimientos y técnicas de fermentación, modelos de fermentación	Descripción de los procesos, modelos específicos
<b>Materias Primas Alternativas</b>	Otras fuentes de biomasa que pueden ser utilizadas en lugar del mucílago de cacao para la producción de bioetanol.	Identificación y comparación de las diversas materias primas que pueden ser empleadas en la producción de bioetanol sostenible.	Diversas	Fuentes alternativas de biomasa para producción de bioetanol	Descripción de las materias primas
<b>Barreras y Oportunidades para la Implementación</b>	Obstáculos y posibilidades que afectan la integración	Análisis de los factores económicos, sociales y	Diversas	Barreras y oportunidades para la implementación	Descripción de las barreras y oportunidades

<b>ción</b>	y explotación efectiva del mucílago de cacao en los sectores industriales.	tecnológicos que promueven o dificultan el aprovechamiento del mucílago de cacao en diversos sectores industriales.		ón del mucílago de cacao	s
<b>Aprovechamiento Integral del Mucílago de Cacao</b>	Nivel de explotación efectiva y sostenible del mucílago de cacao en diversos sectores industriales.	Medición del grado de utilización y aprovechamiento del mucílago de cacao en diferentes industrias.	Continuo	Nivel de aprovechamiento del mucílago de cacao	Escala de medición específica, porcentaje, puntos

## 1.8 JUSTIFICACION

La presente investigación es justificable por varias razones. En primer lugar, el cacao es un producto de gran valor económico y cultural en muchas regiones, con Ecuador como uno de los principales productores a nivel mundial. Aunque se reconoce su valor, se pasa por alto el potencial de otros subproductos como el mucílago. Utilizar el mucílago para producir biocombustibles como el etanol podría no solo generar ingresos adicionales para los productores, sino también ofrecer una opción más sostenible para la energía (Abad et al., 2020).

Aprovechar el mucílago representa una oportunidad para optimizar recursos que de otra manera se desaprovecharían durante el proceso de fermentación del cacao. Esto puede aumentar la eficiencia y rentabilidad en la cadena de producción (Goksen et al., 2023).

La producción de biocombustibles a partir del mucílago podría diversificar las economías de las regiones cacaoteras, ofreciendo una fuente adicional de ingresos para los agricultores y reduciendo su dependencia de los mercados tradicionales. Además, este enfoque promovería prácticas agrícolas más sostenibles al reducir la generación de residuos y mitigar los impactos ambientales negativos (Rojas et al., 2020). Este estudio contribuiría al avance del conocimiento científico al proporcionar información sobre la viabilidad técnica y económica de esta producción de etanol, lo que podría impulsar futuras investigaciones en este campo emergente (Arteaga Estrella, 2013).

### 1.8 Alcance y limitaciones

El estudio tiene como objetivo evaluar la viabilidad técnica y económica de producir etanol a partir del mucílago de cacao. Se analizarán diversas literaturas científicas, para comparar la eficacia de diversos métodos de fermentación, y los costos asociados a la producción de etanol, considerando factores como recolección, procesamiento y manejo de residuos. Además, se examinarán las condiciones locales y climáticas, así como las políticas gubernamentales que podrían influir en el proyecto. Aunque el estudio busca promover la sostenibilidad, se tendrán en cuenta las posibles limitaciones tecnológicas y los impactos ambientales, proporcionando información y análisis para futuras investigaciones y proyectos en la región (Béjar Lara & Espinoza Granda, 2023).

## CAPÍTULO II: Marco teórico referencial

### 2.1 Antecedentes

El autor (Martínez-López et al., 2019), en su investigación para producir etanol a partir del jugo de mucílago de cacao, como subproducto de la fermentación, determinaron que algunos hongos y levaduras no *Saccharomyces* pueden producir etanol. Actualmente, se buscan nuevos sustratos alternativos para la producción de etanol. La elaboración de biocombustible comenzó con la producción de licores, sin embargo, este conocimiento se ha expandido a varios procesos químicos en muchos países. Por ello, esta investigación se centró en producir etanol a partir del mucílago del jugo de cacao (*Theobroma cacao*) mediante un proceso de fermentación, el propósito es aprovechar y añadir valor a este subproducto (Martínez-López et al., 2019).

Para este estudio, se recolectó jugo de mucílago de cacao de las cajas de fermentación de las semillas de cacao, el mismo estuvo almacenado a una temperatura de 4°C hasta el momento del traslado al laboratorio. El proceso de fermentación se llevó a cabo en lotes de 3 litros en un entorno anaeróbico a una temperatura que oscilaba entre los 28-32°C por 72 horas, usando la cepa de *K. marxianus* a una concentración de  $1 \times 10^8$  células/mL. El JM fue caracterizado en términos de pH y sólidos solubles (°Bx). Se realizaron fermentaciones con JM como control y JM ajustado a 32 g/L de glucosa (Glc) y 32 g/L de sacarosa (Sac). El etanol se recuperó mediante tres tipos de destilación: simple, fraccionada y extractiva (0.1 mg CaCl<sub>2</sub>/L). Las mediciones se realizaron tres veces y se informó el promedio de cada tratamiento (Martínez-López et al., 2019).

Durante la fermentación, inicialmente no se observaron cambios en los °Bx, pero después de 8 horas se registró una disminución del 66.7%, 38.5% y 50% para JM, Glc y Sac, respectivamente. El contenido de alcohol (GL) variaba según el tipo de destilación: destilación simple (40°, 57° y 44°GL), fraccionada (68°, 84°, 87°GL) y extractiva (88%, 92% y 93% GL) para JM, Glc y Sac, respectivamente. El pH final de las fermentaciones fue de  $3.6 \pm 0.4$ . La adición de CaCl<sub>2</sub> en concentraciones adecuadas mejora la separación del sistema azeótropo agua-alcohol en el proceso

de destilación (Martínez-López et al., 2019). Los resultados de las destilaciones del jugo de mucílago de cacao mostraron que la adición de glucosa o sacarosa (32 g/L) y una destilación extractiva lograron las mayores concentraciones de etanol (92% y 93%) utilizando la cepa de *K. marxianus* (Martínez-López et al., 2019).

El autor Medina Pimiento (2017), en su investigación para el diseño, montaje y puesta en marcha de planta productora de etanol a partir del mucilago de cacao en la localidad de Girón, Santander considera que la industria cacaotera genera una considerable cantidad de biomasa. Esta biomasa puede ser utilizada para la creación de nuevos productos, alimentos para ganado, cosméticos, productos químicos y biocombustibles. Los cambios climáticos extremos, el incremento de la demanda energética y la volatilidad de los precios del petróleo han motivado la búsqueda de fuentes de energía alternativas que sean sostenibles y económicamente viables. Esta situación ha llevado a considerar la implementación de biocombustibles en la industria. Los biocombustibles se producen a partir de la biomasa de plantas, animales, microorganismos y desechos orgánicos. Actualmente, los residuos de cacao, como el mucilago, venas, cascaras son una fuente de biomasa sin aprovechar y sin una gestión adecuada, lo que puede resultar en consecuencias económicas y ambientales negativas (Medina Pimiento, 2017).

La Agencia Internacional de Energía proyecta que el uso de biocombustibles se incrementará más de cuatro veces entre 2008 y 2035, alcanzando el 8% de la demanda de combustible para el transporte. En América Latina, se prevé un considerable aumento en el consumo de biocombustibles como parte de una transición energética (Avila et al., 2020).

El análisis de pre-inversión para una planta de bioetanol a partir del mucílago de cacao en Girón, Santander, evaluó el mercado y descubrió una sobreoferta de bioetanol debido a altas importaciones, que disminuyeron un 6.41% en 2020 por la pandemia. Aunque no hay una demanda insatisfecha, el proyecto beneficiará la investigación, agroindustria, innovación, empleo, biocomercio y uso de biocombustibles, mejorando la agenda ambiental y la ingeniería social en la región. Girón fue seleccionada como la ubicación ideal por su disponibilidad de materia prima y otros recursos. El proyecto es técnicamente viable y rentable, utilizando tecnologías

avanzadas como la fermentación anaeróbica y la deshidratación con tamices moleculares. Además, fortalecerá la relación entre la industria y las universidades, fomentando mejoras en políticas gubernamentales y promoviendo iniciativas beneficiosas para la región (Medina Pimiento, 2017).

Posteriormente, los autores (Noboa et al., 2019), realizaron un trabajo de investigación titulado Optimización de la producción de bioetanol en proceso fermentativos del mucílago de Cacao CCN-51 en un reactor tipo Bach. En Ecuador, la biomasa residual, como el mucílago de cacao, no ha sido plenamente aprovechada para la producción de energía. Este estudio se centró en optimizar la producción de bioetanol a partir del mucílago de cacao CCN-51 utilizando levadura *Saccharomyces cerevisiae* en condiciones específicas de pH, temperatura y concentración de levadura. La fermentación en un biorreactor batch resultó en una concentración final de bioetanol de 22,06 g/L a 35°C y pH 4. Los modelos Logístico, Gompertz modificado y Andrew y Levenspiel ajustaron bien los datos experimentales, demostrando la viabilidad del mucílago de cacao como materia prima para producir bioetanol, aprovechando residuos de la industria cacaotera ecuatoriana (Noboa et al., 2019).

El estudio también destaca la importancia de emplear modelos cinéticos para optimizar y controlar la producción de bioetanol, lo que podría incrementar la eficiencia en la fermentación del mucílago de cacao. Implementar una planta de bioetanol a partir de este subproducto promovería el uso de energías renovables y reduciría la dependencia de combustibles fósiles, generando beneficios económicos y ambientales para las regiones productoras de cacao. La utilización de residuos cacaoteros para la producción de bioetanol puede convertirse en un modelo sostenible que mejore la competitividad y la sostenibilidad de la industria cacaotera en Ecuador (Alarcón Herrera, 2023).

## **2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación**

La producción de etanol partir del mucílago de cacao, mediante fermentación alcohólica, examina el uso de este subproducto para la producción de etanol o biocombustible, esta investigación está enfocada en evaluar la viabilidad técnica y

económica del proceso, teniendo en cuenta factores, como la concentración de azúcares, tiempo de fermentación, tipo de levadura empleada, temperatura, rendimiento y eficacia en la destilación (Llerena et al., 2019)..

En primer lugar, se dará a conocer de manera breve el origen del cacao, luego se analizará el impacto de este a nivel mundial, posteriormente se evaluará si en el contexto nacional se está aprovechando este subproducto, y finalmente se dará a conocer todo lo relacionado con los biocombustibles en particular el derivado del mucilago del cacao (Llerena et al., 2019).

## **2.3. Historia y Contexto del Cacao**

### **2.3.1. Origen e Historia del Cacao**

El cacao, conocido científicamente como *Theobroma cacao* (*Theobroma* significa "comida de los dioses" en griego), es un árbol originario de las selvas de América Central y del Sur. Produce un fruto alargado de color rojo, blanco o verde, que oscurece al madurar y mide entre 10 y 32 cm de largo y 7 a 10 cm de ancho, pesando entre 200 gramos y 1 kilogramo. Dentro del fruto hay entre 20 y 60 semillas dispuestas en 5 filas, rodeadas de una pulpa gelatinosa y azucarada. El cacao crece mejor en climas ecuatoriales con lluvias abundantes y temperaturas estables entre 25 y 28 grados centígrados. Estudios genéticos sugieren que el cacao es nativo de la cuenca del río Orinoco y el río Amazonas en América del Sur. Los mayas comenzaron a cultivar cacao hace más de 2000 años, valorando sus semillas como moneda y alimento nutritivo. Los aztecas continuaron esta tradición, utilizando las semillas para elaborar "xocolatl", una bebida energética reservada para la élite social, considerando el cacao como un alimento divino (Béjar Lara & Espinoza Granda, 2023).

Estudios recientes sugieren que Ecuador es el lugar de origen del cacao, desmintiendo la creencia de su procedencia de Centroamérica. Dicho estudio fue iniciado en el año 2020 por el autor (Díaz-Valderrama et al., 2020)., demostró de manera concluyente que la domesticación del cacao ocurrió en la Amazonía ecuatoriana, específicamente en el cantón Palanda, en la provincia de Zamora Chinchipe. Este hallazgo, que muestra que hace 5.500 años los ancestros americanos domesticaron el cacao, refuerza la identidad ecuatoriana. Con el fin de identificar el

origen del cacao, los investigadores examinaron restos encontrados en cerámicas datadas de hace 6.000 años, las cuales pertenecían a 19 civilizaciones antiguas de seis naciones distintas (Díaz-Valderrama et al., 2020).

Estas culturas estaban distribuidas en la costa del Pacífico de Ecuador y Colombia, la Amazonia y América. Los investigadores buscaban residuos de ADN de cacao y tres compuestos químicos relacionados con él: teobromina, cafeína y teofilina. El análisis reveló que hace más de cinco milenios, el cacao se expandió rápidamente desde Ecuador a través de rutas comerciales tras su domesticación. Este hallazgo sugiere que la navegación marítima era posible en épocas tempranas y pudo haber facilitado la dispersión del cacao desde Ecuador a Mesoamérica mediante vastas redes político-económicas interconectadas. Como resultado, el cacao se dispersó rápidamente por la costa noroccidental del Pacífico de Sudamérica y llegó a Centroamérica y México 1.500 años después de su primera domesticación en Ecuador (Coba, 2024).

### **2.3.2. Evolución histórica e importancia.**

Ecuador ha experimentado un desarrollo agrícola significativo, especialmente en el ámbito del cacao y sus derivados, generando empleo e ingresos para muchas familias productoras de Cacao, apodado la "Pepa de oro", ha sido una fuente crucial de recursos y ha tenido un impacto en la estructura económica del país durante mucho tiempo. Ecuador es reconocido a nivel mundial por su diversidad biológica, albergando una amplia gama de especies vegetales y animales en su extenso territorio. Durante casi un siglo, la economía ecuatoriana ha sido impulsada en gran medida por la exportación de cacao, que sigue siendo un sector importante que emplea a una parte significativa de la población y aporta importantes ingresos al país (Abad et al., 2020).

La historia del cacao en Ecuador se remonta a finales del siglo XVIII y principios del XIX, cuando se convirtió en un producto crucial conocido como la "pepa de oro". Durante el primer auge del cacao, entre 1770 y 1842, en un sistema económico dominado por grandes extensiones de tierra, el cacao ofrecía volúmenes de producción y ganancias significativos. Desde aproximadamente 1600, la exportación de cacao era una parte vital de la economía ecuatoriana, con envíos anuales

significativos principalmente a México desde el puerto de Guayaquil. Sin embargo, ya se veían problemas que eventualmente llevarían a la crisis cacaotera del siglo XX. La política colonial y la competencia con África, impulsada por las grandes empresas chocolateras, provocaron la caída de los precios y otros desafíos. La Primera Guerra Mundial empeoró aún más la situación, lo que eventualmente llevó a una crisis económica y al colapso del modelo agroexportador (Béjar Lara & Espinoza Granda, 2023).

La exportación de cacao se configuró como una fase económica fundamental en la historia de Ecuador, influenciada por el control social, territorial y político. La variedad de cacao ecuatoriano, reconocida por su aroma y sabor, se convirtió en una marca reconocida a nivel mundial gracias a las condiciones geográficas y climáticas favorables de las zonas de producción. La provincia de Los Ríos se destacó como el epicentro de la economía cacaotera debido a la calidad de su producto y sus suelos aluviales. A lo largo del siglo XIX, Ecuador se convirtió en el mayor exportador de cacao, con un crecimiento importante en la producción y las exportaciones. Sin embargo, epidemias, crisis económicas y la competencia internacional afectaron la industria cacaotera ecuatoriana. A partir del siglo XX, la producción de cacao experimentó altibajos, con períodos de auge y crisis, marcados por factores como enfermedades, problemas de comercialización y fluctuaciones de precios internacionales (Béjar Lara & Espinoza Granda, 2023).

A pesar de los desafíos, el cacao sigue siendo un pilar importante de la economía ecuatoriana, con un crecimiento reciente impulsado por el interés internacional en productos elaborados con cacao ecuatoriano. Para asegurar un crecimiento continuo, se requiere mejorar la producción, cumplir con estándares de calidad y promover el consumo interno de chocolate (Béjar Lara & Espinoza Granda, 2023).

#### **2.4. El Cacao en la Economía Mundial**

El cacao, reconocido por su valor nutricional, se posiciona como el tercer producto más importante a nivel mundial, después del azúcar y el café. Su óptimo crecimiento se da en zonas tropicales, principalmente entre los 20 grados al norte y al sur del ecuador. La mayor parte de su producción, más del 90%, se destina a la

fabricación de chocolate y confitería, generando ventas anuales que superan los 100 mil millones de dólares. Ecuador, famoso por su proceso de fermentación breve que realza el sabor del chocolate, se destaca en este mercado, junto con otros países sudamericanos como Colombia, México y Brasil. A pesar de ello, África, especialmente Nigeria, Costa de Marfil y Ghana, se mantiene como el principal productor mundial de cacao, aunque su cultivo tiene origen americano (Fenton III, 2020).

En Sudamérica, Perú y Ecuador lideran la producción, con este último experimentando un notable crecimiento en años recientes, ubicándose ahora como el cuarto mayor productor a nivel global. Las exportaciones cacaoteras en la región muestran una tendencia al alza, lo que contribuye al desarrollo económico y la generación de empleo. Sin embargo, se enfrentan desafíos como la competencia con grandes empresas, la falta de financiamiento para los pequeños agricultores y los riesgos asociados a plagas y fluctuaciones en los precios de los insumos agrícolas (Serrana et al., 2022).

Para analizar la variabilidad y hacer predicciones sobre las exportaciones cacaoteras en la última década y los próximos seis años, se empleó la metodología de series temporales. Según las proyecciones, se espera que Ecuador mantenga su liderazgo en exportaciones de cacao en la región, seguido por Perú. Sin embargo, se anticipa una disminución en las exportaciones de Bolivia y Trinidad y Tobago, mientras que países como Venezuela y Perú podrían experimentar un crecimiento significativo.

En términos de ingresos por exportación, se prevé que Ecuador continúe a la cabeza en la región, seguido por Perú, mientras que Colombia también muestra un aumento en sus ingresos. Por otro lado, se anticipa una disminución en los ingresos de Bolivia y Trinidad y Tobago. En general, las exportaciones cacaoteras de Sudamérica están en ascenso, lo que refleja el crecimiento continuo de esta industria en la región (Vargas et al., 2022).

En el primer semestre del 2021, Colombia registró un hito en la producción de cacao, experimentando un aumento del 4.59% en comparación con el año anterior, lo que resultó en un total de 11,660 toneladas métricas. Este crecimiento reafirmó su

posición como uno de los principales productores de cacao en América del Sur. A pesar de enfrentar desafíos como las fluctuaciones del mercado y los cambios climáticos, Colombia continúa demostrando un crecimiento constante en su industria cacaotera, respaldado por iniciativas gubernamentales y el compromiso de los agricultores locales. Estas cifras alentadoras subrayan el potencial de Colombia para ampliar aún más su presencia en el mercado global del cacao (Makinde et al., 2019).

En el año 2021, Ecuador demostró su prominencia como uno de los principales productores de cacao a nivel global al superar las 285,000 toneladas métricas en su producción, marcando un crecimiento del 2% con respecto al año anterior. Este logro consolidó su posición como el principal exportador de cacao fino y de aroma. Por otro lado, en África Occidental, Costa de Marfil y Ghana mantuvieron su liderazgo en la producción mundial con cifras que superaron el millón de toneladas métricas cada uno, representando más del 60% del total mundial. A pesar de la competencia, los países sudamericanos como Colombia, Ecuador y Perú han ganado reconocimiento por la calidad de su cacao y su compromiso con prácticas sostenibles, lo que les ha permitido mantener una presencia destacada en el mercado global (Abad et al., 2020).

## **2.5. Mucílago de cacao**

El mucílago de cacao no es más que una sustancia viscosa que envuelve las semillas de cacao, ha sido tradicionalmente empleada como sustrato en el proceso de fermentación de los granos de cacao. Aparte de su función en la formación de precursores de sabor y aroma, este subproducto de la producción de cacao es nutricionalmente valioso y funcional, rico en vitaminas del grupo B, vitaminas C, D y E, y minerales como calcio, hierro, potasio, magnesio y zinc, el mucílago ofrece propiedades antioxidantes gracias a la presencia de compuestos antioxidantes en su composición. Esta capacidad antioxidante lo convierte en una materia prima interesante para el desarrollo de productos destinados a combatir el estrés oxidativo (Vargas et al., 2022).

El mucílago desempeña un papel crucial en el proceso de fermentación debido a su elevado contenido de carbohidratos, lo que lo convierte en un medio óptimo para la proliferación de microorganismos como bacterias lácticas, ácido acético y

levaduras. Este proceso de fermentación se divide en dos fases distintas: anaeróbica y aeróbica. Durante la primera fase, caracterizada por una baja concentración de oxígeno, las levaduras predominan en la producción de etanol. En la segunda fase, se observa un aumento en la población de bacterias que transforman el etanol en ácido acético. Estas sustancias atraviesan el grano y actúan como precursores para la producción enzimática de compuestos como taninos y polifenoles (Vargas et al., 2022).

La cantidad de mucílago presente en el grano de cacao puede variar dependiendo de sus características genéticas y de su apariencia física. Esta variabilidad puede afectar el proceso de fermentación y, en consecuencia, la calidad sensorial del grano. La fermentación excesiva del mucílago puede aumentar la acidez y el sabor amargo de los granos, debido a la producción elevada de ácido láctico y acético. Por ello, se ha investigado la posibilidad de reducir la cantidad de mucílago antes del proceso de beneficio del cacao. Diversos estudios han sugerido que eliminar entre el 20% y el 60% del mucílago antes de la fermentación puede mejorar la calidad del proceso. Para lograr una separación eficiente del mucílago, se han desarrollado despulpadoras mecánicas de cilindro rotatorio que permiten una extracción uniforme y sin dañar los granos. Además, el mucílago, una vez separado, puede ser congelado o pasteurizado para su posterior uso como alimento o ingrediente alimentario, según lo establecido por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (Sugiatno & Susanto, 2021). La tecnificación de las fincas de cacao también es importante para mejorar la gestión de los subproductos y reducir el impacto ambiental (Sugiatno & Susanto, 2021).

En años recientes, se ha observado un incremento en el estudio y aprovechamiento del mucílago de cacao, dando lugar al desarrollo de una variedad de productos que incluyen bebidas, vinos, gelatinas, jaleas y mermeladas. Dada su composición nutritiva y funcional, así como su potencial en la industria alimentaria y de salud, es de suma importancia promover una mayor investigación y difusión sobre este valioso subproducto de la cadena productora de cacao (Andrade & Cuenca-Nevárez, 2021).

### 2.5.1. Factores de producción del mucílago de cacao

El mucílago que envuelve los granos de cacao dentro de las vainas del fruto del cacao (*Theobroma cacao*) se extrae tras la recolección y apertura de las vainas, ya sea de forma manual o mecánica, para separar los granos de cacao de la cáscara del fruto.

Para este propósito, se emplean diversos métodos:

**Centrifugación:** Los residuos generados durante la fermentación de cada variedad de cacao se someten a un proceso de centrifugación a 5200×g durante 10 minutos, lo que facilita la obtención de una alta concentración de compuestos bioactivos en el líquido sobrenadante (Avila et al., 2020).

**Método salino:** Se prepara una solución salina agregando cloruro de sodio al agua destilada, la cual se mezcla con los granos de cacao recién recolectados durante 30 minutos. El líquido sobrenadante filtrado corresponde al mucílago de cacao extraído (Andrade & Cuenca-Nevárez, 2021).

**Separación mecánica:** Los granos de cacao se desprenden del mucílago mediante un separador mecánico equipado con un cilindro giratorio y paletas que barren el cilindro, permitiendo que el mucílago pase a través de la malla sin causar daños a los granos (Andrade & Cuenca-Nevárez, 2021).

La elección del método de extracción influye tanto en la cantidad como en la calidad del mucílago obtenido. Por ejemplo, la actividad antioxidante del mucílago puede variar según el método de extracción utilizado. Asimismo, el mucílago puede ser procesado por separado y reincorporado en etapas posteriores para aprovechar sus propiedades edulcorantes y nutricionales. En resumen, el mucílago se extrae de los granos de cacao recién recolectados mediante métodos como centrifugación, solución salina o separación mecánica, y la selección del método afecta las características del mucílago obtenido (Rojas et al., 2020).

### 2.5.2. Estacionalidad

La estacionalidad en la producción de mucílago de cacao puede influir en la disponibilidad del subproducto y en la planificación de la producción de biocombustibles a partir del mismo. La producción de mucílago puede variar según la temporada y las condiciones climáticas, lo que puede afectar la disponibilidad del

subproducto. Por ejemplo, en Ecuador, el 81% de los agricultores del sector cacaotero no potencializan el desarrollo técnico en la cadena de valor de este producto, presentándose un desperdicio del mucílago de cacao del orden del 72% debido a la falta de innovación agrícola.

En Colombia, la producción de fertilizantes y acondicionadores de suelos se regula mediante resolución 00150 de 2003 del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y la Norma Técnica Colombiana 5167, lo que puede influir en la disponibilidad del mucílago según la temporada y las condiciones climáticas. Además, en México, Ecuador, Venezuela y Perú, el mucílago del cacao se utiliza tradicionalmente en la elaboración de bebidas y alimentos caseros, pero su disponibilidad puede variar según la temporada y las condiciones climáticas (Souza et al., 2020).

## **2.6. Abundancia y disponibilidad del mucílago de cacao**

El mucílago de cacao, a menudo considerado como un subproducto o residuo de la industria del cacao, no recibe el reconocimiento adecuado por las valiosas propiedades que posee. Este material cuenta con una composición física, química, enzimática y nutricional única, que lo distingue de otras materias primas utilizadas en la industria alimentaria. Su versatilidad lo hace adecuado para su aplicación en diversas áreas, como la industria alimentaria, la cosmética, la medicina y la obtención de compuestos bioactivos como los flavonoides. Al considerar estas posibles aplicaciones, el uso del mucílago de cacao podría representar una solución integral a los desafíos ambientales asociados con su gestión como residuo industrial (Sánchez Olaya et al., 2019).

Uno de los desafíos radica en el considerable desperdicio del mucílago de cacao, el cual pierde su potencial mercado tanto a nivel local como regional debido a la escasa investigación para su aprovechamiento eficiente. Además, la falta de financiamiento para tecnologías que permitan su procesamiento y la creación de productos innovadores para el mercado agravan esta situación. Aunque se han llevado a cabo algunos estudios sobre el tema, principalmente orientados a la elaboración de productos para consumo humano, como la fabricación de mermeladas en Suiza, que han tenido una buena recepción en el mercado y han encontrado aplicaciones en la industria farmacéutica y agrícola, hasta el momento no se ha

investigado su potencial como fuente de biocombustible (Makinde et al., 2019).

El desconocimiento de los procesos para utilizar el mucílago de cacao por parte de los agricultores, así como la falta de un mecanismo adecuado para recolectarlo sin impactar negativamente en el ecosistema, subrayan la urgencia de realizar un estudio de viabilidad. Esto permitiría detener el desperdicio de este recurso y explorar su viabilidad como biocombustible (Makinde et al., 2019).

Además, las pérdidas considerables derivadas de recolecciones deficientes debido a la carencia de un método adecuado para recolectar el mucílago de cacao sin dañar el ecosistema directamente representan un problema significativo. La baja productividad entre los productores se atribuye en parte a la aplicación de métodos de tratamiento del producto obsoletos, lo que les impide aprovechar al máximo las nuevas alternativas de producción disponibles. Finalmente, el uso de tecnología obsoleta debido a la falta de financiamiento contribuye a la baja participación de los productores cacaoteros en el mercado competitivo actual (Ombelet et al., 2024).

### **2.6.1. Importancia del Mucílago en la Producción de Cacao**

En el período 2018/19, la producción global de cacao alcanzó aproximadamente 4.834 millones de toneladas, lo que representa un aumento del 3,9% en comparación con 2017/18. Siete países concentran el 85% de la producción mundial de granos de cacao: Costa de Marfil, Ghana, Ecuador, Camerún, Nigeria, Indonesia y Brasil. En contraste, el procesamiento y la industrialización del cacao se llevan a cabo principalmente en regiones no productoras como Europa (37%) y Estados Unidos (8%). Las mayores industrias chocolateras se encuentran en Europa, Estados Unidos y Japón. Sin embargo, producir cacao fuera de estos países es una estrategia para reducir costos y mejorar la apreciación de productos de cacao finos y artesanales en mercados locales. A diferencia de otros países productores, Brasil posee una cadena de producción bien desarrollada que incluye la producción de la fruta, el procesamiento de granos de cacao y la fabricación de chocolate (Santander et al., 2021).

Los problemas económicos globales del año 2020 y el cambio climático afecto profundamente en la producción de cacao en África Occidental, una región que produce aproximadamente el 70% del cacao mundial. Por este motivo se requieren

esfuerzos para superar desafíos como la baja productividad, el cambio climático y la seguridad alimentaria en la producción de cacao, con el objetivo de elevar los estándares de calidad y la diversidad de sabores, respetando el medio ambiente (Guirlanda et al., 2021)

A raíz de la crisis climática en África que afectó a las plantaciones de cacao, Perú fue uno de los países latinoamericanos que aumentó significativamente sus volúmenes de exportación además la adopción de la variedad híbrida de cacao CCN-51 incremento la producción, multiplicándose por seis entre desde el año 1998 al 2018, alcanzando un rendimiento de 800 kg/ha. Además, se obtiene 0,59 kg de miel de cacao (exudado) por cada kilogramo de frijoles secos. Para reducir el impacto ambiental asociado al desecho de este subproducto, muchos productores desarrollaron una bebida combinando miel de cacao y suero de leche, otro subproducto poco utilizado. El margen de utilidad estimado para la comercialización de esta bebida experimental fue de más del 40% (Almeida et al., 2020).

En el vecino país de Colombia, se están implementando diversas prácticas y estrategias dirigidas a mejorar la calidad y tecnología para aumentar la productividad de la industria cacaotera, lo que incluye cambios en el proceso de fermentación para asegurar un adecuado drenaje del mucílago de cacao. A pesar de que Colombia enfrenta desafíos para mejorar la clasificación del cacao producido en el país y acrecentar su participación en el mercado, cuenta con condiciones ambientales que favorecen la producción de cacao premium, siendo aproximadamente el 95% de su producción de cacao de sabor fino. La calidad del cacao de sabor fino está estrechamente relacionada con diversos factores, siendo las condiciones de fermentación uno de los aspectos cruciales. Estas condiciones son fundamentales para mantener las características sensoriales distintivas del chocolate y diferenciar el cacao de sabor fino del cacao a granel (Carr & Lykkesfeldt, 2021).

Los nuevos desarrollos en el proceso de fermentación del cacao en Ecuador han logrado reducir el tiempo de producción y mejorar la calidad del aroma. Además, estas innovaciones no requieren una gran cantidad de mucílago para iniciar la fermentación, lo que provoca un aumento en la eliminación de este subproducto. El empleo artesanal de la miel de cacao (mucílago de cacao) ha sido acogido por un

grupo reducido como un método para aumentar los ingresos de los productores de tamaño mediano. Ecuador se encuentra en proceso de adoptar los estándares ISO 34101 para la producción de cacao sostenible como una estrategia de diferenciación (Santander et al., 2021).

A pesar de haber adoptado nuevas estrategias para el aprovechamiento del mucilago del cacao la realidad es que aún existen altos índices de desperdicio del subproducto, principalmente en nuestro país que aún no establece políticas para el manejo y aprovechamiento de esta materia prima (Atuonwu et al., 2020).

### **2.6.2. Métodos de Recolección del Mucílago de Cacao**

Las vainas de cacao contienen semillas (frijoles) envueltas en una pulpa blanca mucilaginoso y una cáscara gruesa. Después de la cosecha, las vainas se abren o rompen en el campo y los frijoles se extraen junto con la pulpa.

Durante este procedimiento se genera una masa voluminosa de semillas de cacao y, de manera espontánea, comienza un proceso de fermentación en el campo. El proceso de fermentación continúa en los canales y es esencial para eliminar la pulpa mucilaginoso y conseguir el aroma y sabor del chocolate. Diversos microorganismos desempeñan un papel clave en la hidrólisis y solubilización del mucílago de la pulpa del cacao. Las enzimas pectinolíticas, que actúan al inicio de la fermentación, degradan la pectina, reduciendo así la viscosidad de la masa de cacao, facilitando la incorporación de oxígeno y estimulando el crecimiento de bacterias acéticas que continúan el proceso de fermentación (Quimbita et al., 2013).

Recientemente se ha publicado un análisis metagenómico de la fermentación espontánea clásica del cacao. Después de la fermentación, los granos de cacao se secan, tuestan, muelen y se eliminan las cáscaras. Posteriormente, las pepitas de cacao resultantes, la manteca y los frijoles se utilizan en la producción de chocolate y confitería (Han et al., 2020).

Desde el momento posterior a la cosecha hasta la producción de frijoles secos, los productores de cacao generan considerables cantidades de desechos agroindustriales como cáscara, pulpa y la cáscara que envuelve la semilla. Estos residuos, se drena un jugo agrídulce debido a la acción enzimática sobre la pectina, que licua la pulpa. La producción de este subproducto comienza cuando se rompen

las vainas en el campo, continúa durante el transporte al sitio de fermentación y se drena principalmente durante la fermentación de la pasta de cacao. Tradicionalmente, el proceso se realiza con prensas de madera, aunque en algunas fincas ya se utilizan equipos de acero, lo que reduce la contaminación por microorganismos y aumenta el volumen de jugo obtenido sin afectar la calidad y características del subproducto (Quimbita et al., 2013).

### **2.6.3. Aplicaciones Tradicionales y Modernas del Mucílago de Cacao**

El autor, realizó un proyecto de aplicación mucilago de cacao para que sea una fuente de azúcares para la fermentación y obtener una bebida, este subproducto es una excelente para procesos de fermentación, gracias a su alto contenido de azúcares, levaduras y minerales. En este proyecto, se utilizó el mucílago como base para crear una bebida fermentada, sustituyendo el azúcar común (Solórzano et al., 2019).

Esta iniciativa busca mostrar un uso alternativo para este subproducto del cacao, que a menudo se considera un desecho, añadiéndole valor y ampliando su utilidad. El objetivo principal de la investigación fue probar la efectividad del mucílago de cacao en concentraciones de 15%, 20% y 30% como fuente de azúcares en el proceso de fermentación del scoby (Cultivo Simbiótico de Bacterias y Levaduras), para producir una bebida fermentada con té negro y verde. Se implementó un diseño estadístico AxB para comparar los promedios de los diferentes tratamientos, usando herramientas estadísticas como INFOSAT para los análisis de varianza y STATGRAPHICS para hacer una comparativa de los promedios comparar mediante la estrategia de significación de TUKEY (Solórzano et al., 2019).

En el proyecto los autores realizaron análisis físicos y químicos de la bebida fermentada, así como análisis microbiológicos para detectar microorganismos. Los resultados indicaron la ausencia de microorganismos, cumpliendo con las normativas establecidas. Entre los tratamientos estudiados, el que presentó las mejores características tanto en los análisis como en la aceptabilidad medida por una cata fue el tratamiento con 20% de concentración y té negro. Concluyendo que el resultado de la fermentación del mucílago de cacao es una alternativa viable para reemplazar el azúcar en especial en té, por lo que los autores recomiendan utilizarlos en bebidas

con una densidad similar (García Navarrete, 2022).

El mucílago como subproducto de la mazorca de cacao es utilizado para ciertas especies de malezas y posee un alto poder de degradación, lo que supone una gran ventaja ya que reduce la posibilidad de residuos en los alimentos, el suelo y los ecosistemas, el uso de esta materia prima en un programa de vigilancia y control de malezas en cacao tiene dos ventajas: a corto plazo, su efecto supresor reduce los ciclos de aplicación de herbicidas, el otro beneficio es a largo plazo, ya que reduce algunas especies de malezas en floración, como como *Rottboelia cochinchinensis* (T. Mendoza & Carolina, 2011).

La información se obtuvo mediante métodos de análisis, síntesis y resumen para brindar al lector una comprensión del uso del mucílago de cacao para el control de malezas en plantaciones comerciales de cacao (*Theobroma cacao* L.). Teniendo en cuenta los detalles anteriores, se comprobó que el mucílago de cacao puede utilizarse como agente de control para afectar la síntesis de proteínas en las malezas y cambiar su estructura, ya que tiene un efecto inhibitor preferencial sobre ciertas actividades enzimáticas en el metabolismo de las plantas. El efecto inhibitor se basa en su composición: alcaloides, taninos, flavonoides y esteroides. El mucílago del cacao tiene cambios controlados y actúa rápidamente, pero su manejo requiere persistencia y estudios de eficacia más maduros (García Navarrete, 2022).

El mucílago del cacao se descompone rápidamente, lo cual es beneficioso porque reduce la probabilidad de que queden residuos en los alimentos, el suelo y los ecosistemas porque tiene una movilidad única y es biodegradable. El mucílago del cacao experimenta cambios controlados y se descompone rápidamente, lo cual es beneficioso ya que reduce la posibilidad de dejar residuos en los alimentos, el suelo y los ecosistemas. Su gestión requiere constancia y estudios de eficacia más avanzados (T. Mendoza & Carolina, 2011).

#### **2.6.4. Impacto Ambiental de la Recolección del Mucílago de Cacao**

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo de gran importancia a nivel mundial debido a sus diversas aplicaciones en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica. Aunque el cacao es originario de Centro y Sudamérica, la mayor producción se concentra en regiones tropicales de África, Asia y América del Sur.

Desde el año 2017, la producción mundial de mazorcas de cacao se calculó en alrededor 4,2 millones de toneladas. Los desechos industriales del cacao, que incluyen la cáscara de vaina de cacao (CPH), el mucílago (CM) y la cáscara de frijol (CBS), representan aproximadamente el 85% de la producción mundial de cacao (Mendoza-Meneses et al., 2021).

Para la industria cacaotera, estos residuos son un desafío significativo, ya que resultan en pérdidas económicas y contaminación ambiental. La mazorca de cacao es una rica fuente de compuestos químicos, siendo los frijoles (la materia prima principal) la fuente con mayor contenido de grasas, compuestos fenólicos y alcaloides como la teobromina y la cafeína. Cuando estos residuos se desechan sin tratamiento, conservan diversos compuestos que pueden ser aprovechados para la obtención de otros productos mediante el esquema de procesamiento de la biorrefinería (Duan et al., 2020).

Los residuos de la producción de cacao tienen alto contenidos de lignocelulosa, que puede ser utilizada para la producción de biocombustibles; sin embargo, se requiere un pretratamiento para degradar la estructura y los compuestos fermentables que pueden ser utilizados en mayor proporción. Existen diferentes tipos de pretratamientos, como químicos, físicos, biológicos y fisicoquímicos, y la elección del pretratamiento depende del tipo de biomasa y de los aspectos técnicos y económicos de la producción de biocombustible (Gontard et al., 2018).

Con la finalidad de reducir la generación de residuos en la agroindustria, la economía circular busca alternativas para transformar estos subproductos en fuentes de compuestos bioactivos o para la generación de otros productos, como ingredientes para alimentos, piensos para el ganado, o como fuente para el desarrollo de productos bioquímicos, biomateriales y biocombustibles (Duan et al., 2020).

## **2.7. Producción de Biocombustibles**

### **2.7.1. Contexto general de la producción de etanol**

Los combustibles fósiles, como el petróleo, el carbón y el gas natural, se han convertido en las principales fuentes de energía en la era actual. Sin embargo, se estima que estas fuentes se agotarán en las próximas cuatro a cinco décadas. Los

daños ambientales causados por su uso, como el calentamiento global, la lluvia ácida y el smog urbano han llevado a la humanidad a buscar nuevas formas de aprovechar las energías renovables, como la solar, eólica y los biocombustibles, que son menos perjudiciales para el medio ambiente y más sostenibles. Aunque su expansión ha sido limitada debido a los altos requisitos tecnológicos y costos elevados, la energía nuclear también ha sido motivo de controversia y está siendo reemplazada en muchos países debido a sus riesgos. Este escenario, junto con los riesgos geopolíticos relacionados con el mercado energético, ha impulsado el desarrollo e investigación de nuevas fuentes de energía (Valencia Castillo & Veléz Durán, 2020).

La fermentación es un proceso bioquímico complejo en el cual las levaduras metabolizan azúcares y otros componentes, utilizándolos como sustratos para su crecimiento y transformándolos en etanol. Esta fase es esencial en el procesamiento del cacao, ya que, durante la fermentación, la microflora ayuda a eliminar la pulpa mucilaginosa que rodea los granos, desechando el jugo exudado. Se ha encontrado que ciertos hongos y levaduras, conocidos como no *Saccharomyces*, también pueden producir etanol (Guzmán Salazar et al., 2023). En la actualidad, se buscan nuevos sustratos alternativos para la producción de etanol. Aunque la producción de etanol comenzó con la fabricación de bebidas alcohólicas, hoy en día la fermentación alcohólica se utiliza en varios países para generar etanol destinado a diferentes procesos químicos (Rojas et al., 2020).

### **2.7.2. Importancia del Etanol como biocombustible**

Al ser un biocombustible que se obtiene a partir de la fermentación de plantas ricas en celulosa, el objetivo es que se utilice residuos agrícolas, en la actualidad Brasil y Estados Unidos son los países líderes en la producción de este biocombustible, en Europa el país que más consume y exporta este combustible es Francia, aunque para algunos este proceso puede ser novedoso, existen registros de su utilización en el siglo XIX (Azarpazhooh et al., 2021).

Para generar electricidad, se utiliza una caldera de bioetanol en la que se quema este combustible, produciendo vapor de agua que hace girar una turbina y así se produce energía. En el ámbito del transporte, el bioetanol se utiliza de manera similar a la gasolina o al diésel, mezclándose en ciertos porcentajes con combustibles

fósiles tradicionales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, o bien se emplea exclusivamente en motores adaptados, como los de los vehículos de combustible flexible. También es muy útil para calefacción, siendo empleado en chimeneas y estufas de bioetanol (Valencia Castillo & Veléz Durán, 2020).

La Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos, clasifica al combustible en tres tipos según la materia prima utilizada para su producción:

### **Bioetanol de primera generación**

Derivado de plantas cultivadas específicamente para su producción.

### **Bioetanol avanzado**

Obtenido a partir de residuos agrícolas o urbanos, especialmente de la descomposición de biomasa proveniente de madera. Este tipo de bioetanol también puede obtenerse de especies vegetales no destinadas a la alimentación, como las algas. Actualmente, se encuentra en fase de investigación y desarrollo y no se comercializa aún (Alarcón Herrera, 2023).

La utilización de este biocombustible tiene ventajas por sobre otros, la principal es la reducción de las emisiones de Dióxido de Carbono, aunque al entrar en estado de combustión produce dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), este proviene del CO<sub>2</sub> que la planta absorbía durante su etapa de crecimiento, además, la cantidad generada es considerablemente inferior a la producida por los combustibles fósiles. Esta diferencia varía entre un 19% procedente de los residuos cultivo de maíz y un 86% corresponde a residuos de biomasa (Alarcón Herrera, 2023).

La combustión del bioetanol no produce olores ni residuos, y el CO<sub>2</sub> producido puede capturarse y emplearse en diversas aplicaciones industriales, como la carbonatación de bebidas o la congelación. Por ejemplo, su uso puede contribuir a disminuir la cantidad de residuos generados en áreas urbanas. El crecimiento en la demanda de este biocombustible abre nuevas posibilidades de empleo. Además de requerir mano de obra en las instalaciones de producción de bioetanol, se generan empleos en el sector agrícola para proporcionar las materias primas y en otros sectores relacionados (REPSOL, s. f.).

### **2.8.3. Comparación con otros biocombustibles**

Actualmente se están explorando nuevas alternativas ante las nuevas

necesidades ambientales y sobre por la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, Los biocombustibles, como el biodiésel y el bioetanol, son dos de las principales opciones de combustibles derivados de plantas. En la actualidad, estos biocombustibles representan una excelente opción para promover la sostenibilidad, especialmente en el ámbito del transporte eléctrico. A inicios del siglo XVI, los colonos portugueses establecieron los cimientos del lucrativo comercio global de la caña de azúcar en la Capitanía de San Vicente, al sur de Brasil. En aquel entonces, poco podían imaginar que esta valiosa planta de origen africano se convertiría en el combustible de los vehículos del mañana. En la actualidad, aproximadamente el 80% de los automóviles y motocicletas en el país sudamericano son propulsados por etanol, un combustible obtenido mediante la fermentación de la caña de azúcar (Avila et al., 2020)..

Las diferencias entre el biodiésel y el bioetanol radican en sus procesos de producción y materias primas utilizadas. Mientras que el biodiésel se obtiene a partir de aceites y grasas vegetales mediante una reacción química que reduce su viscosidad, el bioetanol es derivado de la fermentación, utilizando principalmente caña de azúcar en Brasil y maíz en Estados Unidos (Avila et al., 2020)..

El biodiésel se produce a partir de aceites baratos como los de palma, soja o colza, mientras que el bioetanol se obtiene a través de levaduras que fermentan la materia prima vegetal para generar etanol, que luego se purifica para su uso como combustible. (Avila et al., 2020).

## **CAPÍTULO III: Diseño metodológico**

### **3.1 Tipo y diseño de investigación**

El estudio adoptará un enfoque descriptivo y aplicado, para evaluar la viabilidad de producir etanol a partir del mucílago de cacao.

La investigación descriptiva puede abordarse ya sea desde un enfoque cuantitativo o cualitativo; sin embargo, en este texto nos concentraremos en el enfoque cualitativo (Sánchez et al., 2021). Bajo esta perspectiva, nuestro enfoque se dirige hacia la detallada descripción del uso del mucílago del Cacao, para ello se analizarán situaciones particulares, artículos, proyectos del alto impacto en un

contexto determinado. Según (Llerena et al., 2019) "El propósito de la investigación descriptiva es entender las situaciones, prácticas y actitudes predominantes mediante la descripción precisa de las actividades, objetos y procesos "

La elección del tipo de investigación determina el rumbo del estudio y sirve como guía para el investigador, definiendo las técnicas y métodos a emplear. La investigación descriptiva se realiza cuando se busca describir, en detalle, todos los componentes principales de una realidad específica. Por otro lado, la investigación busca establecer relaciones causales, no se limita a describir o acercarse a un problema, sino que también intenta identificar sus causas (León-Serrano et al., 2020).

Este estudio pretende investigar las tendencias actuales en el uso de biocombustible a base de mucilago vegetal. Cada uno de estos paradigmas implica una visión ontológica, epistemológica, metodológica y ética que orienta al investigador en cómo abordar su objeto de estudio, la realidad. Esto incluye la forma en que se relaciona con el conocimiento, cómo comprende esa realidad y cómo presenta los hallazgos de su investigación (Gómez-Luna et al., 2014).

En cuanto a la metodología específica de esta investigación sobre producción de etanol a partir de mucilago de cacao, se utilizó un enfoque descriptivo con metodología documental (Ramos Galarza, 2020). Esto implica revisar fuentes disponibles en línea, como revistas científicas accesibles y que sean pertinentes para el tema tratado y proporcionen contenido actual y relevante desde el punto de vista científico. Estas fuentes pueden consultarse al final del artículo, en la bibliografía (Gómez-Luna et al., 2014).

### **3.3.1 Alcance**

Incluye estudios y publicaciones de alto impacto desde el año 2010 hasta la actualidad

### **3.3.2. Búsqueda de literatura**

Las fuentes de información utilizadas son de base de datos académicos y científicos, como es el caso de:

#### **Scopus**

Scopus es una de las principales bases de datos de resúmenes y citas de

literatura científica revisada por pares. Cubre una amplia variedad de disciplinas, incluyendo ciencias físicas, ingeniería, ciencias de la vida, ciencias sociales y artes y humanidades (Moed et al., 2013). Ofrece herramientas de análisis para evaluar el impacto de las investigaciones y revistas, siendo esencial para investigadores que desean identificar tendencias científicas y evaluar el desempeño de instituciones y autores (Moncada-Hernández, 2014).

### **Google Scholar**

Es un motor de búsqueda gratuito que indexa literatura académica de diversas disciplinas y fuentes. Facilita el acceso a artículos de revistas, tesis, libros, resúmenes y opiniones de tribunales. Es conocido por su accesibilidad y facilidad de uso, permitiendo a los usuarios rastrear citas, explorar áreas de investigación y encontrar fuentes relevantes en sus campos sin necesidad de suscripciones pagadas (Moncada-Hernández, 2014).

### **PubMed**

Es una base de datos gratuita centrada en biomedicina y salud, administrada por la Biblioteca Nacional de Medicina de los Estados Unidos (Rozemblum et al., 2015). Incluye referencias y resúmenes de artículos de investigación, revistas y otros recursos en biomedicina. Es especialmente útil para profesionales de la salud, investigadores biomédicos y estudiantes que buscan información precisa y actualizada en medicina y ciencias relacionadas (Moncada-Hernández, 2014).

### **ScienceDirect**

Es una plataforma de acceso a una vasta colección de publicaciones científicas y técnicas administrada por Elsevier (Romero-Torres et al., 2013). Proporciona acceso a artículos de revistas revisadas por pares, capítulos de libros y trabajos de conferencias en disciplinas como ciencias físicas, ingeniería, ciencias de la vida, ciencias de la salud y ciencias sociales (Ramírez et al., 2014). Es una fuente esencial para investigadores y profesionales que buscan información detallada y basada en evidencia (Moncada-Hernández, 2014).

### **SciELO**

SciELO (Scientific Electronic Library Online) es una biblioteca electrónica que abarca una colección seleccionada de revistas científicas de América Latina y el

Caribe, España y Portugal (Chávez Sánchez, 2022). Su objetivo es aumentar la visibilidad, el acceso y la calidad de la literatura científica producida en estas regiones. SciELO se enfoca en la publicación de investigaciones en acceso abierto, promoviendo la difusión del conocimiento en diversas áreas científicas y técnicas (Alarcón Herrera, 2023)..

### **3.2 Análisis de la información.**

La información recopilada se analizará en diferentes etapas: recolección de datos a través de análisis de documentos; luego se transcripción de los datos orales a texto; lectura detallada para identificar patrones; codificación abierta, axial y selectiva de los datos; desarrollo de temas y categorías; interpretación de los hallazgos en relación con el marco teórico; triangulación para validar los resultados; redacción del informe con evidencias claras; y revisión final con retroalimentación. (Oller Alonso et al., 2012). Este proceso iterativo y reflexivo busca extraer datos complejos y contextuales de la información recolectada (Zambrano et al., 2024).

### **3.3. Triangulación de datos**

En el siguiente estudio de investigación, hay que destacar la importancia de la triangulación en la investigación, basándonos en el Análisis Descriptivo de la Producción de Etanol a partir del Mucílago de Cacao (*Theobroma cacao*) mediante el Proceso de Fermentación Alcohólica. La triangulación es una técnica de investigación para la confrontación y comparación de distintos tipos de análisis de datos, que puede ayudar a validar un estudio y fortalecer sus conclusiones, la triangulación requiere conocimiento, tiempo y recursos para implementarse, en este caso los recursos utilizados será el material bibliográfico recolectado de las herramientas de búsqueda científica descritos anteriormente, se requiere además de una gran agudeza para interpretar los resultados, que pueden ser variados y a veces contradictorios (Torres-Salinas et al., 2010). Existen diversas formas de triangulación de datos (Aguilar Gavira & Barroso Osuna, 2015).

**Triangulación de datos:** Consiste en usar diferentes estrategias y fuentes de información para contrastar los datos recolectados. Las fuentes citadas pueden ser:

**Temporales:** Datos recolectados en distintos momentos para comprobar la consistencia de los resultados.

**Espacial:** Datos recogidos en diferentes lugares para verificar coincidencias.

Personal: Diferentes muestras de sujetos.

**Triangulación de investigadores:** Involucra a varios observadores en el campo de investigación para mejorar la calidad y validez de los datos, eliminando el sesgo de un único investigador (Aguilar Gavira & Barroso Osuna, 2015)..

**Triangulación teórica:** Utiliza distintas teorías y definiciones para proporcionar una interpretación más completa y comprensiva del objeto de estudio, incluso si estas teorías son antagónicas. Este tipo es menos común debido a las críticas sobre las diferentes epistemologías (Aguilar Gavira & Barroso Osuna, 2015)..

**Triangulación metodológica:** Aplica diversos métodos en la misma investigación para contrastar resultados, analizando coincidencias y diferencias. Dentro de esta categoría, se distingue entre:

**Triangulación intramétodo:** Uso de un único método de investigación repetido en diferentes momentos, con distintas técnicas de recolección y análisis de datos.

**Triangulación entre métodos:** Combinación de métodos cualitativos y cuantitativos para medir una misma unidad de análisis, aprovechando las fortalezas y mitigando las debilidades de cada método (Aguilar Gavira & Barroso Osuna, 2015)..

**Triangulación múltiple:** Combina dos o más tipos de triangulación, como la metodológica, teórica, de datos y de observadores, usando más de un nivel de análisis.

De los diferentes tipos de triangulación presentados, para la investigación se optó por utilizar la triangulación de datos y la triangulación metodológica entre métodos en nuestro estudio. Mediante la triangulación de datos, analizaremos información proveniente de diversas fuentes (Aguilar Gavira & Barroso Osuna, 2015).

## **CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados**

### **4.1 Análisis de los resultados**

Para cumplir con el objetivo general de la investigación que pretende explorar el potencial del mucílago de cacao y resaltar la importancia de su aprovechamiento integral en diversos sectores de la salud, biotecnología e industrial.

Para evaluar el potencial de esta materia prima que es un subproducto de la cosecha del cacao, se realizó una revisión bibliográfica de diferentes fuentes de información científica, se revisaron estudios desde el año 2010 con la finalidad de obtener fuentes de información confiables y contundentes que ayuden a identificar las potencialidades del mucilago de cacao en la producción de biocombustible (Aldana et al., 2023).

### **4.2 Interpretación de los resultados**

**Artículo de revista:** Uso del mucílago de cacao como fuente alternativa de azúcares en la fermentación

A lo largo de la revisión bibliográfica se identificaron potenciales usos del mucilago de cacao no solo para la producción de biocombustible, sino también como un producto que se utiliza en diferentes industrias como lo sostienen los autores (García Navarrete, 2022). Dirigieron una investigación enfocada en explorar el uso del mucílago de cacao como fuente alternativa de azúcares en la fermentación, el estudio se llevó a cabo en la provincia de Manabí, Ecuador implementaron un diseño estadístico AxB para comparar concentraciones de mucílago (15%, 20% y 30%), utilizando herramientas como INFOSTAT y STATGRAPHICS para análisis de varianza y comparación de promedios, concluyendo que el uso del mucílago de cacao es una alternativa viable para sustituir el azúcar en bebidas con densidad similar (García Navarrete, 2022).

**Proyecto:** Uso del mucilago de cacao en el control de malezas

Las autoras (Mendoza & Carolina, 2011), realizaron un estudio para evaluar el efecto del mucilago de cacao en el control de malezas y composición de suelo, el estudio se llevo a cabo en una bio Selva del Departamento de Junín en la provincia de Satipo Perú

El mucílago de cacao representa una oportunidad valiosa para impulsar prácticas más sostenibles y rentables en una variedad de industrias. La aplicación de estas recomendaciones tiene el potencial de optimizar su uso, fomentando así una economía circular y contribuyendo al desarrollo sostenible. Para lograr esta transformación, es fundamental promover la colaboración entre el sector público y privado, respaldada por una sólida inversión en investigación y desarrollo. De esta manera, el mucílago de cacao puede convertirse en un recurso valioso y ampliamente aprovechado (Escobar Auqui, 2023).

El cultivo de cacao solo aprovecha económicamente la semilla, que representa un 10 % del peso del fruto fresco, dentro del proceso de beneficio de cacao se generan residuos como el mucílago, los cuales no es reutilizado por los agricultores. Existe la necesidad de encontrar un insumo que controle a las malezas y que no afecte al medio ambiente como lo hacen los herbicidas químicos. Por los motivos mencionados se planteó el siguiente problema: ¿Existe influencia del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el control de malezas y la composición del suelo en el fundo Bio Selva - Satipo? La hipótesis propuesta fue; “si existe efecto del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el control de las malezas y en la composición del suelo en el fundo Bio Selva - Satipo”. El estudio fue tipo experimental, se utilizó el diseño bloques completamente aleatorizados (DBCA), 3 tratamientos y 3 repeticiones.

Los resultados fueron: el mucílago de cacao controla las malezas en un 61,59 %, y el mucílago de cacao más cloruro de sodio (al 24 % de sodio) controla las malezas en un 76,84 %, las malezas incontroladas pertenecen a la familia de las Poaceae: *Echinochloa colona*; *arrocillo*, *Paspalum conjugatum*; *horquetilla*, *Eleusine indica*; *pata de gallina*, *Digitalis sanguinalis*; *pendejuelo*, *Rottboellia conchinchinensis*; *caminadora* (Zhunio Rodríguez, 2020). El mucílago de cacao no influye en las propiedades químicas del suelo (Hipólito-Romero et al., 2017).

Con respecto a los microorganismos en el suelo se encontró en el tratamiento testigo una actividad microbiana que libera 9,42 ml/g de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), en el área que se aplicó mucílago de cacao más cloruro de sodio, la actividad de los microorganismos libera 7,87 ml/g de CO<sub>2</sub>, a comparación del tratamiento de mucílago de cacao que libera 6,55 ml/g de CO<sub>2</sub>, esto nos indica que hay efecto negativo del

mucílago de cacao en la actividad de los microorganismos presentes en el suelo (Caldeira et al., 2020). Por lo que se rechaza la hipótesis “si existe efecto del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el control de malezas y en la composición del suelo en el fundo Bio selva – Satipo.” Y se concluye que “si existe efecto del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el control de malezas y en la actividad microbiana del suelo en el fundo Bio selva – Satipo (Cobena Cedeño, 2017).

El cultivo de cacao generalmente solo aprovecha económicamente la semilla, la cual constituye aproximadamente el 10% del peso total del fruto fresco. En el proceso de beneficiado del cacao se generan subproductos como el mucílago, que los agricultores no reutilizan (Arreaga Chevez, 2020). Existe una necesidad de encontrar un material que pueda controlar las malezas sin los impactos negativos que tienen los herbicidas químicos sobre el medio ambiente. En este contexto, las autoras plantearon esta interrogante: ¿Influye el mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el control de malezas y en la composición del suelo en el fundo Bio Selva - Satipo? La pregunta fue para determinar si el mucílago de cacao tiene un efecto significativo en el control de malezas y en la composición del suelo en el fundo Bio Selva - Satipo. Este estudio de tipo experimental empleó un diseño de bloques completamente aleatorizados, con 3 tratamientos y 3 repeticiones cada uno. Los resultados indicaron que el mucílago de cacao por sí solo controla las malezas hasta en un 61.59%, mientras que una mezcla de mucílago de cacao con cloruro de sodio (al 24% de sodio) incrementa el control de malezas hasta un 76.84% (A. M. M. Mendoza et al., 2022).

Las malezas controladas pertenecen a la familia Poaceae, incluyendo especies como *Echinochloa colona* (arrocillo), *Paspalum conjugatum* (horquetilla), *Eleusine indica* (pata de gallina), *Digitaria sanguinalis* (pendejuelo), y *Rottboellia conchinchinensis* (caminadora).

Sin embargo, el mucílago de cacao no mostró influencia en las propiedades químicas del suelo (Macías & Antonio, 2022). En cuanto a la actividad microbiana del suelo, se observó que en el tratamiento de control la actividad microbiana liberaba 9.42 ml/g de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), mientras que, en el área tratada con mucílago de cacao y cloruro de sodio, la liberación de CO<sub>2</sub> fue de 7.87 ml/g, y en el tratamiento con solo mucílago de cacao fue de 6.55 ml/g de CO<sub>2</sub>. Esto sugiere un efecto negativo

del mucílago de cacao en la actividad microbiana del suelo (García Navarrete, 2022).

En conclusión, la hipótesis inicial, que planteaba que el mucílago de cacao tiene un efecto tanto en el control de malezas como en la composición del suelo, fue rechazada (Lozano Moreno, 2020). En su lugar, se concluyó que el mucílago de cacao efectivamente tiene un impacto en el control de malezas y en la actividad microbiana del suelo en el fundo Bio Selva – Satipo (Mendoza Tenorio, 2024).

El mucílago de la mazorca de cacao, un subproducto con alto poder de degradación se utiliza eficazmente en programas de control de malezas en cultivos de cacao. Este enfoque no solo reduce la necesidad de herbicidas a corto plazo, sino que también contribuye a la supresión a largo plazo de especies problemáticas como la *Rottboelia cochinchinensis* (Mendoza & Carolina, 2011).

**Proyecto:** Producción de etanol a partir de mucilago de cacao como complemento aditivo de combustibles.

Por su parte el autor (Delgado Noboa et al., 2023), realizó un trabajo de investigación experimental para demostrar que el mucílago de cacao, un subproducto de la industria cacaotera, tiene un alto potencial como materia prima para la producción de etanol con la pureza requerida para su uso como complemento aditivo de combustible (Plasencia-Verde et al., 2021).

Este subproducto contiene concentraciones adecuadas de azúcares y nutrientes esenciales para la fermentación, para el estudio se eligió el clon CCN-51 debido a su alta disponibilidad y producción en Ecuador (Delgado Noboa et al., 2023).

Para alcanzar los objetivos de la investigación, se comenzó por caracterizar las muestras y desarrollar un modelo de la cinética de fermentación. Posteriormente, se realizó un plan de muestreo que se aplicó en una serie de experimentos para determinar las propiedades físicas y químicas óptimas del mucílago, asegurando el funcionamiento eficiente del biorreactor (Pérez Pisco & López Gonzales, 2019). Los resultados mostraron que el mucílago contiene suficientes nutrientes para que produzca la reacción de fermentación, que puede llevarse a cabo en un biorreactor agitado (Delgado Noboa et al., 2023).

Estos datos se integraron en modelos dinámicos empíricos (Logística Integrada, modificada por Gompertz y Andrews y Levenspiel) que mostraron una

buena concordancia con los datos experimentales, permitiendo la predicción y control del sistema de fermentación del mucílago de cacao CCN-51. La fermentación del mucílago se purificó para separar el contenido de etanol, utilizando procesos seleccionados de destilación simple con reflujo, destilación extractiva y adsorción con zeolita, logrando así la concentración de etanol deseada (Zhang et al., 2015).

Los parámetros cinéticos que se obtuvieron mediante los modelos de Andrews y Levenspiel se emplearon para crear una instalación de fermentación de mucílago de cacao personalizada utilizando Aspen Custom Modeler (ACM), que mostró una buena concordancia con los datos surgidos de la experimentación (Acorsi et al., 2022).

Finalmente, el proceso de producción de etanol se simuló exitosamente con el software Aspen Plus®, que incluye los procesos de fermentación, destilación y deshidratación. Se instalaron dos reactores: el primero configurado para un proceso de inversión térmica seguido de la fermentación de sacarosa, y el segundo para la fermentación alcohólica (Plasencia-Verde et al., 2021). Con Aspen Plus®, se diseñó una columna de destilación utilizando el modelo DSTWU y se equipó con modelos rigurosos RadFrac para simular el proceso de extracción y deshidratación de alcohol. La deshidratación se llevó a cabo mediante un sistema de recuperación y reciclaje de glicerina utilizado como extractante, y se simuló el proceso de adsorción por tamiz molecular de zeolita tipo 3A con Aspen Adsorb®, obteniendo etanol anhidro adecuado para su uso como aditivo de gasolina en Ecuador (Ariyajaroenwong et al., 2016).

**Proyecto:** Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de producción de destilado a base de mucilago de cacao.

Dentro del mercado de bebidas alcohólicas en nuestro país existe una gran variedad, la búsqueda constante de productos innovadores por parte de consumidores preocupados por aspectos ambientales y el desarrollo económico de regiones desatendidas por el gobierno demuestra que la producción de destilado de mucílago de cacao posee oportunidades significativas. Esta afirmación se sustenta en los resultados de encuestas realizadas a potenciales consumidores finales (Acosta Rimachi & Rios Canani, 2021).

La investigación ha demostrado la viabilidad tecnológica y de mercado para la

producción de destilado de mucílago de cacao, respaldada por la disponibilidad de tecnología adecuada y una demanda creciente. Según el estudio técnico, se estima que se necesitaría un terreno de 736 m<sup>2</sup> para la instalación de la planta, y se destaca la importancia de optimizar la distribución para mejorar el flujo de materiales (Acosta Rimachi & Rios Canani, 2021).

Económicamente, la implementación de una planta productora de destilado de mucílago de cacao es viable, como se ha demostrado en la evaluación financiera y económica que arrojó resultados positivos en el valor actual neto, la tasa interna de retorno y la relación beneficio-costos, asegurando beneficios para los inversionistas. La financiación del proyecto a través de un préstamo bancario ha mostrado ser más favorable. Además, se espera recuperar la inversión en menos de cinco años (Acosta Rimachi & Rios Canani, 2021)..

No obstante, la investigación es sensible a variaciones en el precio de venta o en la demanda del destilado de mucílago de cacao. Los resultados del análisis de sensibilidad revelaron que una disminución del 12% en cualquiera de estos factores puede afectar significativamente el valor actual neto y la tasa interna de retorno del proyecto, volviéndolo no rentable si el VAN se vuelve negativo o si la TIR cae por debajo del costo de capital (Espín Silva & Pilataxi Chevez, 2022). Socialmente, la investigación también demuestra su viabilidad al generar empleos, utilizar un subproducto como el mucílago de cacao, que actualmente no se aprovecha en nuestro país, y contribuir al medio ambiente al reducir la producción de residuos (Muñoz Simi & Ordoñez Miranda, 2022).

**Proyecto:** Producción de bioetanol a partir de la baba de cacao (*theobroma cacao*) y agua de coco (cocos nucíferas) con fines de mitigación ambiental

Los autores Castillo Cárdenas y Huillca Córdova (2020) desarrollaron un proyecto para el aprovechamiento del mucílago de cacao y agua de coco para la producción de bioetanol el proyecto se llevó a cabo en la Universidad Peruana Unión de Lima, subrayan que la crisis energética mundial actual está directamente relacionada con la reducción de combustibles fósiles debido a la intensa explotación, lo cual ha llevado a un aumento significativo en el precio del petróleo y a la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, principales causantes

del calentamiento global. En este escenario, las alternativas energéticas recientes han favorecido el uso de materias primas naturales, resultando en la producción de biocombustibles, que son más limpios y menos contaminantes que los combustibles fósiles (Laguna Muñoz, 2022).

El objetivo de su estudio fue producir bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de los residuos de la baba de cacao (*Theobroma cacao*) y el agua de coco (*Cocos nucifera*). Para ello, aislaron la levadura *Saccharomyces cerevisiae* de la chicha de jora utilizando agar Sabouraud, obteniendo así el caldo Sabouraud. Posteriormente, se recolectaron los sustratos y se midió la concentración inicial de azúcar con un brixómetro (Núñez Molina & Flórez, 2018).

Luego, se añadió una tercera parte del caldo Sabouraud a los sustratos para acelerar la fermentación alcohólica. Después de 24 horas, se empleó el método de la probeta invertida para medir la cantidad de CO<sub>2</sub>, indicador directo de la producción de bioetanol, determinando cuál de los dos sustratos ofrecía un mayor rendimiento (Vera-Loor et al., 2020). La concentración inicial de azúcar, medida con un brixómetro, fue de 15 Brix para la baba de cacao y 6 Brix para el agua de coco, lo que indica que la baba de cacao es un excelente sustrato orgánico para la producción de bioetanol debido a su alta concentración de azúcar. Esto favorece el uso de recursos orgánicos para reducir la dependencia de combustibles fósiles que contaminan la atmósfera. El tiempo de producción de CO<sub>2</sub> para el agua de coco fue de 5 horas y 45 minutos, generando un volumen de 1,3 litros de CO<sub>2</sub> (Moscoso Zuñiga, 2022). En comparación, la baba de cacao produjo CO<sub>2</sub> en un tiempo de 5 horas, alcanzando un volumen de 5,6 litros de CO<sub>2</sub>. Por lo tanto, se concluye que el agua de coco no es un sustrato tan eficiente para la generación de bioetanol debido a sus bajas concentraciones de azúcar (Vera-Loor et al., 2020).

El residuo que produjo la mayor cantidad de alcohol fue la baba de cacao con un 4,6%, mientras que el agua de coco produjo un 1,1% de alcohol. Así, se concluye que la baba de cacao es un excelente sustrato para la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, ya que su alta actividad metabólica genera una gran cantidad de CO<sub>2</sub>, lo cual favorece la producción de alcohol (Vera-Loor et al., 2020).

**Tabla 2:** Resumen de Proyectos sobre el Uso del Mucílago de Cacao en Diferentes Aplicaciones Industriales y Ambientales

Proyecto	Objetivo	Resultados Principales	Contribución
Uso del Mucílago de Cacao como Fuente Alternativa de Azúcares en la Fermentación	Evaluar el uso del mucílago de cacao como sustituto del azúcar en bebidas fermentadas.	Concentraciones de mucílago entre 15% y 30% son efectivas para sustituir el azúcar en bebidas con densidad similar.	Alternativa económica y sostenible al uso de azúcar refinada. - Valoriza un subproducto agrícola.
Uso del Mucílago de Cacao en el Control de Malezas	Utilizar el mucílago de cacao para el control de malezas en cultivos de cacao.	Reducción de la necesidad de herbicidas químicos. - Contribución a la supresión a largo plazo de especies problemáticas.	Promueve una agricultura más sostenible y menos dependiente de agroquímicos. - Mejora la salud del suelo y del cultivo.
Producción de Etanol a partir de Mucílago de Cacao como Complemento Aditivo de Combustibles	Demostrar la viabilidad de producir etanol a partir del mucílago de cacao para su uso como aditivo de combustibles.	El mucílago contiene concentraciones adecuadas de azúcares y nutrientes para la fermentación. - Implementación de modelos cinéticos y optimización de procesos aseguran un alto rendimiento y eficiencia del proceso.	Diversifica las fuentes de energía renovable. - Valoriza un subproducto agrícola. - Promueve la economía circular.
Estudio de Prefactibilidad para la Instalación de una Planta de Producción de Destilado a Base de Mucílago de Cacao	Evaluar la viabilidad técnica y económica de establecer una planta de producción de destilado de mucílago de cacao.	Viabilidad técnica y económica del proyecto, sujeto a variaciones en el mercado y los precios. - Posibilidad de recuperar la inversión en menos de cinco años.	Abre nuevas oportunidades de mercado para productos innovadores. - Genera empleo y promueve el desarrollo económico en regiones desatendidas.

Producción de Bioetanol a partir de la Baba de Cacao y Agua de Coco con Fines de Mitigación Ambiental	Investigar la producción de bioetanol utilizando residuos de baba de cacao y agua de coco.	La baba de cacao es un sustrato más eficiente para la producción de bioetanol en comparación con el agua de coco debido a su alta concentración de azúcar.	Ofrece una alternativa más limpia a los combustibles fósiles. - Aprovecha un subproducto agrícola, reduciendo los residuos y contribuyendo a la mitigación del cambio climático.
---	--	--	--

**Fuente:** Elaboración Propia

La siguiente tabla resume diversos proyectos e investigaciones que exploran el uso del mucílago de cacao en diferentes aplicaciones industriales y ambientales. Estas investigaciones abarcan desde la producción de biocombustibles y etanol hasta su empleo en el control de malezas y la producción de destilados alcohólicos. Cada proyecto destaca la versatilidad y el potencial del mucílago de cacao como un recurso valioso y subutilizado, ofreciendo alternativas sostenibles y beneficios ambientales significativos. A continuación, se presentan los objetivos, metodologías, resultados y conclusiones principales de cada estudio, proporcionando una visión comprensiva de las oportunidades y desafíos asociados con el aprovechamiento del mucílago de cacao (Rivera-Rojas et al., 2023).

## **CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones**

### **5.1 Conclusiones**

El análisis detallado de varios proyectos e investigaciones sobre el uso del mucílago de cacao muestra su notable versatilidad y potencial en diversas aplicaciones industriales y ambientales. Esta revisión evidencia que el mucílago de cacao puede ser utilizado en la producción de biocombustibles, la fermentación de bebidas, el control de malezas y la fabricación de destilados, entre otros usos. Cada una de estas aplicaciones resalta no solo la funcionalidad del mucílago de cacao, sino también su contribución a prácticas sostenibles y a la promoción de una economía circular.

Durante la revisión se pudo evidenciar que el mucílago de cacao se puede utilizar como fuente alternativa de azúcares en la fermentación, estos detalles los encontramos en dos investigaciones en la liderada por Solórzano et al. (2019) y García Navarrete (2022) que presentaron al mucílago de cacao como sustituto del azúcar en la fermentación de bebidas. Utilizando un diseño estadístico para comparar diferentes concentraciones de mucílago, los resultados indicaron que el mucílago de cacao puede reemplazar eficazmente el azúcar en bebidas de densidad similar. Esta alternativa no solo es más económica y sostenible que el uso de azúcar refinada, sino que también aprovecha un subproducto agrícola que de otro modo se desperdiciaría. Ambos autores coincidieron en sus conclusiones que este subproducto se puede utilizar como materia prima para crear un endulzante reemplazante del azúcar convencional.

El uso del mucílago de cacao en el control de malezas es una de las mayores potencialidades de este subproducto así lo manifiestan las autoras Mendoza y Carolina (2011) en su proyecto de investigación demostraron que el mucílago de cacao es eficaz para el control de malezas en cultivos de cacao, gracias a su capacidad de degradación, reduce la necesidad de herbicidas químicos y ayuda a controlar a largo plazo especies problemáticas. Este enfoque promueve una agricultura más sostenible, menos dependiente de productos químicos, y mejora la

salud del suelo y de los cultivos (Rosalim, 2023).

La investigación realizada por Delgado Noboa et al. (2023) mostró que el mucílago de cacao es una materia prima viable para la producción de etanol. Este estudio identificó que el mucílago contiene suficientes azúcares y nutrientes para un proceso de fermentación eficiente, lo que permite diversificar las fuentes de energía renovable y fomentar la economía circular al valorizar un subproducto agrícola (Palacios-Vallejos et al., 2019).

El estudio de Acosta Rimachi y Rios Canani (2021) analizó la viabilidad técnica y económica de establecer una planta de producción de destilado de mucílago de cacao. Los resultados indicaron que el proyecto es factible, aunque sensible a fluctuaciones en el precio de venta y la demanda del producto. La posibilidad de recuperar la inversión en menos de cinco años, generar empleo y fomentar el desarrollo económico en regiones desatendidas subraya el potencial de este proyecto. Además, abre nuevas oportunidades de mercado para productos innovadores y ecológicos (Espinoza Vaca & Mendieta García, 2018).

El estudio de Castillo Cárdenas y Huilca Cordova (2020) investigó la producción de bioetanol a partir de residuos de baba de cacao y agua de coco (Baolaños Garcia, 2021). Los hallazgos revelaron que la baba de cacao es un sustrato más eficiente que el agua de coco debido a su mayor concentración de azúcar (Párraga Maquilón & Zapata Zambrano, 2022). Esto destaca la importancia de utilizar recursos orgánicos y renovables para reducir la dependencia de combustibles fósiles, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático (Romero et al., 2023).

Estos proyectos demuestran que el mucílago de cacao tiene un enorme potencial como recurso valioso en diversas aplicaciones (Acosta et al., 2022). La producción de biocombustibles y etanol a partir del mucílago de cacao ofrece alternativas sostenibles a los combustibles fósiles, contribuyendo significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (Vallejo Torres et al., 2016). Además, su uso en el control de malezas y la producción de destilados no solo valoriza un subproducto agrícola, sino que también promueve prácticas agrícolas más sostenibles y el desarrollo económico de regiones desatendidas (Illescas Bayas & Lovato Armas, 2020).

El éxito de estos proyectos subraya la importancia de continuar investigando y desarrollando tecnologías que permitan un uso más eficiente y sostenible de los recursos naturales (Fernández et al., 2022). La implementación de estos enfoques puede transformar subproductos agrícolas en productos de alto valor añadido, impulsando la economía circular y fomentando un desarrollo más sostenible y equitativo, el mucílago de cacao no solo tiene aplicaciones industriales y ambientales diversas, sino que también ofrece un camino hacia una agricultura más sostenible y una economía más inclusiva y circular (Corrales Mendoza et al., 2021). Este enfoque integral no solo responde a las necesidades actuales de sostenibilidad, sino que también prepara el camino para futuras innovaciones en el aprovechamiento de recursos naturales (Loayza Calva, 2020).

## **5.2 Recomendaciones**

Es esencial que las autoridades gubernamentales incrementen la inversión en investigación para profundizar en el estudio de las propiedades del mucílago de cacao y sus posibles aplicaciones. Esto implica financiar proyectos universitarios y promover colaboraciones entre instituciones académicas y el sector privado (Moreira & Fernando, 2022).

Se debe trabajar en el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan una utilización más eficiente del mucílago de cacao, incluyendo métodos de extracción mejorados, procesos de fermentación optimizados y técnicas de purificación más avanzadas (Hernández A. & Rojas O., 2017).

Los estudios presentados han evidenciado que el mucílago de cacao puede constituir una fuente viable para la producción de bioetanol. Por lo tanto, se recomienda ampliar estos procesos a niveles industriales, garantizando una producción sostenida de biocombustibles (Arguello Rivadeneira & Mendoza Zambrano, 2021).

Es necesario promover la integración del bioetanol obtenido a partir del mucílago de cacao en las cadenas de suministro de combustibles, especialmente en las regiones productoras de cacao. Esto puede implicar la implementación de incentivos gubernamentales para aquellas empresas que adopten estos

biocombustibles (Quiñonez Cedeño, 2024).

Se debe fomentar el uso del mucílago de cacao en programas destinados al control de malezas, lo cual puede ser particularmente beneficioso en las zonas productoras de cacao. Esto contribuiría a reducir la dependencia de herbicidas químicos y a mejorar la salud del suelo (Loor Navia & Cedeño Zambrano, 2019).

Es importante brindar capacitación a los agricultores sobre los beneficios del uso del mucílago de cacao como agente controlador de malezas, así como proporcionarles las herramientas y conocimientos necesarios para implementar estas prácticas de manera efectiva (Rueda et al., 2021).

Se debe explorar la posibilidad de desarrollar nuevos productos alimenticios y bebidas fermentadas utilizando el mucílago de cacao como sustituto del azúcar. Este enfoque puede abarcar tanto bebidas alcohólicas como no alcohólicas, así como productos de repostería y confitería (Vasquez Ayala, 2020).

Es fundamental obtener certificaciones que garanticen la calidad y seguridad de los productos derivados del mucílago de cacao. Además, se deben desarrollar estrategias de comercialización que destaquen los beneficios ambientales y de sostenibilidad de estos productos (Villacrés Chérrez, 2021).

Se propone la construcción de plantas de procesamiento especializadas en el manejo y transformación del mucílago de cacao. Estas instalaciones deben estar equipadas con tecnología avanzada para maximizar la eficiencia y minimizar el desperdicio (Vargas Morales, 2014).

Se debe optimizar la cadena de suministro para garantizar la recolección y el transporte eficiente del mucílago de cacao desde las plantaciones hasta las plantas de procesamiento. Esto incluye el desarrollo de sistemas logísticos que reduzcan los costos y mejoren la sostenibilidad (López Monzón, 2017).

Es crucial implementar políticas gubernamentales que fomenten el uso del mucílago de cacao en diversas aplicaciones. Esto puede incluir subsidios, créditos fiscales y programas de apoyo financiero para las empresas que adopten estas tecnologías (Vásquez Cortez, 2021).

Se deben establecer y desarrollar normativas que regulen el uso del mucílago de cacao en la producción de biocombustibles, control de malezas y productos

alimenticios. Estas normativas deben garantizar la calidad y sostenibilidad de los productos finales (Domínguez & Flor, 2024).

Es necesario llevar a cabo campañas de sensibilización para informar a los productores e industrias sobre los beneficios del uso del mucílago de cacao. Estas campañas pueden resaltar los aspectos ambientales, económicos y sociales de su aprovechamiento (Plasencia-Verde et al., 2021).

Se deben fomentar alianzas estratégicas entre países productores de cacao y naciones con tecnología avanzada en biocombustibles y productos alimenticios. Estas colaboraciones pueden facilitar el intercambio de conocimientos y tecnologías.

Es importante desarrollar programas de cooperación internacional que respalden la investigación y el desarrollo de aplicaciones del mucílago de cacao. Esto puede incluir la asignación de fondos internacionales y la ejecución de proyectos conjuntos (Rodríguez & Miguel, 2017).

El mucílago de cacao representa una oportunidad valiosa para impulsar prácticas más sostenibles y rentables en una variedad de industrias. La aplicación de estas recomendaciones tiene el potencial de optimizar su uso, fomentando así una economía circular y contribuyendo al desarrollo sostenible. Para lograr esta transformación, es fundamental promover la colaboración entre el sector público y privado, respaldada por una sólida inversión en investigación y desarrollo. De esta manera, el mucílago de cacao puede convertirse en un recurso valioso y ampliamente aprovechado.

## 6. Bibliografía

- Abad, A., Acuña, C., & Naranjo, E. (2020). El cacao en la Costa ecuatoriana: Estudio de su dimensión cultural y económica. *Estudios de la Gestión: Revista Internacional de Administración*, 7, Article 7. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.7.3>
- Acosta, D. N. S., Vera, L. V. V., Díaz, C. A., & Delgado, E. A. R. (2022). Optimización del proceso de producción de etanol de segunda generación utilizando sacarificación y fermentación simultánea a partir de mezclas de residuos lignocelulósicos. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3(7), Article 7. <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i7.510>
- Acosta Rimachi, G. N., & Rios Canani, L. P. (2021). Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de destilado a base de mucílago de cacao. *Repositorio Institucional - Ulima*. <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20500.12724/13133>
- Aguilar Gavira, S., & Barroso Osuna, J. (2015). La triangulación de datos como estrategia en investigación educativa. *Píxel-Bit, Revista de Medios y Educación*, 47, 73-88. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.2015.i47.05>
- Alarcón Herrera, L. (2023). *Evaluación de líneas experimentales de triticale para producción de bioetanol*. <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/8763>
- Aldana, M. Y., Bustos, Y., Espinoza, L. A., Ramírez, A., Nabarlatz, D. A., Blanco-Tirado, C., & Combariza, M. Y. (2023). Influence of temperature and pH during cacao mucilage exudate concentration on cacao syrup composition. *International Journal of Food Science & Technology*, 58(12), 6817-6824.

<https://doi.org/10.1111/ijfs.16677>

Almeida, O. G. G., Pinto, U. M., Matos, C. B., Frazilio, D. A., Braga, V. F., von Zeskakress, M. R., & De Martinis, E. C. P. (2020). Does Quorum Sensing play a role in microbial shifts along spontaneous fermentation of cocoa beans? An *in silico* perspective. *Food Research International*, 131, 109034. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109034>

Andrade, A. B., & Cuenca-Nevárez, G. J. (2021). Application of Cocoa Mucilage (Theobroma Cacao) In the Treatment of Wastewater from the Production of Cassava Starch (Manihot Esculenta). *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 25(7), Article 7.

Arguello Rivadeneira, J. G., & Mendoza Zambrano, J. L. (2021). *Bioconservación de carnes para el consumo humano con la adición de mucílago de cacao (theobroma cacao L.)*. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6473>

Arreaga Chevez, A. A. (2020). «Identificación del perfil fenólico del mucílago y cascarilla de cacao (*Theobroma cacao L.*) de las variedades CCN-51 y Nacional». <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/5932>

Arteaga Estrella, Y. (2013). Estudio del desperdicio del mucílago de cacao en el cantón Naranjal (Provincia del Guayas). *ECA Sinergia*, 4(1), 49-59.

Atuonwu, J. C., Leadley, C., Bosman, A., & Tassou, S. A. (2020). High-pressure processing, microwave, ohmic, and conventional thermal pasteurization: Quality aspects and energy economics. *Journal of Food Process Engineering*, 43(2), e13328. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13328>

Avila, J. M. S., Noboa, J. W. D., Rivera, F. R. P., & Quezada, J. P. S. (2020).

- Estimación del potencial de producción de bioetanol a partir de los residuos de la corteza del cacao en Ecuador. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3), Article 3. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol21\\_num3\\_art:1429](https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1429)
- Azarpazhooh, E., Rashidi, H., Sharayei, P., Behmadi, H., & Ramaswamy, H. S. (2021). Effect of flaxseed-mucilage and Stevia on physico-chemical, antioxidant and sensorial properties of formulated cocoa milk. *Food Hydrocolloids for Health*, 1, 100017. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2021.100017>
- Banerjee, J., Singh, R., Vijayaraghavan, R., MacFarlane, D., Patti, A. F., & Arora, A. (2017). Bioactives from fruit processing wastes: Green approaches to valuable chemicals. *Food Chemistry*, 225, 10-22. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.093>
- Baolaños Garcia, D. (2021). *Propuesta para el aprovechamiento de residuos agroalimentarios lignocelulosicos en la producción de bioetanol, mediante la utilización del simulador –COCO- y el optimizador de procesos –ERP SAP-*. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/40166>
- Bastidas, J. V., Moreira, A. F. M., Bayas, B. W. O., & Briones-Bitar, J. (2023). Cocoa Mucilage: A Novel Substrate for Fermented Tea-Based Beverages. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 18(5), 1169-1178. <https://doi.org/10.18280/ijdne.180518>
- Béjar Lara, D. N., & Espinoza Granda, A. G. (2023). *Estudio de factibilidad de producción y comercialización del cacao en el cantón Naranjal, Provincia del Guayas* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25080>
- Caldeira, C., Vlysidis, A., Fiore, G., De Laurentiis, V., Vignali, G., & Sala, S. (2020).

- Sustainability of food waste biorefinery: A review on valorisation pathways, techno-economic constraints, and environmental assessment. *Bioresource Technology*, 312, 123575. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123575>
- Chávez Sánchez, H. G. (2022). Calidad de las revistas científicas peruanas y su impacto en la investigación. *Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales (ReHuSo)*, 7(1), 51-66. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5814056>
- Coba, G. (2024). El cacao tiene su origen en Ecuador y no en México, afirma un estudio. *Primicias*.  
<https://www.primicias.ec/noticias/entretenimiento/tecnologia/cacao-origen-ecuador-mexico/>
- Cobena Cedeño, G. R. (2017). *Evaluación de las características físicas y químicas de un bioetanol a partir de frutas tropicales*.  
<https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/4114>
- Corrales Mendoza, V. A., Chacha Coyago, F. C., & Vielma Puente, J. (2021). *Producción de bioetanol a partir de hidrólisis enzimática con trichoderma spp y posterior fermentación alcohólica con saccharomyces cerevisiae de cáscara de cacao*. [Thesis, ESPOL. FCNM].  
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52024>
- Díaz-Valderrama, J. R., Leiva-Espinoza, S. T., & Aime, M. C. (2020). The History of Cacao and Its Diseases in the Americas. *Phytopathology*®.  
<https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-20-0178-RVW>
- Domínguez, W. A. S., & Flor, F. G. I. (2024). Mejoramiento de los procesos de fermentación para la elaboración de chocolate del Centro Agrícola del Cantón

- Quevedo. *Journal of Science and Research*, 9(1), Article 1.
- Duan, Y., Pandey, A., Zhang, Z., Awasthi, M. K., Bhatia, S. K., & Taherzadeh, M. J. (2020). Organic solid waste biorefinery: Sustainable strategy for emerging circular bioeconomy in China. *Industrial Crops and Products*, 153, 112568. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112568>
- Escobar Auqui, C. C. (2023). *Elaboración de un néctar a base del mucílago de cacao (Theobroma Cacao)* [bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería en Alimentos]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/37885>
- Espín Silva, J. D., & Pilataxi Chevez, L. M. (2022). *Producción y conservación de hongos comestibles Pleurotus ostreatus utilizando como sustrato los residuos agroindustriales del cultivo de quinua, cacao y el bagazo de malta*. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/17620>
- Espinoza Vaca, H. A., & Mendieta García, E. F. (2018). *Efectos de la fermentación láctica del lactosuero y alcohólica del mucílago de cacao en la concentración final de una bebida alcohólica* [bachelorThesis, Calceta: ESPAM MFL]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/891>
- Fernández, Á., Erazo Solórzano, C. Y., Torres Segarra, C. V., Torres Navarrete, E., Tuárez García, D. A., & Díaz Ocampo, R. (2022). Extracción de mucílago de cáscara de Theobroma cacao L. para uso en clarificación de jugos de Saccharum officinarum. *Revista Ciencia y Tecnología*, 15(1), 25-33.
- García Navarrete, M. D. (2022). *Uso del mucilago de cacao en el control de maleza*

*en plantaciones comerciales de cacao (Theobroma cacao L.).* Repositorio Universidad Técnica de Babahoyo.  
<http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13143>

Goksen, G., Demir, D., Dhama, K., Kumar, M., Shao, P., Xie, F., Echegaray, N., & Lorenzo, J. M. (2023). Mucilage polysaccharide as a plant secretion: Potential trends in food and biomedical applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 230, 123146. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123146>

Gómez-Luna, E., Fernando-Navas, D., Aponte-Mayor, G., & Betancourt-Buitrago, L. A. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *Dyna*, 81(184), 158-163.

Gontard, N., Sonesson, U., Birkved, M., Majone, M., Bolzonella, D., Celli, A., Angellier-Coussy, H., Jang, G.-W., Verniquet, A., Broeze, J., Schaer, B., Batista, A. P., & Sebok, A. (2018). A research challenge vision regarding management of agricultural waste in a circular bio-based economy. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 48(6), 614-654.  
<https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1471957>

Guirlanda, C. P., da Silva, G. G., & Takahashi, J. A. (2021). Cocoa honey: Agro-industrial waste or underutilized cocoa by-product? *Future Foods*, 4, 100061.  
<https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100061>

Guzmán Salazar, M., Rozo Perdomo, S. E., & Mahecha Vega, N. G. (2023). *Determinación de las variables óptimas para la producción de bioetanol a partir de mucílago de café con el propósito de reducir el vertimiento de los desechos*

- provenientes del pretratamiento del café en las fuentes hídricas del municipio de Pitalito [Working Paper]. Ingeniería Química. <https://repository.universidadean.edu.co/handle/10882/12386>
- Han, X., Zhu, F., Chen, L., Wu, H., Wang, T., & Chen, K. (2020). Mechanism analysis of toxicity of sodium sulfite to human hepatocytes L02. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 473(1), 25-37. <https://doi.org/10.1007/s11010-020-03805-8>
- Hernández A., R. M., & Rojas O., P. K. (2017). *Estudio del mucílago de cacao (Theobroma cacao L.) con fines de aprovechamiento industrial y artesanal, en Barlovento, estado Miranda* [Thesis]. <http://saber.ucv.ve/handle/10872/17334>
- Hipólito-Romero, E., Carcaño-Montiel, M. G., Ramos-Prado, J. M., Vázquez-Cabañas, E. A., López-Reyes, L., & Ricaño-Rodríguez, J. (2017). Efecto de inoculantes bacterianos edáficos mixtos en el desarrollo temprano de cultivares mejorados de cacao (*Theobroma cacao L.*) en un sistema agroforestal tradicional del norte de Oaxaca, México Efecto de inoculantes bacterianos edáficos mixtos. *Revista Argentina de Microbiología*, 49(4), 356-365. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.04.003>
- Illescas Bayas, A. M., & Lovato Armas, C. R. (2020). *Estudio del Perfil Fitoquímico y posibles aplicaciones de los extractos alcohólicos, etéreo y acuoso del Sunfo (clinopodium nubigenum (kunth) kuntze)* [bachelorThesis, Ecuador, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi UTC.]. <http://localhost/handle/27000/6998>
- Laguna Muñoz, K. Y. (2022). *Opciones de biorrefinería para disminuir desigualdades de género en zonas rurales y vulnerables.* <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/25432>

- León-Serrano, L. A., Matailo-Pinta, A. M., Romero-Ramón, A. A., Portalanza-Chavarría, C. A., León-Serrano, L. A., Matailo-Pinta, A. M., Romero-Ramón, A. A., & Portalanza-Chavarría, C. A. (2020). Ecuador: Producción de banano, café y cacao por zonas y su impacto económico 2013-2016. *Revista Científica UISRAEL*, 7(3), 103-121. <https://doi.org/10.35290/rcui.v7n3.2020.324>
- Llerena, W. F. T., Guevara, M. D. G., & Mora, S. M. O. (2019). Exploración de la intención de consumo de la Cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) como infusión: Caso Tungurahua-Ecuador. *Cuadernos de Contabilidad*, 20(50), Article 50. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cc20-50.eicc>
- Loayza Calva, K. N. (2020). *Determinación de las condiciones óptimas de fermentación para la obtención de bioetanol a partir del hidrolizado ácido de la corteza del cacao (Theobroma cacao) proveniente de la industria cacaotera del Ecuador* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18673>
- Loor Navia, M. A., & Cedeño Zambrano, J. C. (2019). *Evaluación técnica y económica de concentraciones de lactosuero dulce y mucílago de cacao para la obtención de una bebida refrescante* [masterThesis, Calceta: ESPAM MFL]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1065>
- López Monzón, R. (2017). *Desarrollo de un modelo matemático para la fermentación del cacao criollo blanco*. <https://hdl.handle.net/11042/3035>
- Lozano Moreno, M. S. (2020). Utilización de los subproductos del beneficio del cacao: Una revisión. *reponame:Expediitio Repositorio Institucional UJTL*. <https://doi.org/10/18805>
- Macías, M., & Antonio, R. (2022). *Uso del mucílago para el control de malezas en el*

*cultivo de cacao (Theobroma cacao L.).*

<https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6901>

Makinde, O. J., Okunade, S. A., Opoola, E., Sikiru, A. B., Ajide, S. O., Elaigwu, S., Makinde, O. J., Okunade, S. A., Opoola, E., Sikiru, A. B., Ajide, S. O., & Elaigwu, S. (2019). Exploration of Cocoa (*Theobroma cacao*) By- Products as Valuable Potential Resources in Livestock Feeds and Feeding Systems. En *Theobroma Cacao—Deploying Science for Sustainability of Global Cocoa Economy*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87871>

Martínez-López, B., Utrilla-Vázquez, M., D.R, E.-O., M., J.-P., T., R.-C., Cuervo-Parra, J., J.M., T., & Ovando, M. A. (2019). *PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE JUGO DE MUCÍLAGO DE CACAO (Theobroma cacao) COMO SUBPRODUCTO DE LA FERMENTACIÓN.*

Medina Pimiento, J. S. (2017). *Diseño de un montaje y puesta en marcha de una planta productora de bioetanol a partir de exudado de mucílago de cacao en el municipio de Girón, Santander, Colombia.* Repositorio Universidad Industrial de Santander.

[https://www.researchgate.net/publication/378480431\\_Disenio\\_de\\_un\\_montaje\\_y\\_puesta\\_en\\_marcha\\_de\\_una\\_planta\\_productora\\_de\\_bioetanol\\_a\\_partir\\_de\\_exudado\\_de\\_mucilago\\_de\\_cacao\\_en\\_el\\_municipio\\_de\\_Giron\\_Santander\\_Colombia](https://www.researchgate.net/publication/378480431_Disenio_de_un_montaje_y_puesta_en_marcha_de_una_planta_productora_de_bioetanol_a_partir_de_exudado_de_mucilago_de_cacao_en_el_municipio_de_Giron_Santander_Colombia)

Mendoza, A. M. M., Parra, J. C. P., & Puentes, J. C. T. (2022). Pasado, presente y perspectiva del bioetanol en Ecuador. *CIENCIA UNEMI*, 15(40), Article 40.

<https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol15iss40.2022pp38-51p>

Mendoza, T., & Carolina, N. (2011). Efecto del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el control de malezas y la composición del suelo en el fundo Bio Selva— Satipo. *Universidad Nacional del Centro del Perú*.  
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4016>

Mendoza Tenorio, K. A. (2024). *Evaluación de efectividad del herbicida natural elaborado con mucílago de cacao (Theobroma cacao L.), como alternativa sostenible para el control de malezas*.  
<https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/42506>

Mendoza-Meneses, C. J., Feregrino-Pérez, A. A., & Gutiérrez-Antonio, C. (2021). Potential Use of Industrial Cocoa Waste in Biofuel Production. *Journal of Chemistry*, 2021(1), 3388067. <https://doi.org/10.1155/2021/3388067>

Moed, H. F., Aisati, M., & Plume, A. (2013). Studying scientific migration in Scopus. *Scientometrics*, 94(3), 929-942. <https://doi.org/10.1007/s11192-012-0783-9>

Moncada-Hernández, S. G. (2014). Cómo realizar una búsqueda de información eficiente. Foco en estudiantes, profesores e investigadores en el área educativa. *Investigación en Educación Médica*, 3(10), 106-115.  
[https://doi.org/10.1016/S2007-5057\(14\)72734-6](https://doi.org/10.1016/S2007-5057(14)72734-6)

Moreira, M., & Fernando, A. (2022). *Aplicación de mucílago de cacao como fuente de azúcares en el proceso fermentativo del scoby (Symbiotic Culture Of Bacteria and Yeast) para obtener una bebida fermentada*.  
<https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6699>

Moscoso Zuñiga, M. A. (2022). *Evaluación de residuos de la cascara de theobroma*

*cacao de la finca “Rancho Margarita” como fuente para la obtención de celulosa mediante el método de hidrólisis.*

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/21388>

Muñoz Simi, I. M., & Ordoñez Miranda, J. M. (2022). *Análisis energético de un motor de combustión interna de encendido provocado bajo el uso de biocombustible obtenido a partir del mucílago de cacao.*

<https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6823>

Noboa, J. W. D., Soler, J., & Peña, J. Á. (2019). Aplicación de los modelos cinéticos Logístico Integrado y Gompertz Modificado para la producción de bioetanol en procesos fermentativos a partir de mucílago de cacao CCN-51. *Jornada de Jóvenes Investigadores del I3A*, 7. <https://doi.org/10.26754/jji-i3a.003527>

Núñez Molina, N., & Flórez, P. L. (2018). Desarrollo de un producto derivado del cacao híbrido y su proceso de transformación en la asociación Apomd ubicado en el municipio de Dibulla, Guajira. *Ingeniería Industrial.*

[https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_industrial/81](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_industrial/81)

Oller Alonso, M., Segarra Saavedra, J., & Plaza Nogueira, A. (2012). *La presencia de las revistas científicas de ciencias sociales en los «social media»: De la web 1.0 a la web 2.0.* <https://eciencia.urjc.es/handle/10115/15290>

Ombelet, L., Lewis, L., Kelly, K., & Gorbushina, A. (2024). *How Cacao Can Do So Much More Than Make Chocolate.* <https://www.wri.org/insights/hidden-benefits-cacao-waste>

Palacios-Vallejos, K., Alcívar-Alcívar, Lady, Pico, C., Posligua-Laz, G., Romero-Mendoza, M., & Rosero-Delgado, E. (2019). Diseño de un biorreactor para la

- obtención de ácido acético a partir del vino de mucílago de cacao (*theobroma cacao* L.): Artículo de investigación. *Revista de Ciencias Agropecuarias ALLPA*. ISSN: 2600-5883., 2(4), Article 4.
- Párraga Maquilón, J. S., & Zapata Zambrano, C. E. (2022). *Evaluación de cerveza artesanal tipo ale con dos tipos de lúpulo y uso de mucílago de cacao (Theobroma cacao L.) como sustituto parcial de la levadura*. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6696>
- Pérez Pisco, M., & López Gonzales, D. (2019). Evaluación del biocontrol de malezas utilizando aguas mieles de cacao en la EEA EL PORVENIR- INIA, 2018. *Universidad César Vallejo*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31562>
- Plasencia-Verde, C. C., Grabiell-Rios, K. S., Luque, J. A., Best, I. K., Plasencia-Verde, C. C., Grabiell-Rios, K. S., Luque, J. A., & Best, I. K. (2021). Evaluación del potencial energético de residuos de cacao (*Theobroma cacao* L.) por medio de celdas de combustible microbiano (CCM). *Información tecnológica*, 32(4), 89-98. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000400089>
- Quimbita, F., Rodríguez, P., & Vera, E. (2013). Uso del exudado y placenta del cacao para la obtención de subproductos. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 26(1), Article 1. <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/272>
- Quiñonez Cedeño, A. N. (2024). *Obtención de ácido acético a base del fermento natural del mucílago de cacao* [bachelorThesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/13212>
- Ramírez, P. E., Mariano, A. M., & Salazar, E. A. (2014). Propuesta Metodológica para

- aplicar modelos de ecuaciones estructurales con PLS: El caso del uso de las bases de datos científicas en estudiantes universitarios. *Revista ADMPG*, 7(2), Article 2. <https://revistas.uepg.br/index.php/admpg/article/view/14062>
- Ramos Galarza, C. A. (2020). Los alcances de una investigación. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 9(3), 1-6.
- REPSOL. (s. f.). *¿Qué es el bioetanol y para qué sirve?* REPSOL. Recuperado 13 de junio de 2024, de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/movilidad-sostenible/bioetanol/index.cshtml>
- Rivera-Rojas, H., Tafur-Pereda, H., Pisco-Caldas, J., Sánchez, F. C., & Olaechea, R. P. (2023). Optimización de una bebida con exudado de cacao *Theobroma cacao* L. CCN51 y suero láctico usando superficie respuesta. *Agroindustrial Science*, 13(3), Article 3. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2023.03.01>
- Rodríguez, C., & Miguel, C. (2017). *Modelación y estimación de parámetros aplicados al proceso de fermentación de cacao piurano*. <https://hdl.handle.net/11042/2915>
- Rojas, J., Ramírez, K., Velasquez, P., Acevedo, P., & Santis, A. (2020). Evaluation of Bio-Hydrogen Production by Dark Fermentation from Cocoa Waste Mucilage. *Chemical Engineering Transactions*, 79, 133. <https://doi.org/10.3303/CET2079048>
- Romero, G. B., Herrera, M. E. V., & López, Y. J. G. (2023). Técnicas de machine learning aplicadas a la producción de bioetanol a partir de la caracterización de biomasa lignocelulósico (*Theobroma cacao* L.): Machine learning techniques

- applied to the production of bioethanol from the characterization of lignocellulosic biomass (*Theobroma cacao* L.). *Revista Científica de Biotecnología*, 1(1), Article 1.
- Romero-Torres, M., Acosta-Moreno, L. A., & Tejada-Gómez, M. A. (2013). Ranking de revistas científicas en Latinoamérica mediante el índice *h*: Estudio de caso Colombia. *Revista Española de Documentación Científica*, 36(1), Article 1. <https://doi.org/10.3989/redc.2013.1.876>
- Rosalim, C. (2023). *Pengaruh Pemberian Kompos Daun Gamal Terhadap Pertumbuhan Bibit Kakao (Theobroma Cacao L.) di Polybag* [Other, UNIVERSITAS JAMBI]. <https://repository.unja.ac.id/>
- Rozemblum, C., Unzurrunzaga, C., Banzato, G., & Pucacco, C. (2015). Calidad editorial y calidad científica en los parámetros para inclusión de revistas científicas en bases de datos en Acceso Abierto y comerciales. *Palabra clave*, 4(2), 64-80.
- Rueda, L. C., Prada, D. M. C., & Patiño, G. G. (2021). Contenido de Cadmio en el grano de cacao *Theobroma cacao* L. seco, obtenido en la fermentación con pre y sin pre escurrido, en San Vicente de Chucurí. *CITECSA*, 13(21), Article 21.
- Sánchez, M. J., Fernández, M., Díaz, J. C., Sánchez, M. J., Fernández, M., & Díaz, J. C. (2021). Técnicas e instrumentos de recolección de información: Análisis y procesamiento realizado por el investigador cualitativo. *Revista Científica UISRAEL*, 8(1), 107-121. <https://doi.org/10.35290/rcui.v8n1.2021.400>
- Sánchez Olaya, D. M., Rodríguez Pérez, W., Castro Rojas, D. F., Trujillo Trujillo, E.,

- Sánchez Olaya, D. M., Rodríguez Pérez, W., Castro Rojas, D. F., & Trujillo Trujillo, E. (2019). Respuesta agronómica de mucilago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Ciencia en Desarrollo*, 10(2), 43-58. <https://doi.org/10.19053/01217488.v10.n2.2019.7958>
- Santander, M., Vaillant, F., Sinuco, D., Rodríguez, J., & Escobar, S. (2021). Enhancement of fine flavour cocoa attributes under a controlled postharvest process. *Food Research International*, 143, 110236. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110236>
- Serrana, J. M., Ormenita, L. A. C., Almarinez, B. J. M., Watanabe, K., Barrion, A. T., & Amalin, D. M. (2022). Life history and host plant assessment of the cacao mirid bug *Helopeltis bakeri* Poppius (Hemiptera: Miridae). *Phytoparasitica*, 50(1), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12600-021-00957-1>
- Solórzano, R., Rivadeneira, F., Zambrano, P., & Zambrano, R. (2019). Monitoreo del proceso fermentativo de cuatro licores de frutas (*Passiflora edulis*, *Citrus cinensis*, *Citrus nobilis* y *Citrus máxima*). *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 4, 752. <https://doi.org/10.35381/r.k.v4i8.485>
- Souza, G., Siqueira dos Santos, S., Bergamasco, R., Antigo, J., & Madrona, G. S. (2020). Antioxidant activity, extraction and application of psyllium mucilage in chocolate drink. *Nutrition & Food Science*, 50(6), 1175-1185. <https://doi.org/10.1108/NFS-07-2019-0211>
- Sugiatno, S., & Susanto, H. (2021). TANGGAPAN PERTUMBUHAN DAN MUTU BIBIT KAKAO (*Theobroma cacao* L.) TERHADAP KONSENTRASI CaCO<sub>3</sub> UNTUK MELURUHKAN PULP BENIH PADA MEDIA TUMBUH YANG

BERBEDA. *TANGGAPAN PERTUMBUHAN DAN MUTU BIBIT KAKAO (Theobroma Cacao L.) TERHADAP KONSENTRASI CaCO<sub>3</sub> UNTUK MELURUHKAN PULP BENIH PADA MEDIA TUMBUH YANG BERBEDA.*

<http://repository.lppm.unila.ac.id/36620/>

Teshager, A. A., Atlabachew, M., & Alene, A. N. (2024). Development of biodegradable film from cactus (*Opuntia Ficus Indica*) mucilage loaded with acid-leached kaolin as filler. *Heliyon*, 10(11), e31267. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31267>

Torres-Salinas, D., Bordons, M., Giménez-Toledo, E., Delgado-López-Cózar, E., Jiménez-Contreras, E., & Sanz-Casado, E. (2010). Clasificación integrada de revistas científicas (CIRC): Propuesta de categorización de las revistas en ciencias sociales y humanas. *Profesional de la información*, 19(6), Article 6. <https://doi.org/10.3145/epi.2010.nov.15>

Valencia Castillo, N., & Veléz Durán, Y. M. (2020). *Aprovechamiento del mucílago de café para mejorar la producción de etanol en una planta piloto para mitigar impactos negativos en corrientes hídricas.* <https://red.uao.edu.co/entities/publication/da106155-d3be-4889-ac55-218cefb4bcb6>

Vallejo Torres, C. A., Díaz Ocampo, R., Morales Rodriguez, W., Soria Velasco, R., Vera Chang, J. F., & Baren Cedeño, C. (2016). Utilización del mucílago de cacao, tipo nacional y trinitario, en la obtención de jalea. *Revista ESPAMCIENCIA, ISSN-e 1390-8103, Vol. 7, Nº. 1, 2016 (Ejemplar dedicado a: REVISTA ESPAMCIENCIA 2016), págs. 51-58, 1.*

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9138709>

Vargas, E. M., Molina, X. C., & Cevallos, E. Z. (2022). Recorrido histórico de la importancia del cacao para la economía de Ecuador. *Sinergias Educativas*.

<https://doi.org/10.37954/se.vi.193>

Vargas Morales, S. M. (2014). *Efecto de la combinación de mucílago de cacao ccn-51 con pulpa de borojó en las características físico—Químicas y sensoriales de la mermelada conservada en envases de vidrio*.

<https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/267>

Vasquez Ayala, D. (2020). *Mucilago del cacao biomasa residual: Perspectiva como materia prima en la industria de alimentos*.

<http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/4782>

Vásquez Cortez, L. H. (2021). *Inducción de Rhizobium japonicum en la masa fermentativa de dos variedades de cacao (Theobroma cacao L.) nacional y trinitario como estrategia para la disminución de cadmio*.

<https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6216>

Vera-Loor, J. E., Cedeño-Palacios, N. B., & Mera-Vélez, S. A. (2020). Elaboración de vinagre de vino a partir del mucílago y exudado de cacao criollo (theobroma cacao l.): Artículo de revisión bibliográfica. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. ISSN: 2737-6249., 3(6), Article 6.

<https://doi.org/10.46296/ig.v3i6.0014>

Villacrés Chérrez, S. F. (2021). *Identificación y caracterización de bacterias ácido lácticas (BAL) del proceso de fermentación de cacao reemplazando el mucílago por pulpa de maracuyá y banana* [bachelorThesis, Universidad del

Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11129>

- Villarroel-Bastidas, J. V., Angulo-Ortega, G. del C., & Briones-Bitar, J. (2023). Reducing sugars degradation in cocoa mucilage to produce bioethanol. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 108, Article 108. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20220992>
- Zambrano, H. Y. L., Cuenca, N. P. F., Cuenca, T. E. F., & Bayona, W. I. N. (2024). Comercialización de productos derivados de cacao en Manabí, Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 16(1), Article 1.
- Zhunio Rodríguez, B. J. (2020). «Evaluación de la actividad antioxidante en el mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) Variedades: CCN-51 y nacional». <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/5931>