

**Alternativas Biotecnológicas para el Aprovechamiento del Mucílago de Cacao en el Oriente
Caldense, Mediante Recopilación de Información Bibliográfica**

Juan Sebastián Holguín Matiz

Asesora

Magister Claudia Lorena Betancur Murillo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Semillero de Análisis Secuencial Bioinformática y Bioeconomía - ASBI

Ingeniería de Alimentos

2025

Resumen

Hoy en día, los residuos generados por el procesamiento del cacao es motivo de preocupación a lo largo y ancho del país, siendo necesaria la creación de alternativas que logren mitigar el impacto que estos producen en el medio ambiente, brindándoles una segunda oportunidad de beneficio; por ello, la importancia de la presente Monografía, la cual tiene como objetivo principal proponer alternativas biotecnológicas más efectivas para aprovechar el mucílago de cacao en el Oriente Caldense, mediante recopilación de información bibliográfica, evaluando la forma en la que estas impactarían en la sostenibilidad ambiental, agrícola y económica de la región. Como resultado de ello, se proponen alternativas que contemplan el procesamiento de este subproducto a través de procesos fermentativos como: fermentación ácido láctica, fermentación oscura y fermentación acética; acudiendo además al uso de hidrólisis enzimática para su potencialización, siendo sus compuestos bioactivos y acción antioxidante facilitadores para su implementación como materia prima en la producción de biocombustible, biogás, abono líquido, herbicidas, bioconservantes, y su uso como aditivo y sustituto. En conclusión, aunque la Industria Alimentaria ha venido presentando avances frente a la potencialización del mucílago de cacao, es necesario que se sigan llevando a cabo más estudios que diversifiquen su aprovechamiento.

Palabras claves: Mucílago de Cacao; Biotecnología; Funcional; Propiedades; Alternativas.

Abstract

Nowadays, the waste generated by cacao processing is a concern throughout the country, making it necessary to create alternatives that mitigate the environmental impact these residues cause, giving them a second chance for benefit. This is the importance of the present thesis, whose main objective is to propose more effective biotechnological alternatives to utilize cacao mucilage in the Eastern Caldense region, through a review of bibliographic information, evaluating how these alternatives would impact the environmental, agricultural, and economic sustainability of the region. As a result, alternatives are proposed that involve processing this byproduct through fermentation processes such as lactic acid fermentation, dark fermentation, and acetic fermentation; additionally, enzymatic hydrolysis is used to enhance its potential, with its bioactive compounds and antioxidant properties facilitating its implementation as a raw material in the production of biofuels, biogas, liquid fertilizers, herbicides, bioconservants, and its use as an additive and substitute. In conclusion, although the food industry has made progress in enhancing the potential of cacao mucilage, further studies are needed to diversify its use.

Keywords: Cocoa Mucilage; Biotechnology; Functional; Properties; Alternatives.

Tabla de Contenido

Introducción	8
Definición del Problema	10
Antecedentes y Descripción del Problema.....	10
Formulación	11
Justificación	13
Objetivos.....	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos.....	15
Marco de Referencia	16
Marco Conceptual	16
Cacao	16
Generalidades.....	16
Características Fisicoquímicas.....	16
Biotecnología Alimentaria y Agrícola.....	18
Subproductos del Cacao	18
Mucílago de Cacao	19
Marco Teórico.....	20
Disposición del Mucílago de Cacao	20
Funciones y Propiedades Fisicoquímicas del Mucílago de Cacao	21

Algunas Formas de Aprovechamiento	22
Aplicación de Procesos Biotecnológicos.....	23
Metodología	25
Resultados y Discusión.....	27
Alternativas Biotecnológicas Para el Aprovechamiento del Mucílago de Cacao.....	27
Fermentación a Base de Biotecnología	27
Fermentación Acido Láctica.....	28
Fermentación Oscura.....	29
Fermentación Acética.....	31
Fermentación Alcohólica.....	32
Otras Variantes de la Fermentación.....	34
Hidrolisis Enzimática en el Mucílago de Cacao.....	36
Compuestos Bioactivos y Acción Antioxidante del Mucílago de Cacao.....	37
Mucílago de Cacao Como Biocombustible.....	40
Mucílago de Cacao Como Fuente de Biogás y Abono Líquido.....	42
Mucílago de Cacao Como Herbicida.....	45
Mucílago de Cacao Como Bioconservante	47
Otras Alternativas de Uso para el Mucílago de Cacao.....	48
Viabilidad de las Alternativas Biotecnológicas para su Aprovechamiento en la Región	51
Conclusiones.....	53

Referencias Bibliográficas	54
----------------------------------	----

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Composición bromatológica de la cáscara, mucílago y cascarilla</i>	17
Figura 2 <i>Partes de la mazorca de cacao</i>	17
Figura 3 <i>Etapas del proceso fermentativo del mucílago de cacao</i>	20
Figura 4 <i>Afectación del suelo donde se desecha el mucílago de cacao</i>	21
Figura 5 <i>Pasos para la realización de una revisión sistemática</i>	25
Figura 6 <i>Búsqueda de Artículos en Connected Papers</i>	26
Figura 7 <i>Análisis fisicoquímico del vino y el vinagre</i>	33
Figura 8 <i>Proceso de extracción de compuestos bioactivos presentes en el mucílago de cacao</i> .	38
Figura 9 <i>Resultados concentración de bioetanol</i>	41
Figura 10 <i>Características tratamientos estudiados</i>	44
Figura 11 <i>Determinación de acidez y pH de los tratamientos aplicados</i>	45

Introducción

El cultivo de cacao es de gran importancia para la economía de muchas regiones, siendo el pilar fundamental de una de las industrias de mayor relevancia a nivel mundial (Industria del Cacao). Sin embargo, el procesamiento de este conlleva a ciertos desafíos ambientales, económicos y sociales. Dentro de los subproductos que generan mayor problemática se encuentra el mucílago, una sustancia viscosa que rodea los granos de cacao. Según lo expuesto por Plasencia *et al.* (2021), si a este no se le da una correcta disposición, puede afectar de forma significativa la contaminación del agua y de los suelos, conllevando a impactos negativos en el medio ambiente, y en la economía y salud de las personas. Esto, generando gran preocupación y la necesidad de prestarle atención, debido a las diversas consecuencias que se pueden seguir desencadenando por su inadecuada disposición.

En este sentido, tanto la Industria Agrícola como la Industria de Alimentos han venido desarrollando nuevas ideas, a través de investigaciones fructuosas como las de Mendoza *et al.* (2020), Vásquez *et al.* (2020) y Guarín y Suarez (2019), las cuales buscan resaltar y potenciar los beneficios del mucílago, no solo para aprovecharlo de forma individual, sino también como aditivo para mejorar las características y propiedades de otros productos, logrando así un mejor desarrollo sostenible para ambas. Asimismo, Villarroel *et al.* (2023) y García *et al.* (2022) mencionan ventajas del uso adecuado de este subproducto, ya que este puede proporcionar bases fundamentales para el progreso en el campo, acudiendo a la implementación de la biotecnología para su transformación y aprovechamiento de los compuestos nutritivos que lo componen, sirviendo además como fuente para la producción de bioetanol, biogás, biofertilizante, entre otros biocompuestos.

Por lo tanto, la presente Monografía presentada como Opción de Grado para la Carrera de Ingeniería de Alimentos, busca proponer alternativas biotecnológicas a las que se pueda acudir para darle un nuevo uso a este subproducto en el Oriente Caldense (más específicamente en el municipio de Victoria Caldas y sus alrededores), mediante recopilación de referentes bibliográficos, significando un nuevo avance en la generación de ideas que vayan de la mano con el desarrollo investigativo de la región, puesto que estas pueden contribuir a una mayor sostenibilidad, ofrecer nuevos productos y aplicaciones, y generar valor económico adicional, beneficiando tanto a los productores como al medio ambiente.

Definición del Problema

Antecedentes y Descripción del Problema

En la última década, la producción de cacao en Colombia ha venido incrementando considerablemente, según Ortiz et al. (2020) “este crecimiento ha sido de aproximadamente un 6,48 %, lo cual ha desencadenado problemáticas ambientales como: contaminación de suelos, proliferación de microorganismos patógenos, daños a cultivos, debido a que solo el 10 % del fruto es utilizado por la Industria Agronómica” (p. 67). El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2021) asegura que “Caldas ha venido presentado un incremento en la producción de cacao del 708 %” (p. 8), donde a pesar de significar un avance para la región, este también genera preocupación por el impacto negativo que produce el desperdicio del 90% restante de este fruto (cáscara y mucílago) en términos ambientales, agrícolas y económicos.

Con base en lo anterior y haciendo énfasis en el proceso de cosecha y postcosecha de cacao que se está llevando a cabo en el Oriente de Caldas, tomando como referencia el municipio de Victoria Caldas y sus alrededores, se logra identificar que en la actualidad los agricultores de esta región están desperdiciando estos residuos, en especial el mucílago, “donde este presenta una lenta degradación del sustrato que, al acumularse en grandes cantidades, afecta de manera directa la calidad del fruto y los resultados de la producción del cultivo. Debido a enfermedades como *P. nicotianae var. parasitica*, *Moniliophthora perniciosa*, la moniliasis (*Moniliophthora roreri*), las cuales pueden llegar a generar daños en el cultivo del 40 al 100 %. De manera similar, en el proceso de degradación del sustrato se derivan los lixiviados, impactando directamente sobre la condición del suelo, pues este es el soporte y fuente de los nutrientes necesarios para el adecuado desarrollo de las plantas” (Ortiz et al., 2020, p. 69). Lo anterior,

provocando déficits financieros para estos agricultores, ya que estos efectos producidos por la descomposición descontrolada de este desecho les genera costos innecesarios.

Ahora bien, “se ha venido estudiando rigurosamente la posibilidad de aprovechar este subproducto, ya que dentro de su composición posee diferentes componentes físicos, químicos, enzimáticos, nutricionales, que muchas materias primas empleadas no presentan. En pocas palabras, se trata de una biomasa que puede extenderse hacia la Industria de Alimentos, la Cosmética, la Medicina y como también en la obtención de compuestos bioactivos como los flavonoides” (Vásquez *et al.*, 2020, p. 1), siendo estas características un fundamento válido para llevar a cabo esta investigación.

Dada esta situación, con la presente se espera proponer alternativas para el aprovechamiento de este subproducto, mediante la recopilación de información bibliográfica sobre la aplicación de procesos biotecnológicos que tengan como fin su enriquecimiento nutricional y funcional, reduciendo los impactos negativos mencionados con anterioridad. Esto, quitándole un peso de encima al medio ambiente, trayendo a su vez beneficios para la salud humana, e incluso para el mejoramiento y cuidado de los cultivos, reduciendo costos.

Formulación

¿Cuáles son las alternativas biotecnológicas más viables para aprovechar el mucílago de cacao en el Oriente Caldense, teniendo en cuenta su impacto en la sostenibilidad ambiental, agrícola y económica de esta región?

Limitaciones de la Monografía

Uno de los mayores desafíos que podrían surgir en esta Monografía es la limitación de información actualizada acerca de las necesidades presentan los agricultores de esta región, siendo necesario recurrir a la búsqueda de información a través de entes locales (ASOVICA, Umata y Secretaría de Agricultura), además de la falta de recursos para costear los gastos de transporte, Internet y viáticos que se necesitan para llevar a cabo la búsqueda de información.

Justificación

“En las últimas décadas, el departamento de Caldas se ha venido caracterizando por su incremento en la siembra de cultivos de cacao, donde en la actualidad se encuentran sembradas entre 4 mil 500 y 5 mil hectáreas de este fruto, lo cual se traduce a una producción de aproximadamente 4,000,000 kg de mazorcas de cacao al año, siendo aprovechado solo el 10% de este, mientras que el 90% restante es desperdiciado (3,600,000 kg)” (Gobierno de Caldas, 2024, párr. 9). Autores como Vera *et al.* (2020) y Mendoza (2024) dan a conocer que este desperdicio generado en grandes volúmenes causa impactos ambientales, agrícolas y económicos, debido a que solo se le da un aprovechamiento prioritario a la almendra, donde las cáscaras y las pulpas del cacao son desechadas en terrenos cercanos a los cultivos de cacao, produciendo daños en los suelos, en cuerpos de agua, dando cabida a la proliferación de microorganismos y produciéndose además olores desagradables. Sin embargo, otros autores como Plasencia *et al.* (2021) han comprobado el potencial energético del mucílago de cacao por medio de celdas de combustible microbiano, al igual que Peñaloza *et al.* (2021) que han dado a conocer este subproducto como fuente de compuestos químicos como alcaloides, polifenoles, y polisacáridos de gran interés para las Industrias Farmacéutica, Cosmética y Alimentaria, respectivamente; siendo este un fundamento válido para ir continuar en la búsqueda de otras alternativas que tengan como fin el aprovechamiento de este residuo.

Por esta razón, se piensa que la mejor opción para dar solución a esta problemática es a través de la utilización de la biotecnología, ya que esta es una disciplina que proporciona la oportunidad de producir, procesar y mejorar los alimentos, generándose la expectativa de que con esta además de poder estudiar más fondo el mucílago, se pueda llegar a la propuesta de alternativas biotecnológicas mediante la recopilación de información bibliográfica que sean

viables y logren el aprovechamiento de este subproducto, permitiendo que los agricultores de esta región puedan incorporarlas en sus prácticas agrícolas diarias, mejorando así el bienestar de sus cultivos, del medio ambiente y el de sus bolsillos.

En estudios previos como los realizados por Uvidia *et al.*, 2020 Intriago *et al.*, 2023 y Vera *et al.* (2023) se ha explorado el potencial de este subproducto, obteniéndose que este cuenta con un gran valor nutricional y funcional, ya que tiene una variedad de componentes enzimáticos, fisicoquímicos y nutricionales que no se encuentran otras materias primas utilizadas en la Industria alimentaria, lo cual viabiliza y le da mayor relevancia a esta investigación. Algunas de las alternativas en las cuales se hará énfasis van desde la posibilidad de elaborar mezclas fermentadas con ácidos, la obtención de bioetanol, hasta la producción hidrógeno como fuente de energía limpia (por fermentación oscura).

De esta manera, queda claro que encontrar alternativas biotecnológicas para el aprovechamiento del mucílago de cacao trae consigo una serie de beneficios potenciales como lo son la incorporación de nuevas tecnologías en el campo y la mejora de la productividad agrícola, la reducción del uso de fertilizantes y pesticidas, la reducción del desperdicio alimentario, así como también contribuye a la seguridad alimentaria; permitiendo así la reducción de los impactos negativos que se están originando en esta región en términos ambientales, agrícolas y económicos, al mismo tiempo que fortalece la relación entre la industria y la preservación de la cultura y la tradición agrícola.

Objetivos

Objetivo General

Proponer alternativas biotecnológicas viables para aprovechar el mucílago de cacao en el Oriente Caldense, mediante recopilación de información bibliográfica, evaluando la forma en la que estas impactarían en la sostenibilidad ambiental, agrícola y económica de la región.

Objetivos Específicos

Identificar las propiedades funcionales que presenta el mucílago de cacao, con el fin de resaltar los posibles beneficios de su aprovechamiento para los agricultores de cacao del Oriente Caldense, partiendo de sus necesidades.

Recopilar información relevante sobre la aplicación de procesos biotecnológicos en el mucílago de cacao para el enriquecimiento de su valor nutricional y funcional, mediante la consulta de referentes bibliográficos en bases de datos como: Connected Papers, Google Académico, Redalyc, y ScienceDirect.

Analizar los diferentes aspectos y procedimientos relacionados con la transformación del mucílago de cacao, los cuales podrían aplicar los agricultores del Oriente Caldense, logrando así aprovechar su potencial y reducir los impactos negativos que este genera.

Marco de Referencia

Marco Conceptual

Cacao

Generalidades.

Según Rodríguez *et al.* (2022) “Theobroma cacao L. es un árbol del bosque tropical, se clasifica dentro de la familia Malvaceae originario del sur de América. El árbol se conoce comúnmente como cacao mientras que el término cocoa se refiere a los productos preparados con las semillas secas y fermentadas; algunas de las variedades más conocidas son: Cacao Criollo, Cacao Forastero y Cacao Trinitario” (p. 36). Seguidamente, Montealegre *et al.* (2021) explican que “el cultivo de cacao es de gran importancia para la económica agrícola para Colombia, ya que en los últimos años se ha promovido su implementación como una solución a los cultivos ilícitos” (p. 59). Por otra parte, Peñaloza *et al.* (2021) afirman que “el grano de cacao colombiano es reconocido a nivel mundial por su calidad y aroma y es empleado como materia prima en las industrias de confitería y de producción de chocolates, cosméticos y farmacéuticos” (p. 84), siendo estos conceptos claves para conocer más acerca de este fruto.

Características Físicoquímicas.

Dentro de las características físicoquímicas que posee el cacao, en la siguiente figura (**Figura 1**) se muestra el resultado de un análisis bromatológico realizado en 3 muestras (Cáscara, Mucílago, Cascarilla), lo cual es importante para determinar las causas que derivan en la contaminación que presentan estos residuos, ya que a partir de estas características se puede establecer la manera en la cual estos se pueden aprovechar.

Figura 1

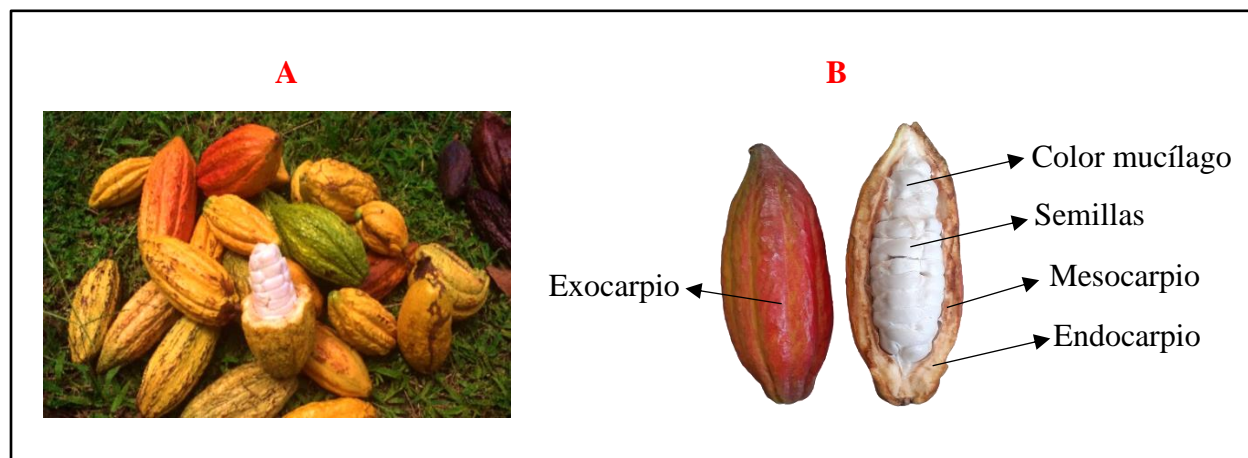
Composición bromatológica de la cáscara, mucílago y cascarilla

Compuesto %	Muestra		
	Cáscara	Mucílago	Cascarilla
Cenizas%	1,33	0,405	5,88
Proteína %	1,09	0,658	14,7
Humedad %	85,2	83,5	6,62
Fibra cruda %	2,58	0,0294	21,1
Grasa %	0,368	0,133	13,9
Carbohidratos totales %	9	15	38
Azúcares totales mg/100g	ND	1,31	ND
Azucars reductores mg/100g	ND	0,644	ND

Fuente: Torres (2023).

Figura 2

Partes de la mazorca de cacao



Fuente: elaboración propia.

En el ítem **A** de la anterior figura (**Figura 2**), se pueden observar distintas variedades de cacao, las cuales se distinguen por su tamaño, forma y color, mientras que en el ítem **B**, se dan a

conocer las partes que conforman la mazorca de cacao, que a su vez cumplen una función determinada para proteger el fruto y garantizar que la semilla se mantenga bajo las mejores condiciones antes de ser procesada.

Biotechnología Alimentaria y Agrícola

Inicialmente, cabe señalar que según Villacreses *et al.* (2022) “el significado "biotecnología" surge de la unión de dos palabras, dichas palabras son: biología y tecnología. La biotecnología es precisamente eso, tecnología y biológica” (p. 80). Ahora bien, existen muchas áreas en las cuales se puede llevar a cabo la aplicación de la biotecnología, sin embargo, en la presente investigación se hará énfasis en dos áreas en particular como lo son el área de la alimentación y de la agricultura; “en la primera, esta utiliza técnicas y procesos que emplean organismos vivos o sus sustancias para producir o modificar un alimento, mejorar las plantas o animales de los que provienen, o desarrollar microorganismos que intervengan en su elaboración. Además, también interactúa en el control y seguridad de los alimentos que se ingieren” (Biopositivizate, s.f.; Villacreses *et al.*, 2022, p. 81). “Mientras que, en la segunda, cumple la función de domesticar de manera consciente pero intuitiva de especies naturales para obtener mejores clases de productos agrícolas” (p. 82). Lo anterior, dando una visión más clara acerca del papel que cumple esta rama de las ciencias biológicas.

Subproductos del Cacao

Si bien, “la industria de procesamiento del cacao genera gran cantidad residuos (mejor llamados subproductos) infrutilizados como la cáscara de la mazorca, el mucílago y la cascarilla de la semilla” (Turriago, 2023, p. 8). Por su parte, García *et al.* (2022) aseguran que “estos subproductos agrícolas son fuente de compuestos nutritivos de interés para el sector de rumiantes. Los estudios realizados en esta materia han demostrado que tiene un alto porcentaje

de proteínas, fibra, fenoles entre otros, que le otorgan propiedades nutraceuticas” (p. 42).

Logrando tener una perspectiva más clara acerca de este concepto.

Mucílago de Cacao

En cuanto al mucilago de cacao, “es necesario mencionar que este es un subproducto agroindustrial que se obtiene del proceso de fermentación, donde por cada 100 kg se produce aproximadamente de 4 a 7 litros de mucílago durante las primeras horas, este subproducto contiene carbohidratos, sales minerales y vitamina C, características nutricionales que constituyen los principales componentes para la obtención de una bebida” (Santana *et al.*, 2018; Intriago *et al.*, 2023, p. 76). “También contiene 11% de pectina, lo que contribuye a la textura de los productos” (Guamán *et al.*, 2021; Intriago *et al.*, 2023, p. 76). El mucílago de cacao es una sustancia viscosa y gelatinosa que rodea las semillas de cacao dentro de las vainas de cacao. Se encuentra entre la pulpa y las semillas y está formado principalmente por azúcares, pectinas y otras sustancias orgánicas, tal y como se mencionaba con anterioridad. El mucílago es esencial para el proceso de fermentación del cacao, ya que proporciona el sustrato para las bacterias y levaduras que fermentan las semillas y contribuyen al desarrollo del sabor característico del cacao.

A continuación, se da a conocer una imagen (**Figura 3**) con 3 etapas del proceso fermentativo del mucílago de cacao, donde se puede evidenciar el cambio en su pigmentación debido a las reacciones químicas presentadas durante este proceso. Asimismo, también se presenta una formación de nata debido a la separación de grasas y otros compuestos, producción de gases, la interacción de proteínas y polisacáridos, y la producción de ácidos.

Figura 3

Etapas del proceso fermentativo del mucílago de cacao



Fuente: elaboración propia.

Marco Teórico

En esta sección se lleva a cabo una revisión bibliográfica de los conceptos generales, a través de los cuales se sustenta el análisis textual de las alternativas biotecnológicas para el aprovechamiento del mucílago de cacao. Los conceptos por contemplar son: disposición del mucílago de cacao; propiedades y beneficios; formas de aprovechamiento; y, por último, aplicación de procesos biotecnológicos.

Disposición del Mucílago de Cacao

La disposición que se le dé a un residuo es de suma importancia, debido al impacto negativo que este puede generar. “Durante el procesamiento del cacao pueden surgir problemas que afecten el equilibrio del ambiente, pues requiere una considerable demanda de energía, agua y se generan residuos como es el caso del mucílago (baba) del cacao resultado del proceso fermentación, que pueden convertirse en un problema ambiental cuando la disposición es inadecuada” (Konstantas *et al.*, 2018; Molina *et al.*, 2020, pp. 59-60). Por consiguiente, otro

estudio realizado indica que “el mucílago es desperdiciado cayéndose en la zona de fermentación, lo que produce contaminación siendo una fuente para el crecimiento de microorganismos, la cantidad de lixiviado que se produce varia de un 40 a 50 % de las semillas secas” (Balladares, 2016; Ortiz & Álvarez, 2015; Teneda, 2016; Vallejo *et al.*, 2016; Lozano, 2020, p. 10). Asimismo, en una investigación llevada a cabo por Cortez y Oleas (2023) "los resultados revelaron que la mayoría de los agricultores encuestados no utilizaban el mucílago y desconocían sus propiedades, presentándose la falta de correspondencia en un desperdicio de un recurso muy valioso" (p. 47). Esto, gracias a la aplicación de encuestas, entrevistas y una observación profunda realizada.

Figura 4

Afectación del suelo donde se desecha el mucílago de cacao



Fuente: elaboración propia.

En la anterior imagen (**Figura 4**) se da a conocer el quebrantamiento del suelo producido por el contacto del mucílago de cacao, donde este sufre una alteración en su estructura (erosión) y propiedades (microbiota, pH, nutrientes, entre otros...).

Funciones y Propiedades Fisicoquímicas del Mucílago de Cacao

Indagando acerca de las funciones y propiedades fisicoquímicas que tiene el mucílago de cacao, “se encuentra que este subproducto ayuda a la germinación de las semillas, al entrar en

contacto con el agua, ya que esto aumenta el volumen haciendo que el rededor de la semilla se produzca una capa húmeda la cual facilita la germinación, además protege la planta de daños externos” (García, 2011; Uvidia *et al.*, 2020, p. 507). Por consiguiente, según Vera *et al.* (2023) “el mucílago o pulpa de cacao es un subproducto obtenido antes del proceso de fermentación, es una sustancia rica en nutrientes, además posee características organolépticas agradables” (p. 17). Además, “la pulpa de la semilla o mucilago representa alrededor del 40% del peso fresco de la semilla y está compuesta por un tejido parenquimatoso esponjoso que contiene savia celular, que es rica en azúcares (10-13% de glucosa y fructosa; 0,7% de sacarosa, sales (8-10%), pantanosos (1.5% pectina), ácidos orgánicos (1-2%) y proteína (0,6%)” (Gildemberg *et al.*, 2008; Carvajal, 2020, pp. 25-26). Lo cual facilita tener una visión más clara acerca de las características que presenta este subproducto desde su interior hasta su exterior.

Algunas Formas de Aprovechamiento

Sin duda alguna, hoy en día existen diversas formas para aprovechar el mucilago de cacao, como lo es el caso de Arciniega y Espinoza (2020), los cuales afirman que "se ha desarrollado una bebida a base del néctar del mucílago de cacao, donde se utilizó este subproducto porque su desperdicio es masivo, partiendo además de las vitaminas y energía que aporta al organismo" (p. 311). Por su parte Mendoza *et al.* (2020) desarrollaron “una bebida fermentada a base de lactosuero y soya inoculada con mucílago de cacao nacional al 5%, 10% y 15%, mejorando así sus características organolépticas y dándole el uso adecuado a dichos subproductos” (p. 44). Además, Vásquez *et al.* (2020) afirman que “el mucílago de cacao se puede aprovechar como clarificante (producción de panela), fuente de fibra (alimentación) y de antioxidantes (en cultivos y frutas)” (pp. 6-7). Siendo estas solo algunas de las formas en las que

es utilizado este subproducto, las cuales van desde la alimentaria hasta la farmacéutica, y su uso está siendo objeto de investigación y desarrollo continuo.

Aplicación de Procesos Biotecnológicos

Sin duda alguna la aplicación de procesos biotecnológicos para la mejoría del mucílago son una nueva alternativa para darle una segunda oportunidad de ser aprovechado. En este sentido, Moreno *et al.* 2020 “realizaron una investigación para desarrollar un bioproducto de utilidad que mejore las condiciones de cultivos afectados por esta problemática. El componente principal del producto es el mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.), que a pesar de ser un desecho puede ser aprovechado para elaborar mezclas fermentadas con ácidos débiles (ácido cítrico y ácido acético), que resultan eficientes para combatir algunos fitopatógenos” (p. 98). En un estudio realizado por Villarroel *et al.* (2023) estos encontraron que “el alto contenido de azúcares reductores que se encuentra en el mucílago de las variedades CCN-51 7.42% de azúcares y 11.36% en Nacional) permitió que el mucílago se degradara fácilmente y de esta manera obtener bioetanol el mismo que fue sometido a diferentes análisis para determinar las características fisicoquímicas. La concentración de levadura *Saccharomyces cerevisiae* aplicada para obtener bioetanol y que mejores resultados se obtuvieron es del 0.05% esto permite que durante el proceso de fermentación del bioetanol a partir del mucílago del cacao los azúcares se oxiden más fácilmente para producir un mayor contenido alcohólico” (p. 98). Finalmente, otro de los estudios que se han realizado, como el de Guarín y Suarez (2019), han demostrado que “la investigación realizada en la Universidad Cooperativa de Colombia, propone el uso del proceso de fermentación oscura como una fuente de energía limpia; así mismo, dentro de la investigación realizada se utilizaron como sustratos tres tipos de residuos orgánicos en diferentes proporciones creando siete tipos de mezclas, que fueron evaluadas empleando reactores de vidrio de 250 ml,

sometidos a temperatura constante de 35° C para realizar el proceso de fermentación oscura durante 16 días. No obstante, se evaluaron la Relación Mucilago de café vs Mucilago de cacao (RSM:C), Carga Orgánica del Sustrato (COSust) y finalmente la Relación Carbono y Nitrógeno (C/N). Al finalizar este período, se observó una mayor producción de hidrógeno en la mezcla número 2 donde la relación mucilago de café vs Mucilago de cacao y la carga orgánica del sustrato, son las menores proporciones y su relación carbono y nitrógeno se encuentra en un valor promedio” (p. 1). Esto, sirviendo como abre bocas al desarrollo de una investigación profunda la cual evalúe todas estas alternativas bajo su viabilidad de ser aplicadas en la región objeto de estudio para el aprovechamiento de este subproducto objeto de estudio.

Metodología

La metodología para usar en el desarrollo de esta Monografía se basa en la lógica cualitativa, ya que esta permite la manipulación y representación de la información bajo diferentes aspectos cualitativos, es decir, facilita presentar un punto de vista más contextual y abstracto de la información.

“Partiendo de la naturaleza de la presente investigación, se consideró pertinente trabajar bajo el método de revisión sistemática, puesto que este permite sintetizar evidencias que pueden ser fuentes confiables para asistir la toma de decisiones basadas en estas. Además, este tipo de revisión presenta la ventaja de minimizar los sesgos y aumentar la precisión de los resultados; no sin antes mencionar que permite identificar, seleccionar, valorar críticamente y sintetizar cualitativa o cuantitativamente (metaanálisis) los hallazgos de estudios individuales” (Sgarbossa *et al.*, 2022, p. 2).

A continuación, se da a conocer una representación esquematizada (**Figura 5**) de las etapas que demanda cumplir el método mencionado con anterioridad.

Figura 5

Pasos para la realización de una revisión sistemática

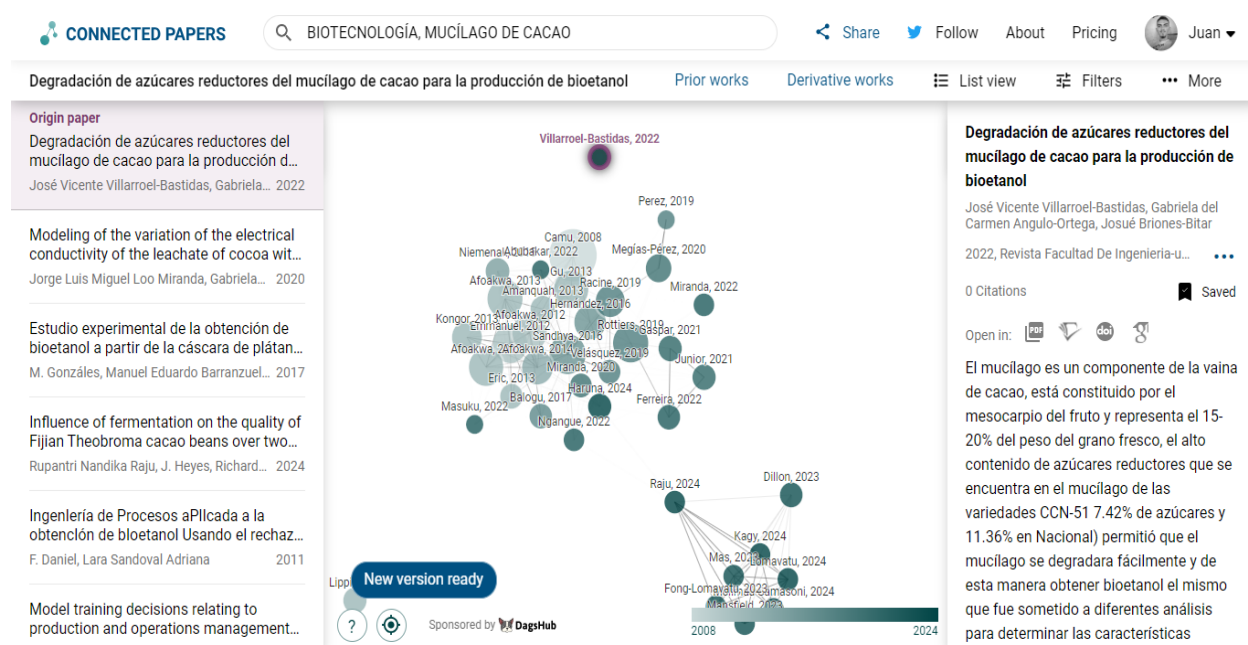


Fuente: Adaptado de Sgarbossa *et al.* (2022).

Asimismo, cabe señalar que se hará uso de una herramienta de búsqueda sofisticada como lo es “Connected Papers” apoyada en bases de datos como: Google Académico, Redalyc, y ScienceDirect, donde se pueda filtrar información de artículos de acuerdo con sus autores y las distintas temáticas de interés, además de conocer la relación que estos guardan entre sí, tal y como se muestra en la **Figura 6**.

Figura 6

Búsqueda de Artículos en Connected Papers



Fuente: Connected Papers (2024).

Resultados y Discusión

Después de haber realizado una búsqueda minuciosa de artículos, los cuales tuvieron como objetivo principal el aprovechamiento del mucílago de cacao mediante la implementación de la biotecnología, se encontró que muchos de estos llegaban a una serie de conclusiones, donde se resaltaban las características que presenta subproducto y el valor que tiene hoy en día para las Industrias, en especial para la Industria Alimentaria. De acuerdo con esto, en el siguiente apartado se da a conocer el análisis de los resultados más relevantes.

Alternativas Biotecnológicas Para el Aprovechamiento del Mucílago de Cacao

Inicialmente, cabe señalar que la biotecnología se ha venido convirtiendo en una herramienta que brinda diversas alternativas para potenciar los subproductos alimentarios (como lo es el caso del mucílago de cacao), logrando sacar el mejor provecho de estos.

A continuación, se muestran los resultados más relevantes, los cuales se organizaron según su naturaleza y área de interés:

Fermentación a Base de Biotecnología

Si bien, la biotecnología puede ser aplicada en muchos campos, dentro de estos se encuentran los procesos fermentativos, los cuales juegan un papel importante en la producción y conservación de los alimentos.

En este sentido, “en un estudio realizado sobre la mejora de la calidad del cacao, se determinó que al integrar la *Candida tropicalis* en la fermentación, se puede acelerar la degradación de la pulpa de cacao, mejorando la aireación y reduciendo los factores de acidez del cotiledón. Para explorar este potencial, se probaron el jugo de pulpa de cacao (1: 2) y la harina de vaina de cacao como medios de apoyo para la liofilización de la *Candida tropicalis*. Se evaluó la

viabilidad de la levadura después de la liofilización, con sacarosa utilizada como control para la comparación. Además, se evaluó la actividad enzimática para confirmar la preservación funcional de la levadura. Los resultados mostraron tasas de supervivencia de $72,70 \pm 0,56\%$ cuando el jugo de la pulpa de cacao se combinó con harina de vaina de cacao y $69,64 \pm 0,52\%$ cuando el jugo de la pulpa de cacao se utilizó solo. Estas tasas de supervivencia son comparables a las logradas con la sacarosa, un material de soporte convencional, lo que indica que los residuos de cacao pueden apoyar eficazmente el proceso de liofilización de *Candida tropicalis*” (Kadet *et al.*, 2024, p. 239). Así pues, esta alternativa muestra tener un enfoque rentable y sostenible para aprovechar este subproducto, mejorando la calidad del cacao, siendo de suma importancia la optimización de este método para su aplicación a mayor escala.

Fermentación Acido Láctica.

Como bien se sabe, la fermentación láctica es aquel proceso metabólico en el que bajo condiciones anaerobias intervienen microorganismos como las bacterias lácticas y algunas levaduras, con el fin de convertir los azúcares en ácido láctico.

“En una investigación se encontró que las Bacterias Acido-Lácticas (BAL) presentes en el mucílago de cacao son de acción anaerobia las cuales pueden fermentar varios alimentos como carnes hasta vegetales” (Drider y Rivera, 2016; Torres, 2023, p. 54). “Asimismo, la innovación en alimentos da la oportunidad para que residuos como el mucilago pueda ser empleados en nuevos procesos como la obtención de bacterias ácido lácticas (BAL), las cuales se recolectaron después de 48 horas para ser inoculadas en leche mediante un control de pH y sólidos solubles resultando en un queso semiduro de los agro residuos industriales para la obtención de compuestos enzimáticos como lipasas, empleando la fermentación solida e inoculando una cepa de por *Penicillium roqueforti*” (Tuárez *et al.*, 2021; Torres, 2023, p. 54). Esto, aumentando el

interés por parte de las Industrias Cárnica y Láctea, al reconocer este subproducto como fuente potencial de microorganismos benéficos.

Además, “otra investigación tuvo como objetivo evaluar la conservación de papaya con aplicación de bacterias ácido-lácticas provenientes del mucílago de cacao, se utilizaron diferentes porcentajes de aplicación (0, 5, 10%) mediante aspersión a temperatura ambiente 35°C, el cambio en las características físicas, químicas, y microbiológicas en un periodo de 14 días, el peso de papaya fluctuó entre 1 1.4 kg, considerando una madurez de cosecha. Se realizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo bifactorial AxB, para la comparación de medias de los tratamientos (prueba de rangos de Tukey al 5%). Bajo condiciones de pH = 7,27, °Brix = 7,00 y Acidez = 0,09, el Tratamiento 9 (10% BAL; 14 Días) mantuvo las mejores propiedades de almacenamiento después del tiempo de almacenamiento de 14 días, el color del fruto se mantuvo en niveles adecuados” (Erazo *et al.*, 2020, p. 41); siendo esta una nueva alternativa que guarda importancia para la Industria de Fruver, puesto que esta es una Industria que viene incorporando nuevas tecnologías para la conservación de la calidad de los productos agrícolas. No sin antes mencionar que esta también puede ser de beneficio para aquellos agricultores que tienen cultivos de papaya aledaños a los de cacao.

Fermentación Oscura.

En los últimos años, la implementación de la fermentación oscura ha venido tomando mayor fuerza, debido a que esta se realiza con biomasa, la cual es degradada cierto tipo de bacterias y arqueas.

Debido a esto, se han adelantado una serie de estudios e investigaciones, donde se tiene como pilar fundamental la producción de hidrógeno a partir del mucílago de cacao. “En una de estas investigaciones se realizó la evaluación de la eficacia de este proceso a escala de

laboratorio, mediante pruebas en reactores batch hechos de vidrio ámbar de 250 ml y con un espacio de cabeza de 220 ml. Las temperaturas evaluadas durante el experimento fueron 35 °C (mesófila) y 55 °C (termófila). Las cargas orgánicas evaluadas durante el proceso fueron 4, 8 y 12 gramos de sólidos volátiles por litro (gVS/L), respectivamente. La duración de la prueba experimental estuvo sujeta a la presencia de metano en el gas producido. Para determinar la presencia de metano, se utilizó un analizador portátil. La determinación del gas se realizó diariamente. La evidencia de la velocidad de reacción en las pruebas a 55 °C es mayor que a 35 °C, y la presencia de metano en condiciones termófilas ocurrió a los cinco días, mientras que las condiciones mesófilas ocurrieron a los 23 días. Se encuentra que, para pruebas a dos temperaturas, los mejores resultados se detectan cuando la carga orgánica es de 12 gVS/L, y la producción máxima de hidrógeno (703 ml H₂) se alcanza cuando la temperatura es de 35 °C. La producción máxima sugiere que en condiciones mesófilas el proceso puede mantenerse en hidrólisis durante tiempos más largos” (Rojas *et al.* 2020, 283). Por lo tanto, estos resultados además de establecer las condiciones apropiadas para que se lleve a cabo una correcta fermentación, también sirven como base para futuras investigaciones a mayor escala.

“En otro estudio, de igual manera se investigó el tratamiento de biomasa residual mediante fermentación oscura (FD) como una alternativa sostenible para la producción de biohidrógeno y subproductos biológicos. Se evaluó el potencial bioquímico de hidrógeno (BHP) a partir de mezclas de estiércol de cerdo, mucílago de cacao y mucílago de café, utilizando diferentes cargas orgánicas (10 a 50 gSV/l) y relaciones sustrato/matriz (S/X) de 1:1 y 1:2, bajo condiciones mesófilas ($\pm 35^{\circ}\text{C}$), con una relación C/N de 35 y pH de 5,5. Los experimentos se realizaron en erlenmeyers sellados, y la producción de metano se monitorizó diariamente. Los resultados mostraron que la mezcla con 10 gSV/L y S/X de 1 generó la mayor producción de

hidrógeno (232 mL), además de 4040 mg DQO/L de ácidos grasos volátiles y una remoción del 84% de sólidos volátiles” (Rangela *et al.*, 2020, p. 133). Es así como estos hallazgos refuerzan la posibilidad de que se sigan implementando procesos que mejoren la eliminación de sólidos para una obtención de subproductos con una mejor calidad.

Al igual que en el caso anterior, “también se identificaron los subproductos de valor agregado durante el uso de estiércol de cerdo (MP), mucílago de café (CM) y cacao (CoM) mediante un proceso de fermentación oscura en una batería de reactores discontinuos (botellas de 200 ml). Se evaluó la carga orgánica (2, 5 y 8 g DQO/l), la relación C/N (25, 35 y 45) y la relación CM: CoM (3:1, 1:1 y 1:3). El mayor rendimiento de producción de hidrógeno de 271,3 ml H₂/g DQO se asoció con las condiciones experimentales de la mezcla 2 (2 g DQO/l, relación C/N 35 y CM: CoM 1:3). Las fermentaciones de acetato, propionato, butirato y lactato se asociaron con las vías metabólicas del proceso y participaron en la DQO soluble con 29, 12, 46 y 13%, respectivamente. Se identificó que la vía acetato-butirato fue la principal vía metabólica, y la relación acetato/butirato estuvo en el rango de 1:1–5,9:1. La población microbiana encontrada en los procesos de codigestión trabajados estuvo dominada por los géneros *Clostridium*, *Bacillus* y *Tisierella*” (Ochoa *et al.*, 2021, p. 5937). De este modo, dichos sustratos, en especial el mucílago de cacao puede ser utilizado para la producción de subproductos valiosos y energía de forma eficaz.

Fermentación Acética.

En la Industria Alimentaria, la fermentación acética juega un papel importante en la producción de ácido acético, el cual tiene diversos usos como la producción de vinagre, por ejemplo.

Los resultados encontrados acerca de este tipo de fermentación relacionándola con el mucílago de cacao muestran que, “se evaluó la obtención de ácido acético a partir del vino de este subproducto, para lo cual se puso en marcha un biorreactor a pequeña escala. Se empleó como sustrato el vino del mucílago de cacao nacional, a través de una fermentación sumergida con un inóculo del cultivo madre de vinagre. El vinagre se obtuvo mediante una fermentación oxidativa del alcohol presente en el vino. Se realizó la caracterización inicial del sustrato (% Alcohol= 18% (v/v), pH=5,2 y acidez=8,1 g/L), estableciendo las condiciones óptimas para una fermentación acética. Se suministró 1,5 L/min de O₂ durante 3 horas al día, evaluando el efecto sobre la producción de ácido acético (g/L) durante 12 días. La mayor producción de ácido acético fue 18,37 g/L, teniendo un rendimiento de 9 % en la producción de ácido, mientras que se obtuvo un rendimiento del 59% en la producción de biomasa. Se concluyó que la fermentación acética del vino del mucílago del cacao, con un flujo de oxígeno de 1,5 L/min durante 3 horas al día, produce un bajo rendimiento de ácido acético” (Palacios *et al.*, 2019, p. 18). Lo cual demuestra que este subproducto, aunque puede ser utilizado como productor de ácido acético, debe seguir presentando ciertas mejoras que vayan de la mano con la obtención de un mejor rendimiento.

Fermentación Alcohólica.

En un estudio relacionado con la fermentación alcohólica a partir del mucílago de cacao, “se obtuvo vino y vinagre a partir de la variedad CCN-51, utilizándose como materia prima, teniendo en cuenta otros ingredientes como agua, levadura y azúcar. Se diseñaron experimentos para obtener vino y para la obtención del vinagre, con sus respectivos análisis para determinar la calidad del producto. Como resultado (**Figura 7**), los procesos de fermentación duraron 40 días para la obtención del vino y 65 días para el vinagre, donde la muestra de vino de cacao CCN-51,

quedó con pH de 6.5, grado de alcohol de 13.5% y 790NTU de turbidez. Los resultados para el vinagre obtenido fueron: pH 2.75, Acidez total de 4.97, turbidez 38.68NTU. Ambos productos se obtuvieron con ausencia total de microorganismos o agentes patógenos, además de tener buena aceptación por parte de una población de 40 evaluadores, que evaluaron las características organolépticas (olor, color y sabor) que poseen el vino y el vinagre obtenido” (Cabrera *et al.*, 2022, p. 89).

Figura 7

Análisis fisicoquímico del vino y el vinagre

Parámetro	Vino	Rango de aceptación	Vinagre	Rango de aceptación**
Acidez (%)	4,2 (± 0.2)	4-16*	4.97 (±0.2)	4 – 6
pH	6,5 (± 0.5)	4-7	2.75 (± 0.4)	2.3 - 2.8
Turbidez (NTU)	790 (± 0.6)	100-1200	38.68 (±0.02)	
Grado de alcohol	13,5 (± 0.6)	Mínimo 6*		

Fuente: Cabrera et al. (2022).

Lo anterior, permitiendo la obtención de un vinagre y un vino aptos para el consumo humano.

De igual forma, “en otra investigación se evaluó la influencia del mucilago de cacao (theobroma cacao) en las características fisicoquímicas y sensoriales de la cerveza artesanal. Se establecieron 4 concentraciones de mucilago de cacao (1, 3, 7 y 10%), en el cual se aplicaron 4 tratamientos y un testigo. Posteriormente se determinó el mejor tratamiento mediante un análisis sensorial con 40 panelistas no entrenados, donde se evaluaron sabor, olor y color; para ello se aplicó un análisis estadístico no paramétrico Kruskal-Wallis, dando como mejor resultado al

tratamiento 1 (1% mucilago - 99% mosto). Se procedió a realizar análisis fisicoquímico y microbiológico dando como resultados: Anaerobios: $3,9 \times 10^4$ ufc/ml, mohos: $< 1 \times 10$ upc/ml, levaduras: $1,18 \times 10^5$ upc/ml. y los análisis fisicoquímicos: Acidez (expresada como ácido láctico): 0,26%, arsénico: $< 0,1$ mg/dm³, carbonatación: 3,8 L CO₂/L bebida, cobre: 0,088 mg/dm³, grado alcohólico a 20°C: 5,3% v/v, hierro: 2,103 mg/dm³, pH: 4,28, plomo: $< 0,01$ mg/dm³, zinc: 0,087 mg/dm³” (Pilligua *et al.*, 2021, p. 25). Dados estos resultados, es válido afirmar que la adición de mucilago de cacao en porcentajes de concentración bajos mejora las características sensoriales de la cerveza artesanal, con un nivel de significancia equivalente a 0,05.

Otras Variantes de la Fermentación.

Haciendo énfasis en otras variantes de la fermentación, “el mucílago de cacao se usó como sustituto del azúcar en la producción de una bebida fermentada, agregando así valor a lo que a menudo se descarta como desperdicio y ampliando sus aplicaciones. La investigación fue diseñada para evaluar los efectos de diferentes concentraciones de mucílago de cacao en el proceso de fermentación del Cultivo Simbiótico de Bacterias y Levaduras (SCOBY), con un enfoque en la producción de una bebida a base de té verde y negro. El diseño experimental incorporó factores como la concentración de mucílago (15, 20 y 30%) y el tipo de té (verde o negro). El proceso de producción de la bebida fermentada se describió meticulosamente, seguido de análisis fisicoquímicos completos (incluyendo pH, brix, alcohol, acidez, entre otros), microbiológicos (*E. coli*, *Salmonella*, levaduras y bacterias) y sensoriales (color, olor, sabor, dulzor y astringencia). Se formularon seis unidades experimentales modulando la concentración de mucílago y el tipo de té. Los resultados demostraron valores de pH de 3,58, 2,90 °Brix, 0,136% de acidez, una densidad de 0,98, turbidez de 10,4 NTU, 1,61 °GL y la ausencia de

cualquier contaminación microbiológica. La combinación de 20% de concentración de mucílago con té negro (a1b1) recibió la mayor aprobación en el análisis sensorial, con una puntuación media de 7,09/10,00 de 18 evaluadores. En aplicaciones industriales, el mucílago de cacao podría aprovecharse como fuente fermentativa debido a la presencia del tipo de levadura *Saccharomyces Servisiae*, que facilita la oxidación de azúcares en bebidas fermentadas” (Bastidas *et al.*, 2023, p. 1169). Por ende, este estudio expone uno de los tantos usos alternativos que se le pueden dar al mucilago de cacao, mitigando los efectos adversos que genera su inadecuada disposición.

“Además, en otro proyecto también se evaluó la aplicación de mucílago de cacao en concentraciones de 15, 20 y 30%, como fuente de azúcares en el proceso fermentativo del scoby (Symbiotic Culture Of Bacteria and Yeast) para obtener una bebida fermentada a base de té negro y verde. Se aplicó un diseño estadístico AxB para comparar las medias de los tratamientos, se utilizaron los programas estadísticos INFOSTAT para realizar los análisis de varianza, y STATGRAPHICS para comparar las diferencias de las medias mediante la prueba de significación de TUKEY. Se realizaron análisis fisicoquímicos a la bebida fermentada, además de análisis microbiológicos para detectar presencia de microorganismos, los resultados de estos fueron positivos al no detectarse presencia de microorganismos, lo que indica que el producto cumple con las normas establecidas, de los tratamientos estudiados el que presento mejores características tanto en los análisis y en cuanto a la aceptabilidad medida por medio de una catación, fue a1 b1 = (Concentración al 20%) y (té negro)” (Morales, 2022, p. 9).

Hidrolisis Enzimática en el Mucílago de Cacao

La hidrolisis enzimática en el mucílago de cacao cumple un papel fundamental a la hora de pensar en la mejora de muchos de los compuestos que presenta este subproducto, considerando sus propiedades benéficas.

Según los resultados encontrados, “el análisis fisicoquímico del mucílago mostró que contenía 45,03% de carbono, 5,40% de hidrógeno, 0,80% de nitrógeno, y una alta humedad (82,02%). Además, se identificaron azúcares como glucosa, sacarosa, fructosa y celobiosa, siendo la sacarosa la más abundante (108,43 g/l). La hidrólisis enzimática se llevó a cabo utilizando diferentes enzimas (α -amilasa, β -glucosidasa y CTEC2), y los resultados indicaron que el tratamiento con la enzima CTEC2 bajo condiciones de pH 3.50 y temperatura de 22°C incrementó en un 25% los azúcares reductores, lo que demuestra su efectividad” (Morocho, 2018, p. 3).

“Otro estudio tuvo como objetivo mejorar los precursores de sabor, particularmente aminoácidos libres y compuestos volátiles, de granos de cacao sin fermentar por hidrólisis, utilizando bromelaína. Los granos de cacao sin fermentar se hidrolizaron previamente con bromelina en concentraciones de 3,5, 7 y 10,5 U/mL durante 4, 6 y 8 h, respectivamente. Se realizó un análisis de la actividad enzimática, el grado de hidrólisis, los aminoácidos libres, el azúcar reductor, los polifenoles y los compuestos volátiles utilizando granos de cacao no fermentados y fermentados como controles negativos y positivos, respectivamente. Los resultados mostraron que el mayor grado de hidrólisis fue del 42,95% a 10,5 U/ml durante 6 h, aunque no se diferenció significativamente de la hidrólisis a 3,5 U/ml durante 8 h. Esto indica un azúcar reductor más alto y menor contenido en polifenoles que los granos de cacao sin fermentar. También hubo un aumento en los aminoácidos libres, especialmente los hidrofóbicos, como la

fenilalanina, la valina, la leucina, la alanina y la tirosina, y compuestos volátiles deseables, como las pirazinas. Por lo tanto, esto sugiere que la hidrólisis con bromelaína aumentó los precursores de sabor y sabores de cacao” (Purbaningrum *et al.*, 2023, p. 1).

Los resultados anteriores muestran la eficacia que existe a la hora de llevar la aplicación de este método, dándole un valor agregado a las propiedades de este subproducto y favoreciendo su potencial para ser utilizado por la Industria de Alimentos en distintos procesos fermentativos.

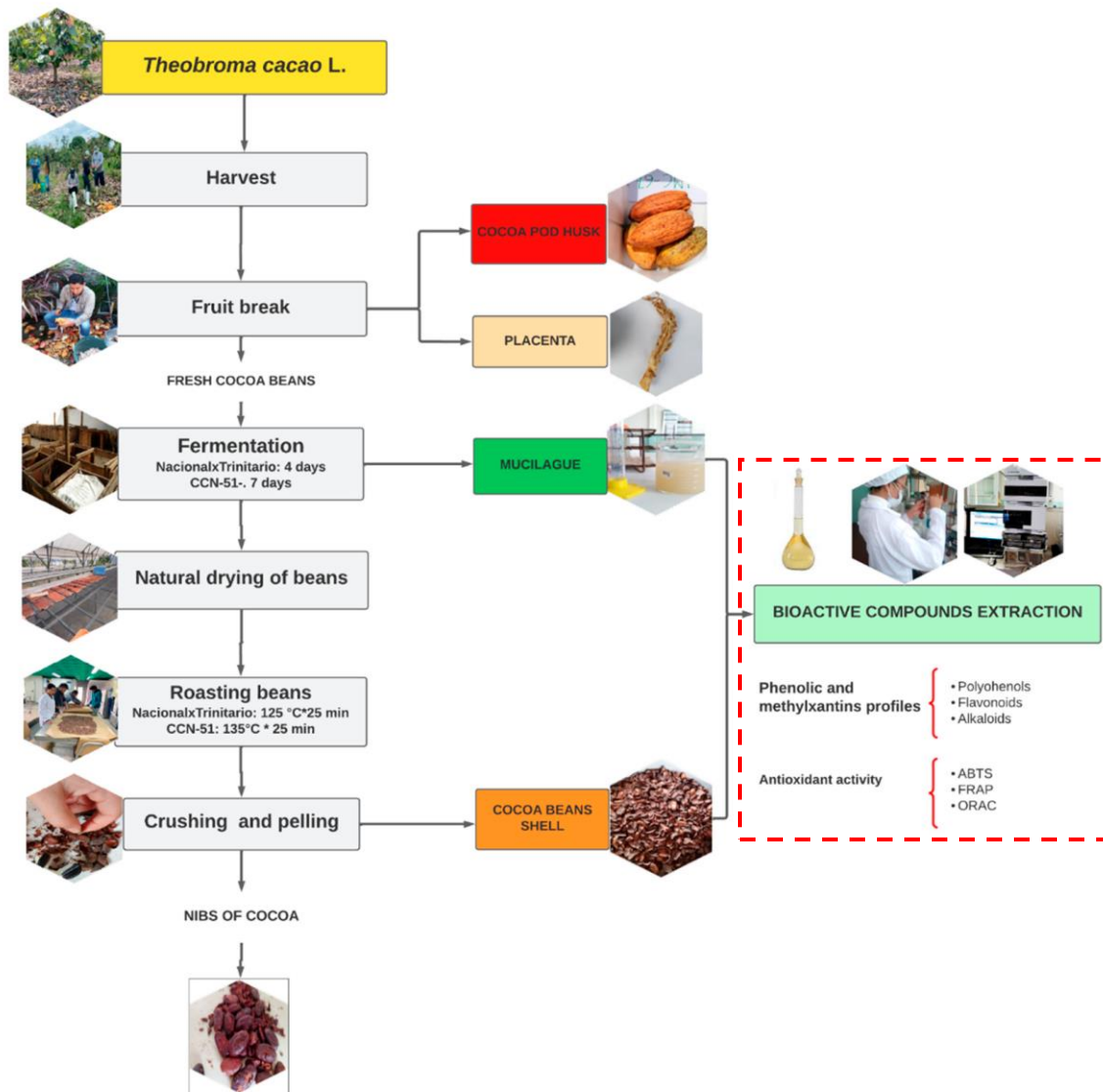
Compuestos Bioactivos y Acción Antioxidante del Mucílago de Cacao

Los compuestos bioactivos, como su nombre lo indica, juegan o cumplen un papel importante a la hora de pensar en el cuidado de la salud.

“El objetivo de uno de los estudios más relevantes fue determinar el perfil de compuestos bioactivos en residuos de cacao (mucílago y cáscara de grano), y evaluar su actividad antioxidante en dos variedades de cacao, tipo Nacional X Trinitario (Fino de Aroma) y la variedad CCN-51. La extracción de fitonutrientes de los residuos se realizó de forma selectiva. La caracterización y cuantificación del contenido total de polifenoles (TPC), y el contenido total de flavonoides (TFC) se determinaron mediante espectrofotometría UV-VIS” (Llerena *et al.*, 2023, p. 1).

Figura 8

Proceso de extracción de compuestos bioactivos presentes en el mucílago de cacao



Fuente: Llerena *et al.* (2023).

La anterior **Figura 8** da a conocer las etapas llevadas a cabo en el proceso de fermentación del cacao, pasando por la cosecha y la extracción de los granos, para finalmente llegar a la obtención de los compuestos bioactivos de interés.

“En este estudio, se utilizó cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) para analizar el perfil fenólico y las metilxantinas en muestras de mucílago de cacao (Nacional X Trinitario) y cáscara de cacao (CCN-51). Los resultados mostraron que el mucílago de Nacional X Trinitario tenía el mayor contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) (105,08 mg GAE/100 mL) y flavonoides totales (TFC) (36,80 mg CE/100 mL), destacando en catequina, procianidinas y metilxantinas (cafeína y teobromina). La cáscara de cacao CCN-51 presentó mayores valores antioxidantes en los métodos ABTS, FRAP y ORAC. La actividad antioxidante de los residuos se correlacionó fuertemente con los compuestos bioactivos, mostrando una alta correlación positiva con las procianidinas y catequina, y una correlación moderada con las metilxantinas” (Llerena *et al.*, 2023, p. 1).

“En otro trabajo, se tuvo como fin la obtención de chocolate blanco con propiedades funcionales, mediante la incorporación de microencapsulados de mucílago de cacao y pulpa de mortiño en concentraciones: 60 mg•kg⁻¹, 80 mg•kg⁻¹ y 100 mg•kg⁻¹. Los resultados mostraron el efecto de los microencapsulados sobre la capacidad antioxidante del chocolate, obteniendo los valores más altos en los tratamientos VIMD (66 mg•kg⁻¹ mortiño, 94 mg•kg⁻¹ mucílago) y VCMC (80 mg•kg⁻¹ mortiño, 80 mg•kg⁻¹ mucílago). Se realizó la caracterización funcional de los mejores tratamientos en virtud de su capacidad antioxidante; VIMD alcanzó un contenido fenólico de 190,02 mg AGE•100g⁻¹ en polifenoles totales y 172,16 mg CE•100g⁻¹ en flavonoides, mientras que el tratamiento VCMC presentó un contenido fenólico de 196,45 mg AGE•100g⁻¹ en polifenoles y 158,06 mg CE•100g⁻¹ en flavonoides totales. El chocolate presenta superficie brillante y tendencia hacia el color rojo, además un alto índice de amarillez” (Hernández, 2020).

Por ende, queda claro el valor agregado que tiene el mucílago de cacao como fuente potencial de compuestos bioactivos y la mejora que proporciona en la acción antioxidante de otros alimentos, diversificando sus propiedades y aumentando su campo de aplicación, tanto en términos alimentarios como médicos.

Mucílago de Cacao Como Biocombustible

Inicialmente, cabe resaltar que, dentro de los resultados encontrados, “se caracterizó el exudado de cacao para determinar su potencial como biocombustible. Se utilizaron metodologías descritas en las normas AOAC 2005. Se observaron valores de 10,6 Brix; pH 3,58; densidad 1,10 g/ml, azúcares totales 12,33% azúcares reductores 6,39%. Se identificaron grupos químicos como alcaloides, azúcares reductores y triterpenoides cumarinas mediante tamizaje fitoquímico. Se detectaron 20 compuestos químicos mediante cromatografía de gases y espectrometría de masas (GC-MS): 3 ácidos carboxílicos, 4 ácidos de azúcar, 3 alcoholes de azúcar, 2 aminoácidos, 1 furano, 2 lactonas, 1 monosacárido, 2 disacáridos y 2 glicósidos. Representan el 11,08% del total de compuestos separados, y se identificaron por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) la sacarosa (2,15%), la glucosa (2,13%) y la fructosa (4,42%). En este estudio, se demostró que por cada kilogramo de cacao seco producido se obtienen 0,59 kg de mucílago y sus azúcares son una fuente interesante de materia prima para la producción de bioetanol de segunda generación” (Balladares *et al.*, 2016, p. 741), los cual se convierte en una de las alternativas más viables para ser aplicadas, reduciendo el impacto ambiental que genera el desperdicio de estos residuos.

Por su parte, Orellana (2018) afirma que, “el mucílago de cacao CCN-51 representa una materia prima con un gran potencial para la obtención de bioetanol, puesto que, para la cantidad de azucares reductores que contiene, tiene viabilidad en procesos fermentativos” (p. 59).

Figura 9

Resultados concentración de bioetanol

Tabla 9 Resultados de la concentración máxima de bioetanol en los experimentos.

Experi mento	Parámetros de operación			Concentra ción de bioetanol (g/L)	Tiempo concentraci ón máxima de bioetanol (h)	Productivid ad del proceso (g/L*h)
	Temperatur a °C	pH	Concentraci ón de levadura g/L			
1	25	4	1	19,6629	70	0,2808
2	35	4	1	20,1425	50	0,4028
3	25	5	1	16,1140	30	0,5371
4	35	5	1	19,6629	47	0,4183
5	25	4	3	21,1016	80	0,2637
6	35	4	3	22,0608	34	0,6488
7	25	5	3	16,3058	96	0,1698
8	35	5	3	18,2241	44	0,4141
9-1*	30	4,5	2	19,1833	57	0,3365
9-2*	30	4,5	2	19,1833	46	0,4170

*Se realizó una réplica del experimento 9

Fuente: Orellana (2018).

La anterior **Figura 9** expone de manera precisa los resultados arrojados por una investigación donde el objetivo de esta fue “desarrollar el modelo matemático de la ecuación de Gompertz modificado para predecir la producción de bioetanol generado en la fermentación de mucílago de Cacao CCN-51 con levadura del tipo *Saccharomyces cerevisiae*, en condiciones óptimas de operación (pH, temperatura, concentración de levadura). La optimización se realizó mediante diseño factorial completo 2³ (dos niveles y tres variables: temperatura, pH y concentración de levadura). Por su parte, la fermentación se realizó en un biorreactor discontinuo con agitación en donde fue evaluada la producción de etanol a lo largo del tiempo mediante el método de Winnick o Microdifusión. Este proceso fue modelado con la ecuación de Gompertz modificado, la cual describe la producción de bioetanol. Los parámetros óptimos de operación fueron: 35 °C, pH de 4 y concentración de levadura de 3 g/L, con una duración del experimento de 59 horas. Los parámetros de la ecuación de Gompertz modificado con los que se trabajó fueron: tiempo lag de 2h, concentración máxima de bioetanol de 22,0608 g/L y rpm de 1,2998

g/L*h. El factor de correlación calculado entre los datos experimentales y modelados para el modelo de Gompertz modificado fue de $R^2=0,8842$ ” (Orellana, 2018, p. 2). Indicando que, como se había mencionado con anterioridad, el mucílago de cacao es una fuente potencial para la producción de etanol.

Además, también se encontró en otro estudio que, “en otra investigación el objetivo de esta fue modelar la producción de bioetanol generado en la fermentación de mucílago de Cacao CCN – 51 con levadura del tipo *Saccharomyces Cerevisiae* y la aplicación de los modelos: Logístico Integrado y Gompertz modificado. La fermentación discontinua se desarrolló en un biorreactor de tipo batch bajo diferentes condiciones de pH, temperatura y concentración de levadura. Durante la reacción se evaluó, la cantidad de biomasa y bioetanol generado, mediante los métodos de peso seco por liofilización y microdifusión respectivamente. El resultado de la concentración final de bioetanol fue de 25,41 g/L a una temperatura de 35 °C, pH de 4 y concentración de levadura de 3 g/L. A partir de los resultados, se utilizó el modelo logístico para describir el crecimiento de la levadura y el modelo Gompertz modificado para modelar la producción de bioetanol, ajustando ambos modelos con coeficientes de determinación (R^2) superiores a 0,9” (Delgado *et al.*, 2019, p. 1).

Lo anterior, sirviendo como base fundamentada para que la industria siga aplicando y mejorando estos métodos en relación con el incremento de fuentes de energía renovables.

Mucílago de Cacao Como Fuente de Biogás y Abono Líquido

Teniendo en cuenta que el mucílago presenta una serie de compuestos de gran interés, “como células esponjosas, las cuales poseen células de savia ricas en azúcares (entre el 10% y 13%), ácido cítrico (entre el 1% y 2%), pentosas (entre el 2% y 3%) y sales (entre el 8% y 10%) (Kalvatchev *et al.*, 1998), se encontró que existe un interés por la Industria Alimentaria para

transformarlo en biogás mediante un proceso de digestión anaeróbica en un biodigestor. Sin embargo, se requiere de ciertas condiciones para lograr asegurar la máxima efectividad en el resultado. Es por ello por lo que se deben tomar en cuenta algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos que permiten un desarrollo óptimo en este tipo de ensayo” (Huertas, 2015; Gutiérrez, 2020, pp. 4-5).

De esta misma manera, se encontró que “en un estudio se evaluó la producción de biogás a partir de estos residuos a través de la determinación de su potencial bioquímico de metano y la producción semicontinua en biodigestores anaerobios. Como resultados, el potencial de EMC, CVC y la codigestión de ambos residuos obtuvieron rendimientos máximos de metano de 636 NmLCH₄/g·SV, 114 NmLCH₄/g·SV y 346 NmLCH₄/g·SV, respectivamente. En la producción semicontinua de biogás, se obtuvieron rendimientos de biogás de 295 mL/gSV·d con la CVC y 462 mL/gSV·d con el EMC. Además, se identificaron problemas de estabilidad de pH en el sistema con EMC, aunque se obtuvieron rendimientos significativos de biogás” (Hincapie *et al.*, 2024, p. 21). Esto, destacando la importancia de implementar prácticas sostenibles y amigables con el medio ambiente, incrementando el uso de sistemas de digestión anaerobia y frenando la contaminación.

Además, también se identificó “un estudio en el que se evaluó la producción de biogás y gas metano de la digestión anaeróbica de dos variedades de cacao (CCN-51 y Nacional) y caracterizado nutricionalmente el substrato obtenido, estudiándose los siguientes resultados **(Figura 10):**” (Zambrano *et al.*, 2021, p. 167).

Figura 10

Características tratamientos estudiados

Tratamientos	Cáscara g	Baba g	Agua g	Peso Total g	Vol. cm ³	Vol. Inoc. cm ³	Vol. total cm ³
T ₁ . Cáscara CCN-51 (20 % ST)	64,4	-	235,6	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₂ . Cáscara CCN-51 (30 % ST)	96,6	-	203,4	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₃ . Baba CCN-51	-	250,0	50,0	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₄ . Cáscara CCN-51 + Baba CCN 51 (20 % ST)	32,2	125,0	142,8	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₅ . Cáscara CCN-51 + Baba CCN 51 (30 % ST)	48,3	187,5	64,2	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₆ . Cáscara Nacional (20 % ST)	65,1	-	234,9	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₇ . Cáscara Nacional (30 % ST)	97,7	-	202,3	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₈ . Baba Nacional	-	240,0	60,0	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₉ . Cáscara Nacional + Baba Nacional (20 % ST)	32,5	120,0	147,5	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₁₀ . Cáscara Nacional + Baba Nacional (30 % ST)	48,8	180,0	71,2	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₁₁ . Cáscara CCN 51 + Cáscara Nacional (20 % ST)	32,2 CCN - 32,5 Nacional	-	235,3	30,0	29,0	2,90	31,9
T ₁₂ . Cáscara CCN 51 + Cáscara Nacional (30 % ST)	48,3 CCN - 48,9 Nacional	-	222,8	30,0	29,0	2,90	31,9

- ST: Sólidos Totales; Vol.: Volumen; Inoc.: Inoculante.

Fuente: Zambrano *et al.* (2021).

“Estos resultados describen la producción de biogás diariamente, donde se efectuó la medición del gas metano con el método Orsat. Se analizaron parámetros fisicoquímicos de los sustratos biodigeridos. El T6 Cáscara Nacional (20 % ST) fue el más destacado en la producción de biogás acumulado (1297,66 mL) y en el porcentaje de gas metano (76%), mientras que el T3 Baba CCN-51 arrojó un total de en la producción de biogás acumulado equivalente a 500 mL y un porcentaje de gas metano de 70%. Diferentes concentraciones de macro y micronutrientes se encontraron en las biomásas biodigeridas de los diferentes tratamientos, con potencial para uso como biofertilizante en plantas” (Zambrano *et al.*, 2021, p. 167), lo cual de cierta manera se convierte en una alternativa que puede incorporar los campesinos en sus prácticas agrícolas, minimizando el uso de químicos y reduciendo gastos en abonos líquidos.

Mucílago de Cacao Como Herbicida

“Si bien, el mucílago del cacao tiene la capacidad de descomponerse en sustancias líquidas, esto le permite ser utilizado como herbicida natural, ya que contiene polifenoles, flavonoides y alcaloides con alto efecto sobre bacterias, hongos y malezas” (Kalvatchev *et al.*, 1998; Franco *et al.*, 2023, p. 2). Sin embargo, dado a que no se conocen sus propiedades, este se ha venido desechado sin control alguno, significando afecciones a nivel económico y ambiental.

En este sentido, “en este estudio se propuso aprovechar el mucilago de cacao como dispersante para controlar musgo (*Rigodium implexum*), en el cual la parte experimental se componía de 5 tratamientos con 3 repeticiones, cada tratamiento tenía concentraciones en porcentajes mucílago de cacao, ácido acético, agua destilada T1(15:10:75), T2(40:10:50), T3(65:10:25), T4(90:10:0), T5(100:0:0), considerando la identificación de las plantas con más musgos, este proceso se ha experimentado en 15 plantas de cacao criollo en ramas identificadas de determinada zona, para obtener el porcentaje de musgo eliminó por la superficie de musgo ocupada” (Franco *et al.*, 2023, p. 2).

Figura 11

Determinación de acidez y pH de los tratamientos aplicados

Gasto de Tratamientos(ml NaOH Consumidos) %Acidez Ph			
T1	25,00	0,8333	3,98
T2	36,50	1,2167	4,06
T3	55,30	1,8433	4,00
T4	73,00	2,4333	3,85
T5	83,80	2,7933	3,52

Fuente: Franco et al. (2023).

“De acuerdo con la **Figura 11**, se realizó un análisis de varianza en el Programa estadístico SPSS, dando al tratamiento 4 como eficaz, aceptando la hipótesis alternativa. No obstante, al igual que en el caso anterior, este no se considera óptimo para inhibir el musgo, porque destruye las flores de cacao” (Franco *et al.*, 2023, p. 2), surgiendo la necesidad de que se lleven a cabo más estudios que tengan como fin la optimización de su uso como herbicida.

Asimismo, en otra investigación se halló que “la implementación de mucílago de cacao a los 21 días de aplicación demostró un notorio éxito en el control de malezas de hojas anchas y angostas, alcanzando un porcentaje de eficacia del 86.67%. Este resultado resalta la efectividad de la baba de cacao como herbicida sistémico en el manejo de estas especies no deseadas. El estudio reveló que la aplicación de mucílago de cacao en una concentración del 75% (2.75 L) presenta un control significativo sobre las malezas. Este impacto se debe a la capacidad de esta concentración para fluir eficazmente a través de los tejidos vegetales, alcanzando los meristemas y ejerciendo una inhibición directa sobre su crecimiento. Este proceso culmina en la supresión de su desarrollo y, finalmente, su mortalidad. Desde una perspectiva económica, el análisis financiero destaca que la aplicación de mucílago de cacao en una dosis de (0.25 L) se traduce en los costos más bajos. A pesar de esta eficiencia en términos económicos, es importante notar que las demás dosificaciones aún se mantienen por debajo de los tratamientos control en cuanto a gastos” (Marín *et al.*, 2024, pp. 726-727). Por ende, esta serie de conclusiones establecen el potencial que presenta este subproducto en términos de control de malezas, abriendo nuevas puertas hacia la búsqueda de estrategias y métodos económicamente sostenibles para el manejo de estas a un nivel de extensión mucho mayor.

Mucílago de Cacao Como Bioconservante

Para el caso de la utilización del mucílago de cacao como bioconservante, “en un estudio se caracterizaron las bacterias ácido-lácticas (BAL) aisladas de mucílago de cacao y carne de res, evaluando su efecto inhibitorio in vitro contra bacterias patógenas, así como también se determinó su efecto sobre la calidad de la carne. Para el ensayo antagonista, se seleccionaron 11 cepas de BAL y se probaron contra cepas patógenas de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* Las bacterias patógenas se cultivaron en un medio, y se agregó un pellet bacteriano de BAL previamente reactivado. Después de la incubación, se observaron halos alrededor de las colonias bacterianas de las cepas patógenas, lo que indica inhibición por parte de las BAL. Se identificó que las cepas de BAL utilizadas pertenecían al género *Lactobacillus*, y la cepa CCN-5 mostró altos porcentajes de inhibición contra *Salmonella sp.* (58,33%) y *E. coli* (59%)” (Morante *et al.*, 2023, p. 1150). Esto, significando un gran avance para la Industria de Alimentos, ya que en los últimos años se ha venido intensificando la búsqueda de estos inhibidores patógenos, lo cual al mismo tiempo favorece a la reducción del desperdicio de este subproducto.

De forma similar, en otra investigación también llevó a cabo el empleo de bacterias ácido-lácticas provenientes del mucílago de cacao nacional (*Theobroma cacao L.*) para la conservación de la carne de res, obteniéndose que, “dentro de los tratamientos realizados, el tratamiento más destacado fue el T3 (100 g de carne + 10 mL mucílago refrigerado a 5 ° C.), el cual presentó colores entre rojo y marrón en el día cuatro, luego su color marrón fue intenso en el día ocho. En la inspección de calidad presento mejor color el T4, mientras que el T3 fue el tratamiento que tuvo mejor olor” (Albán, 2017, p. 29).

Por otra parte, “también se encontró otra investigación que tuvo como fin la extensión de la vida útil de carne refrigerada mediante la aplicación de mucílago de cacao de dos variedades

(Fino de aroma y CCN-51), que fueron aplicados a diferentes tipos de carne (cerdo, pollo y vacuno) y evaluadas a los 1 y 7 días de almacenamiento a 4 °C. Para evaluar el efecto de los tratamientos se realizaron análisis fisicoquímicos (pH, acidez, humedad, dureza, capacidad de retención de agua, color), y análisis microbiológicos. Los resultados de la aplicación de los mucílagos mostraron un aumento del % de ácido láctico, la humedad, la capacidad de retención de agua, la luminosidad y el color amarillo (b*) respecto a las carnes de cerdo, pollo y ternera sin mucílago. Además, se disminuyó la dureza y color rojo de las carnes (a*). Respecto a los análisis microbiológicos, se observaron reducciones medias superiores a 2 log UFC/g del contenido en *Escherichia coli* y levaduras, mientras que las bacterias ácido lácticas presentaron ligeros incrementos” (Villaroel *et al.*, 2024, p. 269). En este caso, estos resultados aben la posibilidad de que se siga reutilizando este subproducto, con el fin de prolongar la vida útil de las carnes refrigeradas.

Otras Alternativas de Uso para el Mucílago de Cacao

Dentro de los tantos usos que se le han venido dando y se le pueden seguir dando al mucílago de cacao por parte de la Industria Láctea, “se encontró que este ha sido utilizado para enriquecer al yogurt, ya que mejora significativamente el comportamiento físico químico del yogurt. Agregar jugo de mucilago de cacao puede incrementar el valor de la proteína de 2.85% a 2.9%, la grasa de 4.12% a 5.67%, la fibra de 0.0% a 1.01%” (Flores & Peñafiel, 2019; Romero, 2022, p. 21).

“Asimismo, otros resultados muestran que las concentraciones de mucílago de cacao obtenidas de dos variedades de cacao influyen significativamente en las características fisicoquímicos (pH, acidez titulable, °Brix, ceniza, humedad, proteína, densidad y carbohidratos)

de la bebida, además, proporciona un gran aporte energético necesario el cuerpo de los seres humanos” (López *et al.*, 2024 p. 7).

“También, en otra investigación que tuvo como fin el determinar la composición química del ensilaje de maíz forrajero con la adición de diferentes proporciones de mucílago de cacao, los resultados revelaron diferencias significativas entre los tratamientos; el contenido de materia seca (MS) aumentó ($p < 0.05$) en T5 (25.76%) en comparación con los Tratamientos 1, 2 y 3 (15.73%, 16.85% y 14.56%, respectivamente), lo que indica que la inclusión de mucílago de cacao se asoció con un mayor contenido de MS. T5 (10.02%) mostró un aumento significativo ($p < 0.05$) en proteína bruta (PB) en comparación con T1 (8.90%), mientras que T2, T3 y T4 presentaron valores similares. En cuanto a la fibra detergente neutra (FDN), T1 (68.96%) superó ($p < 0.05$) a T3, T4 y T5 (53.54%, 56.09% y 54.25%, respectivamente). Otros componentes como la materia orgánica (MO), la materia inorgánica (MI), la fibra cruda (FC), la fibra detergente ácida (FDA), el extracto etéreo (EE) y la energía no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$). La inclusión de mucílago de cacao en el ensilaje de maíz forrajero influyó positivamente en el contenido de MS, PB y FDN. Sin embargo, no hubo variaciones significativas en componentes como FC, FDA, EE y energía entre los tratamientos evaluados” (Delgado *et al.*, 2024, p. 6053). Esto, fortaleciendo la existencia de información de suma importancia para mejorar la formulación del ensilaje, demostrando el papel fundamental que cumple el mucílago de cacao al mejorar la calidad nutricional del forraje, respectivamente.

Además, “también se elaboró queso semiduro con adición de bacterias ácido-lácticas (BAL) provenientes del mucílago de cacao al 5, 10 y 15% en volumen, e incorporadas en la leche antes del cuajado del queso a una temperatura de 35°C. Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) con 4 tratamientos y 4 repeticiones, para la determinación de diferencia

significativa se utilizó la prueba de Tukey al 5%. Los parámetros evaluados al queso semiduro fueron (pH, acidez, humedad, sólidos totales, ceniza, grasa, proteína), microbiológicamente se consideró análisis de *Escherichia coli*, *Coliformes totales*, mohos y levaduras; organolépticamente se valoró: sabor, olor, color, textura, aceptabilidad; aplicando la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis en los atributos color y textura no hubo diferencia estadística significativa. El Tratamiento T3 con adición del 15% de mucilago de cacao, proporcionó valores más favorables tanto física como químicamente, entre los cuales resaltan: pH (5.36%), acidez (0.69%), grasa (35.87%) y proteína (18.39%); con ausencia de microorganismos patógenos” (García *et al.*, 2021, p. 5); demostrando una vez más las capacidades que tiene el mucilago de cacao frente a la mejora de las características funcionales de un producto lácteo de alto consumo como lo es este queso.

En cuanto a otras opciones, las cuales han optado por la adición del mucílago de cacao, “en un estudio se evaluó el aprovechamiento de mucílago de cacao (T. cacao) con mora (*R. ulmifolius*) arándano (*O. microcarpus*) y frambuesa (*R. idaeus*) en la elaboración de un néctar. Para ello, se aplicó un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial A*B (factor A= Tipo de frutos rojos) y (Factor B= Variedad de mucílago de cacao). Respecto a los resultados de los análisis fisicoquímicos, se determinó diferencia significativa en pH (3,18 – 3,30); °Brix (13,50 – 14,47 %) y polifenoles totales (370 a 633 mg ac. gálico/ml). Mientras que, las variables acidez titulable y densidad no presentaron diferencia significativa. Por otro lado, el T1= 20 % de pulpa de mora + 25 % mucílago de cacao Nacional 25% presentó mayor valoración en las categorías sensoriales: aroma, sabor, aceptabilidad y el T3= 20 % pulpa de arándano + 25 % mucílago de cacao Nacional presentó una mejor coloración. Cabe mencionar que el T3, obtuvo resultados microbiológicos dentro de los límites permisibles por la norma técnica ecuatoriana NTE INEN

2337:2008” (Vega *et al.*, 2023, p. 41). De este modo, queda claro que la utilización del 25% de mucilago de cacao en la elaboración de néctar es sumamente viable, lo cual se ve reflejado en la obtención de un producto con mayor calidad y apto para el consumo humano.

Por último, “de igual modo se evaluó el potencial antioxidante de los compuestos fenólicos obtenidos de la fermentación del mucilago del cacao (teobroma cacao). Con el fin de obtener el mucilago del cacao se utilizaron aproximadamente 15 kg de (*Theobroma cacao*) del cual se realizó la extracción del mucilago del cacao para posteriormente realizar su proceso de fermentación durante 5 días, tomando 1 muestra diaria para la medición de pH y grados Bx[°], la identificación se realizó mediante cromatografía por HPLC/DAD, en la cual se detectaron compuestos como teobromina en mayor proporción, la determinación de la actividad antioxidante, se realizó por la decoloración del betacaroteno el cual decolora rápidamente sin la presencia de un antioxidante” (Gutiérrez, 2022, p. 1), permitiendo concluir que, el mucílago de cacao es fuente potencial de compuesto fenólicos que poseen antioxidantes naturales, los cuales pueden ser considerados como principales sustitutos de los antioxidantes químicos por parte de la Industria de Alimentos.

Viabilidad de las Alternativas Biotecnológicas para su Aprovechamiento en la Región

Una vez identificadas las propiedades que presenta el mucílago de cacao, las cuales lo convierten en un subproducto con un gran potencial funcional, estas les permitirían a los agricultores mejorar la calidad de los productos que sacan para su respectiva comercialización, en especial la semilla de cacao y el chocolate procesado, sin dejar de lado las bebidas fermentadas a base de cítricos como la naranja, por ejemplo; teniendo en cuenta que el mismo mucílago es una fuente rica en bioactivos, nutrientes, vitaminas, etc., además de la acción antioxidante que les atribuiría a los productos en mención, abriendo también la posibilidad de

que estos agricultores empiecen a utilizarlo en el procesamiento de otros productos, incluyendo aquellos que se utilizan para contrarrestar las plagas que atacan a los cultivos (como herbicidas) o con el fin de hacer más fértiles y productivas sus tierras (abonos líquidos y fertilizantes). Todo esto, trayendo beneficios en términos ambientales (poco desperdicio de este residuo), económicos (reducción en la compra de insumos, como fertilizantes y herbicidas) y sociales (trayendo armonía en las comunidades campesinas y una mejor adaptación a la implementación de nuevas tecnologías en el campo).

De acuerdo con lo anterior, cabe señalar que algunas de las alternativas biotecnológicas propuestas presentan cierto grado de dificultad para ser aplicadas de forma directa por los campesinos de la región, ya que estas tienen un alto costo de implementación, sin embargo, otras de estas alternativas sí presentan una viabilidad más acorde a la realidad que viven estos agricultores, considerando sus necesidades. A continuación, se menciona aquellas alternativas que pueden ser consideradas por el bajo costo que requiere su aplicación e inmediatez, mediante programas por parte de entes gubernamentales o entidades educativas, como la presente (Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD):

- Fermentación Ácido-Láctica.
- Fermentación Alcohólica.
- Mejora en la Acción Antioxidante de Otros Productos.
- Abono Líquido.
- Herbicida.
- Fertilizante.
- Bioconservante (Aditivo y Sustituto).

Conclusiones

Los procesos biotecnológicos demostraron ser herramientas, las cuales a través del uso de microorganismos, células, enzimas y proteínas se puede llegar a potencializar los beneficios que presenta un subproducto de alto valor nutricional y funcional como lo es el mucílago de cacao, reduciendo los impactos negativos que genera su inadecuada disposición en términos ambientales, económicos y sociales.

La valorización del mucílago de cacao por medio de la biotecnología como subproducto de alto valor nutricional y funcional, puede significar una mejoría para los campesinos cacaoteros del municipio de Victoria Caldas y sus alrededores. Esto, teniendo en cuenta que su procesamiento conllevaría a la generación de empleos, reducción de gastos en fertilizantes, herbicidas, además del avance económico y social.

El aprovechamiento biotecnológico del mucílago de cacao se puede convertir en una alternativa viable para la disminución del uso de recursos no renovables, promoviendo el uso de prácticas ecológicas sostenibles y mejorando la calidad de vida de los agricultores y del campo, respectivamente.

Aunque las alternativas biotecnológicas estudiadas muestren gran potencial, la Industria de Alimentos enfrenta un gran desafío a la hora de optimizar estos procesos con el fin de hacerlos tecnológica y económicamente viables, siendo necesario seguir avanzando en los procesos investigativos, garantizando que estos sean rentables, eficaces y accesibles para los agricultores de la región.

Referencias Bibliográficas

- Albán, D. (2017). *Empleo de bacterias ácido-lácticas prácido-lácticas mucílago de cacao naciaonal (theobroma cacao L.) para la conservación de la carne de res* [Tesis de grado – Pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio Digital UTEQ. <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/2261>
- Arciniega, G. A., & Espinoza, R. A. (2020). Optimización de una bebida a base del Mucílago del Cacao (*Theobroma cacao*), como aprovechamiento de uno de sus subproductos. *Dominio de las Ciencias*, 6(3), 310-326. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i3.1286>
- Balladares, C., Chóez, I., García, J., Sosa, D., Pérez, S., González, J. E., Viter, R., Barragán, A., Quijano-Avilés, M., & Manzano, P. (2016). Physicochemical Characterization of *Theobroma Cacao L.* Sweetings In Ecuadorian Coast. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(10), 741–745. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-02-187>
- Bastidas, J. V., Moreira, A., Bayas, B., & Briones, 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>
- Cabrera, O., Patiño, J., Bazurto, D., & Cuello, M. (2022). *Análisis fisicoquímico del vino y el vinagre* [Figura 7]. <http://investigacion.utc.edu.ec/index.php/utciencia/article/view/457>
- Cabrera, O., Patiño, J., Bazurto, D., & Cuello, M. (2022). Obtención de vino y vinagre a partir del mucílago de cacao (*Theobroma Cacao L.*) CCN-51. *Revista UTCiencia*, 9(2), 89-98. <http://investigacion.utc.edu.ec/index.php/utciencia/article/view/457>
- Carvajal, V. M. (2020). *Caracterización fisicoquímica del mucilago del cacao* [Proyecto aplicado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD.

<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/55647>

Connected Papers. (2024). *Búsqueda de Artículos en Connected Papers* [Figura 6].

<https://www.connectedpapers.com/auth>

Cortez, L., & Oleas, N. (2023). Valorización del Mucílago de Cacao, Estrategias para Mitigar el Desperdicio y Fomentar la Sostenibilidad. *Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo*, 4(8), 47-56. <https://doi.org/10.56519/qsm0mq41>

Delgado, A., Espinoza, F., Barrera, A. E., Medina, M. L., García, A. R., & Barba, C. J. (2024). Composición Química del Ensilaje de Maíz Forrajero con Residuo de Mucílago de Cacao en Diferentes Proporciones. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2), 6052-6064. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.11022

Delgado, J. W., Soler, J., & Peña, J. (2020). Producción de bioetanol carburante a partir del residuo mucilaginoso de cacao CCN-51 y su simulación en Aspen Plus®. *Jornada De Jóvenes Investigadores Del I3A*, 8, 1-2. <https://doi.org/10.26754/jjii3a.4893>

Delgado, J. W., Soler, J., & Peña, J. Ángel. (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, 1-3. <https://doi.org/10.26754/jji-i3a.003527>

Erazo, C., Salazar, D., Vera, J., & Tuarez, D. (2020). Application of Lactic Acid Bacteria from Cocoa Mucilage as a Preservative Agent for Papaya. *Universidad Ciencia Y Tecnología*, 24(107), 41-47. <https://doi.org/10.47460/uct.v24i107.412>

Franco, F., Benavides, O., Gavilanes, X., Alvarado, T., & Zambrano, C. (2023). Synergy: Cocoa

- Mucilage with Acetic Acid in The Control of Moss (*Rigodium Implexum*) On Criollo Cocoa Plantations. *Journal of Agricultural Sciences Research*, 3(12), 1-12.
<https://doi.org/10.22533/at.ed.9733122304087>
- Franco, F., Benavides, O., Gavilanes, X., Alvarado, T., & Zambrano, C. (2023). *Determinación de acidez y pH de los tratamientos aplicados* [Figura 11].
<https://doi.org/10.22533/at.ed.9733122304087>
- García, A. E., Acosta, Y. N., Terrones, H. G., Carrasco, R. E., & Autukai, J. L. (2022). Subproductos del cacao (*Theobroma cacao*) como alternativa para la mejora de la dieta balanceada en rumiantes. *Revista Científica Dékamu Agropec*, 3(1), 42–57.
<https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v3i1.72>
- García, D., Solorzano, C., Salazar, I., & Navarrete, Y. (2021). Empleo de mucílago de cacao como inoculante en la elaboración de queso semiduro. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 25(109), 5-11. <https://doi.org/10.47460/uct.v25I109.441>
- Gobierno de Caldas. (2024). *Gobierno de Caldas y el Ica le hacen frente a la Carmenta Negra, plaga que daña el cacao. Se capacitó a técnicos e ingenieros agrónomos para prevenir la enfermedad. Cerca de 300 hectáreas estarían afectadas en Caldas.*
<https://acortar.link/TNVAjA>
- Guamán, M. A., Paredes, J. L., & Robayo, D. M. (2021). *Artocarpus Heterophyllus* (Jackfruit): propiedades antiinflamatorias y antioxidantes. Revisión de la literatura. *Revista Universitaria con proyección científica, académica y social*, 5(4), 22-26.
- Guarín, S., & Suarez, O. (2019). *Producción de Hidrógeno a partir de Porquinaza, Mucílago de cacao y Mucílago de café mediante procesos de fermentación oscura* [Tesis de grado –

- Pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional.
<http://hdl.handle.net/20.500.12494/14442>
- Gutiérrez, N. (2022). *Evaluación del potencial antioxidante de los compuestos fenólicos obtenidos de la fermentación del mucílago del cacao (theobroma cacao)* [Tesis de grado – Pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander]. Repositorio Digital UFPS.
<https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/7580>
- Gutiérrez, R. A. (2020). *Obtención de biogás y abono líquido mediante la descomposición anaeróbica de residuos de la fermentación del mucílago de cacao en Pucallpa-Perú* [Tesis de grado - Pregrado, Universidad Científica del Sur]. Repositorio Institucional Universidad Científica del Sur. <https://doi.org/10.21142/tb.2020.1311>
- Hernández, A. (2020). *Incorporación de compuestos bioactivos de mucílago de cacao (Theobroma cacao L) y pulpa de mortiño (Vaccinium floribundum kunth.) en el desarrollo de chocolate blanco con propósitos funcionales* [Tesis de grado - Pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio Digital UTEQ.
<https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/5953>
- Hincapie, K., Vanegas, A., Salcedo, L., & Bustamante, J. (2024). Evaluación de la producción de biogás a partir de cáscara y mucílago de cacao. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*, 15(1), 21-28. <https://doi.org/10.24054/raaas.v15i1.2891>
- Intriago, F., Macías, M., Napa, B., Vásquez, L., Alvarado, K., Revilla, K., Aldas, J., & Vera, J. (2023). Inclusión de mucílago de cacao (*Theobroma cacao*) como estabilizante en néctar de jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*). *Agroindustrial Science*, 13(2), 75-81.
<https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2023.02.03>

- Kadet, V., Samagaci, L., Ouattara, H., Ahoussi, J. M., Ettien, Y., Ouattara, H., & Niamké, S. (2024). Cocoa Residues as Alternative Support for Freeze Drying of *Candida tropicalis* for Controlled Fermentation of Cocoa. *Journal of Food and Nutrition Sciences*, *12*(5), 239-245. <https://doi.org/10.11648/j.jfns.20241205.15>
- Llerena, W., Samaniego, I., Vallejo, C., Arreaga, A., Zhunio, B., Coronel, Z., & Carrillo, W. (2023). Profile of Bioactive Components of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) By-Products from Ecuador and Evaluation of Their Antioxidant Activity. *Foods*, *12*(13), 1-18. <https://doi.org/10.3390/foods12132583>
- Llerena, W., Samaniego, I., Vallejo, C., Arreaga, A., Zhunio, B., Coronel, Z., & Carrillo, W. (2023). *Proceso de extracción de compuestos bioactivos presentes en el mucílago de cacao* [Figura 8]. <https://doi.org/10.3390/foods12132583>
- López, S. P., Guapi, G. M., Guerrón, V. A., Revilla, K. Y., Aldas, J. P., & Barzola, S. E. (2024). Efecto de distintas concentraciones de mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) y café (*Coffea arabica*) en la elaboración de una bebida energética. *Revista Agrotecnológica Amazónica*, *4*(1), e600-e600.
- Lozano, M. (2020). *Utilización de los subproductos del beneficio del cacao: una revisión* [Tesis de grado - Pregrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano]. Repositorio Institucional UTADEO. <http://hdl.handle.net/20.500.12010/18805>
- Marín, C. V., Menace, M. A., Carranza, M., Herrera, R. J., & Tuárez, G. J. (2024). Fitotoxicidad del mucílago de cacao sobre malezas en el cultivo de cacao CCN-51 *Theobroma cacao* L. *Código Científico Revista De Investigación*, *5*(1), 710–729. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/n1/405>

- Mendoza, G. M., Solórzano, C. E., & Garcia, D. T. (2020). Bebida de lactosuero y soya (*Glycine max*) inoculada con mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L) nacional. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 1(1), 44-52. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3805>
- Mendoza, K. (2024). *Evaluación de efectividad del herbicida natural elaborado con mucílago de cacao (Theobroma cacao L.), como alternativa sostenible para el control de malezas* [Tesis de grado – Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional PUCE. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/42506>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021, marzo). *Cadena de Cacao*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Molina, C. S., Pillco, B. M., Salazar, E. F., Coronel, B. D., Sarduy, L. B., & Diéguez, K. (2020). Producción más limpia como estrategia ambiental preventiva en el proceso de elaboración de pasta de cacao. *Revista Industrial Data*, 23(2), 59-72. <http://dx.doi.org/10.15381/idata.v23i2.17640>
- Montealegre, F., Rojas, J., & Jaimes, Y. (2021). Factores agronómicos y socioeconómicos que inciden en el rendimiento productivo del cultivo de cacao. Un estudio de caso en Colombia. *Fave. Sección ciencias agrarias*, 20(2), 59-73. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1666-77192021000200059&lng=es&tlng=
- Morales, 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* [Proyecto de Investigación, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].

Repositorio UTEQ. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6699>

- Morante, L., Abasolo, F., Bastidas, C., Paz, E. A., Huaquipán, R., Díaz, R., ... & Quiñones, J. (2023). Isolation and Characterization of Lactic Acid Bacteria from Cocoa Mucilage and Meat: Exploring Their Potential as Biopreservatives for Beef. *Microbiology Research*, 14(3), 1150-1167. <https://doi.org/10.3390/microbiolres14030077>
- Moreno, S., Morán, E., Quijije, I., & Ochoa, D. (2021). Mucílago de Theobroma Cacao L. como base para un bioantimicrobiano mezclado con dos ácidos débiles: alternativas ecológicas. *Ecuadorian Science Journal*, 5(4), 98-108. <https://doi.org/10.46480/esj.5.4.173>
- Morocho, K. (2018). *Hidrólisis enzimática del mucilago de cacao CCN-51 (Theobroma cacao L.) Para incrementar la concentración de azúcares fermentables* [Tesis de grado - Pregrado, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio Digital de la UTMACH. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/13284>
- Ochoa, C., Hernández, M. A., Bayona, O. L., Cabeza, I. O., & Candela, A. M. (2021). Value-added by-products during dark fermentation of agro-industrial residual biomass: Metabolic pathway analysis. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 5937–5948. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01421-1>
- Orellana, J. C. (2018). *Modelado de la ecuación de Gompertz modificado para la producción de bioetanol en procesos fermentativos dentro de un reactor tipo batch a partir de mucílago de cacao CCN-51. Caso: Ecuador - Zona 6* [Tesis de licenciatura, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional Universidad de Cuenca. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30428>
- Orellana, J. C. (2018). *Resultados concentración de bioetanol* [Figura 9].

<https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30428>

- Ortiz, J., Mejía, D., García, L., & Cifuentes, X. (2020). Alternativa de biorremediación a partir de residuos de cacao en la obtención de hongos *Pleurotus ostreatus* con la implementación de un análisis multicriterio. *Revista ION*, 33(1), 67-77.
<https://doi.org/10.18273/revion.v33n1-2020007>
- Palacios, K., Álcivar, L., Pico, C., Posligua, G., Romero, M., & Rosero, E. (2019). Diseño de un biorreactor para la obtención de ácido acético a partir del vino de mucílago de cacao. *Revista de Ciencias Agropecuarias*, 2(4), 18-28. Obtenido de <https://publicacionescd.uleam.edu.ec/index.php/allpa/article/view/4/31>
- Peñaloza, D., Laiton, L., Caballero, D., Blanco, T. del S., Acevedo, C., & Cervantes, M. (2021). Estudio cuantitativo de tendencias en el aprovechamiento de los subproductos del cacao (*Theobroma cacao* L.). *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 10(27), 84-94.
<https://doi.org/10.31644/IMASD.27.2021.a05>
- Pilligua, R. L., Zambrano, R. L. B., Gonzáles, A. E. M., Delgado, E. G. L., & Merlo, R. (2021). Influencia del mucílago de cacao (*Theobroma cacao*) en las características fisicoquímicas y sensoriales de la cerveza artesanal. *Revista ESPAMCiencia*, 12(1), 25-32.
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i1.234
- Plasencia, C., Grabiell, K., Luque, J., & Best, I. (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. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000400089>
- Purbaningrum, K., Hidayat, C., Witasari, L. D., & Utami, T. (2023). Flavor Precursors and

Volatile Compounds Improvement of Unfermented Cocoa Beans by Hydrolysis Using Bromelain. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12(4), 1-17.

<https://doi.org/10.3390/foods12040820>

Rangel C., Sastoque J., Calderon J., Gracia J., Cabeza I., Villamizar S., & Acevedo, P. (2022).

Pilot-scale Assessment of Biohydrogen and Volatile Fatty Acids Production via Dark Fermentation of Residual Biomass. *Chemical Engineering Transactions*, 92, 61-66.

<http://dx.doi.org/10.3303/CET2292011>

Rangela, C., Sastoqueb, J., Calderonb, J., Mosquerab, J., Velasquezd, P., Cabezabc, I., &

Acevedobd, P. (2020). Hydrogen production by dark fermentation process: Effect of initial organic load. *Chem. Eng*, 79, 133-138. <https://doi.org/10.3303/CET2079023>

Rodríguez, N. D., Chávez, B., Gómez de la Cruz, I., Vásquez, M. S., & Estrada de los Santos, P.

(2022). El cultivo del cacao, sus características y su asociación con microorganismos durante la fermentación. *Alianzas y Tendencias BUAP*, 7(25): 36–51.

<http://doi.org/10.5281/zenodo.6326782>

Rojas, J., Ramirez, K., Velasquez, P., Acevedo, P., & Santis, A. (2020). Evaluation of Bio-

hydrogen Production by Dark Fermentation from Cocoa Waste Mucilage. *Chemical Engineering Transactions*, 79, 283-288. <https://doi.org/10.3303/CET2079048>

Romero, A. V. (2022). *Efecto de la adición de fibras para la producción y enriquecimiento de*

yogur [Tesis de grado - Pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Universidad Técnica de Ambato.

<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/34941>

Sgarbossa, N., Ibáñez, M., González, G., Bracchiglione, J., & Franco J. (2022). Revisiones

- sistemáticas: conceptos clave para profesionales de la salud. *Revista Médica Revisada por Pares Medwave*, 22(9), 1-12. <http://doi.org/10.5867/medwave.2022.09.2622>
- Sgarbossa, N., Ibáñez, M., González, G., Bracchiglione, J., & Franco J. (2022). *Pasos para la realización de una revisión sistemática* [Figura 5]. <http://doi.org/10.5867/medwave.2022.09.2622>
- Torres, J. (2023). *Composición bromatológica de la cáscara, mucílago y cascarilla* [Figura 1]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/37884>
- Torres, J. (2023). *Caracterización de los residuos de cacao generados con potencial valor, para su uso en la industria alimentaria, en el cantón Santo Domingo, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas* [Tesis de grado - Pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/37884>
- Turriago, L. M. M. (2023). Estrategias de Innovación para el Desarrollo Competitivo de la Cadena Productiva del Cacao en Colombia. *Innovagro*, 1(2), 8-16. <https://revistas.sena.edu.co/index.php/INNOVAGRO>
- Uvidia, D. N., Rivera, M. A., & Venegas, N. Y. (2020). Extracción, propiedades y beneficios de los mucílagos. *Dominio de las Ciencias*, 6(2), 503-524. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i2.1181>
- Vásquez, D. Trujillo, Y., & Salvador, D. (2020). *Mucilago del cacao biomasa residual: Perspectiva como materia prima en la industria de alimentos* [Tesis de grado - Pregrado, Universidad de Pamplona]. Repositorio Hulago Universidad de Pamplona. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/4782>

- Vega, S., Troya, V., Álava, G., Miranda, S., Escobar, K., & Morejón, J. (2023). Utilización de mucílago de cacao (*Theobroma cacao*) con mora (*Rubus ulmifolius*) arándano (*Oxycoccus microcarpus*) y frambuesa (*Rubus idaeus*) en la elaboración de un néctar. *Revista De Investigación Talentos*, 10(2), 41-52.
<https://doi.org/10.33789/talentos.10.2.189>
- Vera, J. E., Cedeño, N. B., & Mera, 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), 2-13. <https://doi.org/10.46296/ig.v3i6.0014>
- Vera, J., Vásquez, L., Alvarado, K., Coello, E., Rivadeneira, C., Intriago, F., Rivadeneira, A., & Orejuela, F. (2023). Caracterización de la Miel Obtenida del Mucílago de tres Grupos Genéticos de Cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista Bases de la Ciencia*, 8(2), 17-30.
<https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v8i1.5728>
- Villacreses, D. J., Bermúdez, A. N., Camposano, Y. H., & Álvarez, N. del C. (2022). La biotecnología y su impacto con el uso de las tecnologías. *Journal TechInnovation*, 1(2), 78–87. <https://doi.org/10.47230/Journal.TechInnovation.v1.n2.2022.78-87>
- Villarroel, J., Angulo, G., & Briones, J. (2023). Reducing sugars degradation in cocoa mucilage to produce bioethanol. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (108), 98-106. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20220992>
- Villarroel, J., Argüello, J., Mendoza, J., Córdoba, M., Rodríguez A., & Hernández A. (2024). Efecto del mucílago de cacao en la bioconservación de carnes. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria*, 120(3), 269-287. <https://doi.org/10.12706/itea.2024.006>

Zambrano, F., Vélez, J. C. M., & Ponce-Saltos, W. (2021). *Características tratamientos estudiados* [Figura 10]. <https://doi.org/10.31381/biotempo.v18i2.4318>

Zambrano, F., Vélez, J. C. M., & Ponce-Saltos, W. (2021). Metanización de la Biomasa Residual de dos Variedades de cacao y Caracterización Nutricional del Sustrato Biodigerido. *Biotempo*, 18(2), 167-176. <https://doi.org/10.31381/biotempo.v18i2.4318>