



**Viabilidad técnica del aprovechamiento del mucílago de cacao (*Theobroma cacao*
L.) como materia prima para la producción de miel de cacao**

Maria Paula Oliveros Trujillo

David Felipe Eslava Guerrero

Universidad Ean

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Química

Bogotá, Colombia

2025

**Viabilidad técnica del aprovechamiento del mucilago del cacao (*Theobroma cacao*
L.) como materia prima para la producción de miel de cacao**

Maria Paula Oliveros Trujillo

David Felipe Eslava Guerrero

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Químico

Directora:

Marie José Chéry Leal

Universidad Ean

Facultad de ingeniería

Ingeniería Química

Bogotá, Colombia

2025

CONTENIDO

CONTENIDO	3
Resumen	4
Abstract	5
Introducción	6
Objetivos	9
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
Definición del problema	10
Justificación	11
Análisis de Requerimientos	13
Parámetros de diseño	13
Características técnicas	14
Recursos y equipos necesarios	14
Marco teórico	14
Análisis de restricciones	25
Metodología para la selección y desarrollo de la solución	28
Desarrollo de la Solución	36
Análisis de Costos	46
Conclusiones	50
Referencias	52

Resumen

El trabajo actual estudió la viabilidad técnica de transformar el mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en un concentrado tipo miel, por medio de un proceso de concentración térmica directa, del mucílago recolectado de mazorcas maduras de cacao del municipio de Rivera, Huila. Se caracterizó el mucílago en función de °Brix, pH, color y viscosidad. Los ensayos experimentales se realizaron en el Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad EAN, utilizando una plancha de calentamiento y posteriormente una olla de mayor superficie sobre fogón doméstico. Los resultados iniciales mostraban valores de 11 °Brix, pH 4 y viscosidad de 2902 cP, llegando hasta 65°Brix en el concentrado final y presentando una textura más espesa y homogénea. Los resultados muestran que, es viable la ejecución técnica de este proceso, aunque se tendrán que ajustar las condiciones de evaporación a fin de llegar a los niveles de concentración que tienen las mieles comerciales. Este aprovechamiento contribuye a la reducción de residuos agroindustriales y al fortalecimiento e impulso de la economía circular del sector cacaotero.

Palabras clave: mucílago de cacao, miel de cacao, concentración térmica, economía circular, valorización de residuos industriales.

Abstract

The present study evaluated the technical feasibility of transforming cacao mucilage (*Theobroma cacao L.*) into a honey-type concentrate through a direct thermal concentration process, using mucilage collected from mature pods of cacao harvested in the municipality of Rivera, Huila. The mucilage was characterized in terms of °Brix, pH, color, and viscosity. Experimental tests were carried out at the Chemical Engineering Laboratory of Universidad EAN, using a heating plate and later a wide-surface pot over a domestic stove. Initial results showed values of 11 °Brix, pH 4, and a viscosity of 2902 cP, reaching 65 °Brix in the final concentrate, with a thicker and more homogeneous texture. The results indicate that the technical execution of this process is feasible, although evaporation conditions must be optimized to achieve concentration levels comparable to those of commercial honeys. This valorization contributes to reducing agro-industrial waste and strengthening the circular economy within the cacao sector.

Keywords: cacao mucilage, cacao honey, thermal concentration, circular economy, industrial waste valorization.

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es uno de los cultivos más emblemáticos de Colombia. Reconocido como “cacao fino y de aroma” en los mercados internacionales, representa no solo una materia prima de gran valor, sino también el sustento de miles de familias campesinas que dependen de él como principal fuente de ingresos (International Cocoa Organization [ICCO], 2024; Federación Nacional de Cacaoteros [Fedecacao], 2023). Sin embargo, detrás de cada grano que llega a la industria chocolatera se esconde un desafío poco visibilizado: gran parte del fruto del cacao termina siendo desechado.

Se calcula que alrededor del 75 % de la biomasa del fruto corresponde a subproductos como la cáscara, el mucílago y la placenta. Solo la semilla es utilizada de manera masiva, mientras que el resto suele descartarse en las mismas zonas de cultivo (Food and Land Use Coalition, s.f.). Este desaprovechamiento genera dos problemas evidentes. Por un lado, un impacto ambiental negativo que corresponde a la acumulación de residuos que atraen plagas, malos olores y fermentaciones no controladas que contaminan el entorno. Por otro lado, una pérdida económica: se dejan de aprovechar recursos que contienen fibra, azúcares y compuestos bioactivos con alto potencial de transformación (The Food Tech, 2023a).

Lejos de ser un desecho sin valor, tanto el mucílago como la cáscara del cacao han demostrado tener aplicaciones prometedoras. El mucílago, rico en azúcares simples y pectinas, puede convertirse en un edulcorante natural o en la base para nuevos productos alimenticios. La cáscara, por su parte, es fuente de fibra, antioxidantes y polifenoles, lo que abre la puerta a su uso como ingrediente

funcional o incluso como insumo energético (Chemat et al., 2019; The Food Tech, 2023a). En otras palabras, lo que hoy se desecha puede transformarse en nuevas oportunidades para el sector cacaotero.

La tendencia internacional hacia la sostenibilidad refuerza esta necesidad. La economía circular propone dejar atrás el modelo lineal de “producir, usar, desechar”, y apostar por un esquema en el que los residuos se conviertan en recursos (Ellen MacArthur Foundation, 2019). En este marco, revalorizar los subproductos del cacao no solo es una alternativa técnica que debe explorarse, sino también una apuesta alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y con las demandas actuales de consumidores que buscan productos más naturales, saludables y responsables con el medio ambiente.

En Colombia, sin embargo, el aprovechamiento de estos subproductos sigue siendo limitado y poco articulado con la agroindustria. Existen investigaciones sobre fermentaciones con mucílago o sobre infusiones a base de cáscara, pero pocas iniciativas han logrado trascender hacia prototipos con potencial real de mercado. Esta brecha entre la investigación y la práctica es, precisamente, el punto de partida de este trabajo.

En este escenario cobra importancia la exploración de una alternativa para que pequeños y medianos cacaoteros que representan más del 95 % de los productores del país (Fedecacao, 2023) puedan diversificar sus ingresos y reducir el impacto ambiental de su actividad. También representa la oportunidad de generar innovación local en un sector que necesita fortalecer su competitividad.

Este trabajo busca dar a conocer el modo en el cual el mucílago de cacao puede ser empleado para la obtención de un edulcorante tipo miel, ofreciendo así una alternativa en cuanto a la forma en la que se pueden aprovechar los subproductos del fruto. A lo largo del trabajo se lleva a cabo la descripción del problema que motiva la presente investigación, así como de la importancia de aprovechar los residuos que genera el cacao en el contexto de la economía circular. También se determinan los objetivos que sirven como base para orientar la investigación de la que es objeto y el marco teórico que sustenta la presente propuesta, en el que se pone de manifiesto la descripción de la composición del mucílago y en qué aspectos puede verse su potencial como insumo natural en aquel tipo de industria. Igualmente se aborda la metodología utilizada para llevar a cabo la transformación del mucílago en un producto de miel, y las variables que se han analizado, en el proceso experimental seguido y en los criterios de evaluación de la parte técnica y de la parte económica. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones resultantes del trabajo realizado, el cual permite valorar el potencial del mucílago de cacao como recurso novedoso para el sector cacaotero colombiano.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la viabilidad técnica del aprovechamiento del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) como materia prima para la elaboración de un edulcorante tipo miel.

Objetivos específicos

- Caracterizar el mucílago de cacao a partir de información bibliográfica y de análisis experimentales para establecer su potencial como materia prima.
- Evaluar experimentalmente el proceso de concentración para la elaboración de miel de cacao, analizando su rendimiento y las propiedades físicas del producto.
- Determinar la viabilidad técnica del producto final a partir de los resultados obtenidos en el proceso y la calidad del edulcorante.
- Estimar de manera preliminar los costos asociados al proceso artesanal de obtención de miel de cacao.

Definición del problema

Colombia es el décimo productor mundial de cacao, con una producción estimada en 59,831 toneladas en 2023, cultivadas en cerca de 190,800 hectáreas de cacao (U.S. Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service [FAS], 2024).

Los datos más recientes confirman que Santander continúa siendo el mayor productor de cacao en Colombia, con cerca del 41 % de la producción nacional en 2024, equivalente a más de 28.000 toneladas. En segundo y tercer lugar se ubican Antioquia y Arauca, con participaciones aproximadas del 11 % y 10 %, respectivamente (Agrilink, 2024).

Por el contrario, estudios evidencian que tanto el mucílago como la cáscara tienen un alto potencial funcional. El mucílago es rico en azúcares, fibra soluble, pectinas y minerales, mientras que la cáscara contiene fibra insoluble, polifenoles, antioxidantes y metilxantinas como teobromina y cafeína (Sanchez et al,2023; Soares & Oliveira,2022).

A pesar de que se ha reconocido el potencial del mucílago como fuente natural de azúcares y compuestos funcionales, su aprovechamiento industrial sigue siendo escaso ya que no se disponen de métodos contrastados para su transformación en edulcorante tipo miel con propiedades controladas, ni estudios que analicen el coste y el beneficio de transformar este subproducto. Esta falta de aprovechamiento limita el valor agregado de la cadena cacaotera y contribuye a la acumulación de los residuos con impacto ambiental en las zonas productoras.

¿Es viable técnicamente la transformación del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en un edulcorante tipo miel bajo condiciones de laboratorio controladas, y cuáles son los costos asociados al proceso a escala experimental?

Justificación

La industria cacaotera, aunque es uno de los cultivos estratégicos para Colombia y para el mercado global, el aprovechamiento del fruto sigue siendo mínimo. Diversos estudios señalan que solo entre el 8 % y el 10 % del cacao se utiliza comercialmente en forma de grano, mientras que más del 70 % de la biomasa del fruto se desecha, principalmente en forma de cáscara, placenta y mucílago (Vergara-Mendoza et al., 2022; Campos-Vega et al., 2018). Esta situación no solo representa una pérdida significativa de materia prima potencial, sino que además genera impactos ambientales derivados de la disposición inadecuada de residuos en las zonas rurales.

Dentro de estos subproductos, el mucílago de cacao se presenta como un recurso subvalorado con alto potencial de transformación. Según Vergara-Mendoza et al. (2022), el mucílago corresponde aproximadamente a 4.13 % del peso del fruto. Este líquido, rico en azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa), minerales y compuestos bioactivos, posee características para desarrollar productos alimenticios funcionales, entre ellos la miel de cacao, un derivado natural. La composición química de estos materiales muestra que son fuentes importantes de nutrientes y compuestos bioactivos. En el caso de la cáscara, se caracteriza por ser un complejo lignocelulósico rico en fibra dietética y el subproducto con el mayor contenido de proteínas totales (Soares & Oliveira, 2022), metilxantinas como la teobromina y un buen contenido de polifenoles (Sánchez et al., 2023). Por su parte, la pulpa presenta gran cantidad de azúcares y menores contenidos en proteínas y lípidos y la cáscara de la mazorca constituye el residuo con mayor volumen. Estas características composicionales posicionan a los subproductos del cacao como valiosas materias primas para la recuperación de compuestos funcionales y para aplicaciones de carácter nutricional y biotecnológico.

El aprovechamiento del mucílago para producir miel de cacao ofrece oportunidades económicas directas para los productores. Al transformar un residuo en un bien comercializable, se diversifican los ingresos, se reduce la dependencia del precio internacional del grano y se fortalece la cadena de valor del cacao. Además, esta iniciativa contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente en materia de producción y consumo responsables (ODS 12), reducción del desperdicio agroalimentario y agregación de valor en territorios rurales.

Por lo anterior, este estudio aborda un problema real del sector, propone una solución basada en el uso integral del fruto. La miel de cacao no solo representa una alternativa con potencial comercial creciente, sino una estrategia para reducir la pérdida de biomasa y fortalecer la competitividad del cacao colombiano.

Análisis de Requerimientos

Definir con precisión qué se quiere lograr, en qué condiciones y bajo qué criterios de éxito es lo que permite que el diseño final cumpla con su propósito dentro de los tiempos y recursos disponibles. Una planeación cuidadosa también evita cambios innecesarios en etapas avanzadas, los cuales suelen ser costosos y pueden comprometer el resultado (Project Management Institute [PMI], 2021).

En este trabajo, el análisis de requerimientos busca establecer las bases del producto a desarrollar un prototipo alimenticio a partir de mucílago de cacao.

Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño definen las condiciones bajo las cuales se llevó a cabo el proceso de concentración del mucílago. Para este estudio se establecieron:

- Volumen obtenido
- Temperatura de operación: 90 °C.
- Tiempo de operación.
- Agitación: intermitente cada 3–5 minutos.
- Objetivo de concentración: 70–80 °Brix.
- pH esperado: 3.0–4.0.
- Textura buscada: espesa y homogénea.

- Color esperado: ámbar.

Características técnicas

El proceso consiste en la evaporación directa del agua contenida en el mucílago mediante calentamiento. La eficiencia depende del área superficial del recipiente y del control de variables como temperatura, agitación y tiempo. Durante la concentración se presentan incrementos en °Brix y viscosidad, reducción del volumen y oscurecimiento progresivo. El procedimiento es por lotes y requiere supervisión continua para evitar sobrecalentamiento o adherencias.

Recursos y equipos necesarios

Equipos. Plancha de calentamiento y fogón doméstico; olla metálica de amplia superficie; refractómetro; pH-metro; viscosímetro y termómetro.

Materiales. Espátulas metálicas, recipientes de acero o vidrio, filtros y frascos de almacenamiento.

Recursos. Mucílago fresco, energía eléctrica o gas y condiciones básicas de higiene.

Marco teórico

El cacao: importancia agroindustrial y contexto colombiano

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo de gran relevancia para la economía rural y la agroindustria de los países tropicales. Su producción sostiene a miles de pequeños agricultores y constituye una fuente clave de ingresos para comunidades que dependen del sector agrícola como principal actividad económica. Además de su valor cultural e histórico, el cacao impulsa cadenas productivas relacionadas con la fermentación, secado, transformación y comercialización de derivados como el chocolate y otros productos con valor agregado. Según Koltiva (2024), el cultivo desempeña un papel estratégico en el desarrollo sostenible, ya que promueve prácticas agrícolas responsables, incentiva la diversificación productiva y fortalece la resiliencia económica de los territorios cacaoteros. Esta combinación de factores convierte al cacao en un eje fundamental dentro del desarrollo socioeconómico de regiones productoras.

Su producción lo mantiene como una materia prima de alta relevancia mundial, especialmente en el segmento del chocolate y productos derivados. La producción global alcanzó cerca de 5 millones de toneladas en la temporada 2022/2023, siendo Costa de Marfil y Ghana los mayores productores, seguidos por Ecuador y otras naciones latinoamericanas (*Kakaoplattform*, 2023; ICCO, 2023a). En el caso de Colombia, este sector es estratégico. En 2023, el país produjo aproximadamente 59.831 toneladas métricas de cacao, cultivadas en unas 190.800 hectáreas, lo que lo convierte en el décimo productor global. En el informe de 2024, el USDA Foreign Agricultural Service indicó que los departamentos con mayor producción fueron Santander, Arauca y Antioquia. Además, Colombia exportó 30.746 toneladas, principalmente en forma de productos derivados, consolidando su posición como productor de “cacao fino y de aroma” (USDA Foreign Agricultural Service, 2024).

Características botánicas y diversidad genética

El cacao proviene del árbol perenne de la familia *Malvaceae*, nativo de las selvas tropicales de América del Sur. En su hábitat natural puede alcanzar entre 6 y 12 metros de altura; sin embargo, en condiciones de cultivo suele mantenerse entre 4 y 8 metros, adoptando una copa densa y globosa (Britannica, s.f.; FloraFaunaWeb, s.f.; Gardens by the Bay, s.f.). Sus hojas son alternas, brillantes, de forma oblonga u ovoide y pueden medir entre 12 y 60 cm de largo y entre 4 y 20 cm de ancho. Las hojas jóvenes presentan tonalidades rojizas que se oscurecen a medida que maduran (FloraFaunaWeb, s.f.).

En el caso de Colombia, país ubicado dentro del centro de origen y diversificación del cacao amazónico, la diversidad genética se manifiesta tanto en materiales nativos como en clones introducidos de otros países. De acuerdo con el Acuerdo 003 del Consejo Nacional Cacaotero (2010), se han aprobado oficialmente diversos clones y materiales genéticos recomendados para las siembras de cacao en Colombia, incluyendo variedades como ICS-95, IMC-67, CCN-51, TSH-565, EET-96 y EET-400, entre otros.

Estudios recientes confirman que, en regiones productoras como Huila, predominan combinaciones de materiales internacionales (ICS, TSH, CCN-51) junto con clones locales, lo que contribuye a la diversidad genética presente en el país (Téllez et al., 2019). Finalmente, la importancia de esta diversidad genética se refleja en el reconocimiento internacional de Colombia como productor de cacao fino y de aroma, con un 80 % de sus exportaciones clasificadas en esta categoría por la International Cocoa Organization (ICCO, 2024). Este estatus se debe a la combinación de materiales genéticos de alta calidad y prácticas postcosecha que permiten conservar perfiles sensoriales diferenciados.

Anatomía del fruto y generación de subproductos

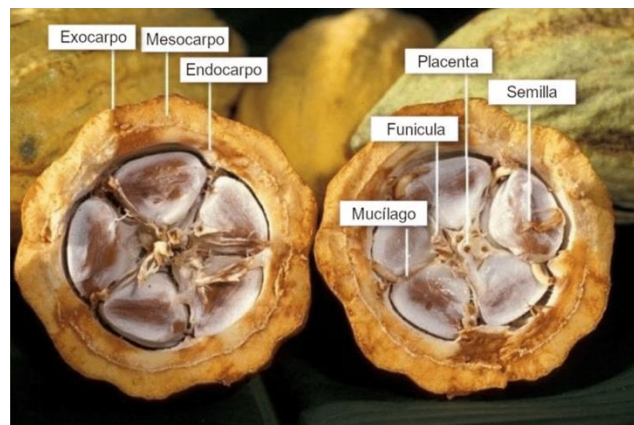
El fruto del cacao está compuesto por tres fracciones principales, que se evidencian en la figura 1:

- Cáscara del fruto (*husk*): estructura externa que protege el fruto, representa alrededor del 60–70 % del peso fresco del cacao, siendo el subproducto predominante en la cosecha y poscosecha del fruto (Vergara-Mendoza et al., 2022; Campos-Vega et al., 2018).

- Mucílago (pulpa blanca): representa aproximadamente entre 8 % y 12 % del peso del fruto.
- Semilla (grano): es la fracción utilizada en la industria principal de chocolate, cacao en polvo, manteca.

Figura 1.

Esquema anatómico del fruto de cacao, mostrando epicarpio, mesocarpio, endocarpio, semillas y placenta.



Nota. Partes del fruto del cacao. Adaptado de "Diseño e implementación de reactor anaerobio semicontinuo para aprovechamiento de cáscaras de cacao", por M. Merino, 2019, [Tesis de pregrado, ResearchGate].

Estado del arte de la valorización de subproductos del cacao

Subproductos como la cáscara del fruto, la cascarilla del grano, el tegumento (o testa) y el mucílago representan entre el 60 % y el 75 % del peso total del fruto (Agrosavia, s.f.). Históricamente, se han utilizado como biofertilizante dentro de las propias plantaciones o para alimentación animal (Vega González, 2024; Vargas Lucero, 2022).

La cáscara de la mazorca y la cascarilla que recubre el grano seco y tostado son los subproductos más voluminosos. Diversos estudios han demostrado su riqueza en fibra dietética, polifenoles y minerales como el magnesio y el calcio (Chocolates Artesanos Isabel, s.f.; Ruiz Lázaro, s.f.) Estas propiedades han llevado a su aprovechamiento para la producción de:

Harinas funcionales

La cascarilla puede ser molida para obtener harinas ricas en fibra, que se han utilizado en la elaboración de panes, galletas y otros productos horneados (Chocolates Artesanos Isabel, s.f.). Estos productos no solo aprovechan el residuo, sino que también aportan beneficios para la salud intestinal.

Aditivos alimentarios

La extracción de compuestos antioxidantes, como los flavonoides, a partir de la cascarilla ha mostrado su potencial para ser utilizados como aditivos naturales en la industria alimentaria, ayudando a mejorar la vida útil de otros alimentos y aportando beneficios a la salud (Ciprián Jiménez, 2020).

Bebidas y néctares

El mucílago es utilizado en su estado natural para la elaboración de néctares y bebidas fermentadas a las cuales les aporta sabor dulce y propiedades nutritivas (The Food Tech, 2023). Un ejemplo interesante es el desarrollo de néctares con propiedades funcionales, tales como la disminución del estrés (Universidad Técnica de Babahoyo, s.f.).

Jaleas y Mermeladas

Gracias a su alta concentración de pectina y azúcares el mucílago ha sido exitosamente transformado en jaleas y mermeladas que representan una alternativa innovadora a las jaleas tradicionales de fruta (Martínez & Hernández, 2022).

Producción de alcohol y vinagre

El mucílago es un sustrato que contiene altas concentraciones de azúcares fermentables, lo que lo convierte en un buen candidato para la producción de etanol y vinagre, además de disminuir la huella de la cadena de producción de cacao y brindar nuevas oportunidades económicas (Álava Zambrano, 2020).

Potencial del mucílago de cacao

El mucílago de cacao es un tejido blanco, viscoso y dulce que envuelve a los granos dentro del fruto. Aunque durante décadas se consideró un residuo del proceso de fermentación, ahora es reconocido como una materia prima con alto potencial de aprovechamiento industrial. Análisis recientes de balance de masa indican que el mucílago corresponde aproximadamente al 4.13 ± 0.80 % del peso fresco del fruto, que generalmente se pierde en las fincas (Vergara-Mendoza et al., 2022).

El mucílago presenta un alto contenido de agua (80–85 %) y una fracción considerable de azúcares simples principalmente glucosa, fructosa y sacarosa que representan cerca del 10–13 % de su peso, además de ácidos orgánicos, pectina, compuestos antioxidantes y minerales esenciales (Balladares et al., 2016; Álava Zambrano, 2020).

Estas características convierten al mucílago en un ingrediente de interés para el desarrollo de productos alimentarios innovadores.

Marco regulatorio para alimentos e ingredientes

La elaboración de productos como edulcorantes naturales debe observar la reglamentación sanitaria y de seguridad del país en el que se produzca y de los que conforman los mercados de destino, en tal caso, la normativa sobre Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y la Guía para la realización de un Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP) para que el proceso de producción cumpla con los requerimientos de higiene y seguridad. Tal normativa es de vital importancia para que el producto no se contamine y llegue a los consumidores con un nivel de calidad adecuado (ARCOSA, 2024).

De igual forma, la Resolución 810 de 2021 y la Resolución 2492 de 2022 del Ministerio de Salud y Protección Social, establecen los requisitos técnicos y científicos del etiquetado nutricional y frontal de advertencia para alimentos procesados y bebidas no alcohólicas, Esto incluye declarar los distintos componentes que lo conforman, como el contenido en azúcares y carbohidratos y su parte calórica. La denominación del producto, "edulcorante natural a base de mucílago de cacao", debe ser la misma que la empleada en la norma y no ser errónea, dado que se debe seguir las especificaciones del Codex Alimentarius para edulcorantes (FAO & OMS, 2023).

Para efectos del presente estudio, el marco regulatorio se aborda desde una perspectiva referencial, dado que el modelo evaluado corresponde a una etapa experimental y artesanal, no orientada aún a la comercialización formal.

Lineamientos de sostenibilidad y economía circular

Desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental, es importante que el proceso de extracción y purificación sea eficiente desde un punto de vista energético y de uso del agua, y además genere la menor cantidad de residuos.

Economía circular y biorrefinería

La economía circular propone reemplazar los modelos lineales de producción por sistemas que prolonguen el ciclo de vida de los materiales mediante reciclaje, reutilización y valorización de residuos. En el sector alimentario, esto es especialmente relevante debido al gran volumen de subproductos generados (Ellen MacArthur Foundation, 2019). Se ha demostrado que implementar estrategias circulares en cadenas productivas intensivas en recursos puede reducir significativamente las emisiones ambientales y fortalecer la resiliencia del sistema alimentario global (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

La noción de biorrefinería propone un aprovechamiento escalonado de los subproductos: primero, la extracción de compuestos de alto valor (polifenoles, pectinas), luego la producción de alimentos y finalmente el uso de remanentes para energía o compostaje (Chemat, et al., 2012). En el caso del cacao, este enfoque permitiría valorizar las fracciones del fruto que en la actualidad se descartan, especialmente la cáscara y el mucílago, que representan una parte significativa de la biomasa residual.

Uno de los grandes retos para la revalorización de estos subproductos es encontrar procesos eficientes y sostenibles. Tecnologías emergentes como la extracción asistida por ultrasonido o microondas han permitido mejorar los rendimientos de compuestos bioactivos en la cáscara y el mucílago, reduciendo el uso de solventes y energía (Chemat et al., 2012). Estas metodologías, enmarcadas dentro de la química verde, aportan soluciones de bajo impacto ambiental que facilitan la escalabilidad de proyectos de biorrefinería.

La economía circular aplicada al cacao busca cerrar ciclos mediante el uso de subproductos que tradicionalmente han sido considerados residuos. Esto se alinea con los lineamientos de la Unión Europea y de la FAO, que destacan el potencial del sector agroalimentario para implementar modelos circulares (European Commission, 2023; FAO, 2022). En Colombia, se encuentran políticas de emprendimiento como el CONPES 4011 (Departamento Nacional de Planeación, 2020) que impulsan políticas que facilitan el emprendimiento en áreas de bioeconomía, lo cual fortalece las posibilidades de escalamiento de proyectos de valorización de residuos agroindustriales.

Valorización de subproductos del cacao

El mucílago de cacao tiende a consolidarse como un ingrediente funcional para la industria alimentaria, dado que dicho subproducto es rico en azúcares fermentables y compuestos bioactivos que contribuyen al desarrollo de bebidas fermentadas y zumos con muy buena aceptación en mercados internacionales (Meersman et al., 2013). Esto, unido a la posibilidad de estabilizar el mucílago de cacao mediante una fermentación controlada, garantiza una duración del producto extendida y mejora algunas de sus características sensoriales, convirtiéndolo en una alternativa gastronómica eficaz y sostenible a los endulzantes convencionales (Lefeber, Janssens, Camu, & De Vuyst, 2010).

La cascarilla del cacao, mientras tanto, mantiene su relevancia como fuente de fibra y compuestos bioactivos antioxidantes que confieren un beneficio adicional en la aplicación sostenible del subproducto (Rojo-Poveda et al., 2020; Jarrín-Chacón et

al., 2023). En consecuencia, la combinación de ambos subproductos supone un camino creciente a partir de la diversificación que ofrece la bioeconomía circular. En el futuro, la articulación de academia-productor-sector industrial será decisiva para pasar a escalar y posicionar a Colombia como referente en la innovación de los derivados del cacao (ICCO, 2024; DNP, 2020).

Análisis de restricciones

El desarrollo de un edulcorante natural a partir del mucílago de cacao no solo constituye un desafío técnico, sino que se ve condicionado por un entramado de limitaciones normativas, financieras, ambientales y sociales que determinan la factibilidad del proyecto. El análisis de restricciones permite anticipar riesgos y establecer estrategias de mitigación propias de la ingeniería química, garantizando la sostenibilidad y escalabilidad de la propuesta.

Legales y normativas

El proyecto debe operar dentro de los marcos regulatorios nacionales e internacionales para productos alimenticios. En Colombia, es obligatorio cumplir con la Resolución 2674 de 2013, que establece los requisitos sanitarios para la fabricación y comercialización de alimentos, incluyendo notificación, permisos sanitarios y adecuación de instalaciones (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013). Además, el INVIMA es la autoridad encargada de otorgar los registros sanitarios para garantizar la inocuidad de productos nuevos como el edulcorante de mucílago (INVIMA, 2024). Asimismo, la normativa internacional exige alinearse con

el Codex Alimentarius, el cual regula la adición y denominación de edulcorantes (FAO & OMS, 2023).

Técnicas

La restricción técnica principal radica en la disponibilidad de infraestructura y equipos adecuados. Para la transformación del mucílago en miel se requiere de sistemas de evaporación, recipientes de acero inoxidable para evitar contaminación, sistemas de filtración, controles de temperatura y viscosidad.

Económicas y financieras

El factor económico constituye una de las restricciones más significativas. La compra de equipamiento, el acondicionamiento de los espacios con unas condiciones higiénicas adecuadas, la realización de pruebas de laboratorio, y los trámites regulatorios, requieren una inversión económica inicial importante. Los gastos que conlleva el proceso de obtención de los registros sanitarios y otros trámites regulatorios es un aspecto económico relevante para la generación de nuevos productos de alimentación. ProColombia (2023) señala que, aunque el cacao colombiano tiene prestigio por su calidad reconocida internacionalmente, el sector debe enfrentar retos asociados al cumplimiento de los estándares de inocuidad y calidad exigidos por los mercados globales, lo que significa que los productores y transformadores deben asumir unos costes asociados. Además, la variabilidad del precio del cacao puede constituir un factor que limite la disponibilidad del mucílago.

Ambientales

El proceso de aprovechamiento del mucílago presenta ciertas restricciones ambientales. Su manejo debe evitar la generación de olores, fermentaciones no controladas y proliferación de insectos, ya que es un subproducto con alta carga orgánica de azúcares. El proceso de concentración requiere energía, por lo que debe procurarse un uso eficiente para minimizar emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes.

Salud y seguridad

El manejo de temperaturas elevadas representa riesgos ocupacionales de quemaduras y accidentes. Asimismo, la manipulación del mucílago requiere controles estrictos de bioseguridad. La adopción de protocolos de seguridad industrial, capacitación de personal y cumplimiento de BPM son indispensables (INVIMA, 2024).

Sociales y culturales

Este proyecto puede beneficiar a pequeños agricultores (Fedecacao, 2023). No obstante, la aceptación cultural es un reto, pues el consumidor podría mostrar resistencia inicial frente a un edulcorante distinto a la miel convencional. Será clave destacar atributos de sostenibilidad, origen campesino y beneficios nutricionales.

Políticas y gubernamentales

El proyecto se alinea con políticas de bioeconomía y economía circular vigentes en Colombia, como el CONPES 4011 de 2020 política nacional de emprendimiento. Sin embargo, su ejecución depende de la estabilidad política y de la asignación de recursos para investigación aplicada.

Limitaciones del equipo de trabajo

El desarrollo del proyecto presenta limitaciones asociadas a la logística y a la disponibilidad de la materia prima. Debido a que el equipo de trabajo se encuentra ubicado en Bogotá, el acceso a mucílago de cacao fresco resulta limitado, ya que este subproducto solo se genera en zonas productoras, principalmente en los departamentos de Huila, Santander, Arauca y Antioquia. El transporte del mucílago hacia la ciudad implica riesgos de fermentación natural, pérdida de propiedades y reducción de su vida útil, dado que se deteriora rápidamente si no se conserva en condiciones controladas.

Asimismo, la realización de ensayos de estabilidad y vida útil a largo plazo se ve restringida por las condiciones experimentales disponibles, lo que impide simular adecuadamente el comportamiento del producto en periodos prolongados. Por esta razón, el estudio se orienta principalmente a evaluar la viabilidad técnica inicial y el desempeño del producto en el corto plazo.

Metodología para la selección y desarrollo de la solución

La metodología se construye en coherencia con los objetivos planteados. Se propone una secuencia de etapas que permiten transformar el mucílago de cacao en producto alimenticio, evaluando su viabilidad técnica y económica.

Enfoque de la investigación

La investigación emplea una metodología cuantitativa y experimental, pues se dirige a medir y examinar las variables de naturaleza física, química y económica

relativas al proceso de transformación del mucílago de cacao en un edulcorante de tipo miel. El enfoque cuantitativo permite recopilar y analizar datos como contenido de azúcares, pH, viscosidad y rendimiento del proceso para establecer relaciones entre las condiciones de procesamiento y las características del producto final.

Alcance de la investigación

El estudio es de alcance exploratorio y descriptivo. Exploratorio porque se define como un estudio de un campo con escasa investigación previa en el ámbito colombiano, que es la utilización del mucílago de cacao como materia prima para la obtención de un edulcorante natural, pero a su vez puede ser considerado descriptivo, ya que se centra en la etapa de caracterización de las propiedades fisicoquímicas del mucílago y de la evaluación de los resultados del proceso de concentración térmica bajo condiciones controladas en el laboratorio.

El proyecto se limita a la obtención de un prototipo experimental de miel de cacao con el análisis correspondiente de sus propiedades básicas (color, viscosidad, pH y contenido de sólidos solubles) junto con una estimación de costos preliminar que permita definir la viabilidad técnica del producto. No forma parte de los objetivos de esta etapa de investigación la evaluación de estabilidad en almacenamiento, el escalamiento industrial, ni los estudios sensoriales con consumidores finales, ya que estos nacen a partir de etapas posteriores.

Diseño de la investigación

El proyecto se estructura en tres fases principales: caracterización, transformación y evaluación. En la primera fase se realiza la caracterización inicial

del mucílago para determinar sus propiedades fisicoquímicas y establecer su viabilidad como materia prima. La segunda fase corresponde al proceso de concentración térmica, en el cual el mucílago fue sometido a calentamiento controlado con el fin de obtener un concentrado tipo miel. Finalmente, en la tercera fase se evalúan las propiedades del producto obtenido y se comparan con parámetros de referencia para establecer su viabilidad técnica, complementada con una estimación preliminar de costos para valorar su viabilidad económica.

El diseño sigue una lógica experimental, ya que se manipulan variables como temperatura, tiempo de calentamiento y volumen inicial, mientras se miden variables de respuesta como °Brix, pH, viscosidad y color. Este esquema permite analizar de manera sistemática los cambios que experimenta el mucílago durante el proceso y determinar si las condiciones aplicadas permiten obtener un edulcorante con características adecuadas.

Etapa 1: Caracterización del mucilago de cacao

El mucílago se obtuvo a partir de mazorcas maduras de cacao provenientes del municipio de Rivera, Huila. Tras la apertura de las mazorcas, se separaron manualmente los granos y se permitió el escurrimiento del mucílago. El líquido recolectado se filtró mediante una malla para retirar partículas sólidas y se almacenó temporalmente en recipientes limpios.

Antes del proceso de concentración, el mucílago fue sometido a una caracterización fisicoquímica que incluyó:

- Contenido de sólidos solubles (°Brix), mediante refractómetro digital.

- pH.
- Viscosidad, mediante viscosímetro.
- Color, por observación visual bajo condiciones homogéneas de iluminación.

Estas mediciones permitieron establecer una línea base para comparar los cambios generados durante el proceso.

Etapa 2: Concentración térmica de la miel de mucilago de cacao

El mucílago filtrado se sometió a calentamiento directo con el fin de evaporar agua y obtener un concentrado con características similares a una miel natural. El proceso se realizó inicialmente en una plancha de calentamiento y posteriormente en una olla metálica de amplia superficie sobre un fogón doméstico, con el fin de incrementar la eficiencia de evaporación. Durante esta etapa se controlaron los siguientes aspectos:

- Temperatura de operación a 90 °C.
- Agitación intermitente para evitar adherencias.
- Reducción progresiva del volumen.
- Monitoreo del aumento del contenido de sólidos solubles.

El proceso finalizó cuando el concentrado alcanzó entre 60 y 70 °Brix, rango esperado para productos tipo miel.

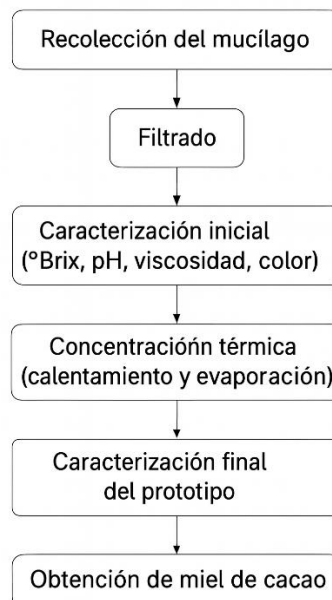
Etapa 3: Caracterización final del edulcorante

Una vez obtenida la miel de cacao, se realizó una segunda caracterización con el fin de evaluar su viabilidad técnica, La figura 2 muestra el diagrama de flujo del procedimiento experimental llevado a cabo para la obtención del mucílago de cacao.

- °Brix final.
- pH.
- Viscosidad.
- Color y textura.

Figura 2

Diagrama de flujo del procedimiento experimental para la obtención de miel de mucílago de cacao.



Nota. Elaboración propia.

Variables del estudio

Para el desarrollo de la investigación se definieron variables independientes, dependientes y de control, con el fin de analizar de forma sistemática el comportamiento del mucílago durante el proceso de concentración térmica y las características del producto final. En la tabla 1 se presentan las variables del estudio.

Tabla 1

Variables del estudio

Tipo de variable	Descripción	Variables incluidas
Independientes	Condiciones manipuladas durante el proceso para evaluar su efecto en el producto final.	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura de calentamiento. - Tiempo de concentración. - Volumen inicial de mucílago.
Dependientes	Propiedades medidas para analizar la respuesta del sistema frente a las condiciones de operación.	<ul style="list-style-type: none"> - °Brix (sólidos solubles). - pH inicial y final. - Viscosidad.

		- Color y apariencia del concentrado.
De control	Parámetros mantenidos constantes para garantizar reproducibilidad y confiabilidad.	- Condiciones ambientales del laboratorio - Métodos e instrumentos de medición.

Nota. Elaboración propia.

Recursos y equipos necesarios

Para la ejecución del proyecto fue necesario disponer de recursos físicos, instrumentales y operativos que permitieran realizar la recolección, caracterización y transformación del mucílago de cacao bajo condiciones controladas. A continuación, se describen los principales recursos y equipos utilizados.

Equipos de laboratorio

- Refractómetro digital, empleado para la medición del contenido de sólidos solubles (°Brix) del mucílago y del concentrado.
- Tiras de pH.
- Viscosímetro, requerido para evaluar los cambios de viscosidad durante el proceso.

- Plancha de calentamiento, empleada en los ensayos iniciales de concentración bajo control térmico.
- Fogón doméstico de gas, utilizado como fuente de calor adicional para incrementar la eficiencia de evaporación en recipientes de gran superficie.
- Termómetro, para el monitoreo continuo de la temperatura del proceso.

Materiales y utensilios

- Recipientes de acero o aluminio de amplia superficie, necesarios para la concentración térmica.
- Mallas de filtración, utilizadas para remover sólidos e impurezas del mucílago.
- Vasos de precipitado, espátulas y probetas, esenciales para la manipulación, mezcla y transferencia de muestras.
- Frascos o envases herméticos, empleados para el almacenamiento temporal del producto final.

Materia prima

- Mucílago de cacao, obtenido a partir de mazorcas maduras provenientes del municipio de Rivera, Huila.
- Mazorca y granos de cacao, utilizados en la etapa de separación y escurrimiento del mucílago.

Recursos operativos

- Acceso al Laboratorio de Ingeniería Química, indispensable para la toma de mediciones fisicoquímicas.
- Condiciones controladas de trabajo (iluminación, espacio, ventilación, higiene).
- Disponibilidad de energía eléctrica y gas, necesarias para los instrumentos de medición y las fuentes de calor.

Desarrollo de la Solución

Etapas 1: Caracterización del mucílago de cacao a partir de fuentes secundarias

Aunque el presente estudio se realizó con cacao trinitario del municipio de Rivera (Huila, Colombia), se empleó como referencia los valores reportados por Balladares et al. (2016) para mucílago de cacaos trinitarios ecuatorianos, dado que pertenecen al mismo grupo genético (criollo–forastero) y presentan características fisicoquímicas comparables. La calidad del grano de cacao, especialmente de variedades Fino de Aroma como el Trinitario de Huila, está ligado a la composición química de su pulpa (mucílago) madura. El lixiviado que se produce representa hasta un 7% del peso del cacao fresco, contiene Glucosa, Fructosa y Sacarosa, además de una alta concentración de ácidos orgánicos. De acuerdo con el artículo de Balladares et al. (2016), el pH se encuentra entre 3.58 y 3.97 y sólidos solubles de 17.7 a 19.6 °Brix, como también nombra una lista de compuestos que se encuentran en la tabla 2.

Tabla 2

Composición del mucílago de cacao trinitario reportado por la literatura

Grupo de Compuestos	Compuestos específicos Identificados
Azúcares Principales	Fructosa (4.42%), Sacarosa (2.15%), Glucosa (2.13%)
Aminoácidos	Ácido L-Aspártico, Ácido Glutámico
Ácidos Orgánicos	Ácido L-(+)-Tartárico, Ácido L-Ascórbico (Vitamina C), Ácido Fumárico, Ácido Succínico, Ácido D-Glucónico
Alcoholes de Azúcares (Polioles)	Eritritol, Xilitol, Inositol

Nota. Datos tomados de *Balladares et al. (2016), “Physicochemical characterization of Theobroma cacao L. sweatings in Ecuadorian coast”, *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(10), 741–745. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-02-187>

Caracterización experimental del mucílago de cacao

Las mazorcas empleadas para la realización de la miel de cacao fueron recolectadas en el municipio de Rivera, Huila, zona reconocida por el cultivo de cacao trinitario o común (híbrido criollo–forastero). Este es característico de la región y pertenece al grupo de cacaos finos y de aroma, valorados por su calidad

sensorial y su potencial para la elaboración de productos con valor agregado (USDA, 2019; Fedecacao, 2023).

Según se observa en la Figura 2 para la realización del producto se seleccionaron mazorcas maduras de color amarillo intenso a anaranjado, ya que presentan mayor cantidad de pulpa y un contenido alto de azúcares fermentables. Este grado de madurez facilita la extracción del mucílago. Según la guía de CADENACACAOCA (s.f.), *“Las mazorcas ‘pintonas’, o algo verdes, no tienen suficiente azúcar en la pulpa para fermentar de manera satisfactoria. Por lo que los granos no fermentan bien y se afecta la calidad de cosecha”* (p. 9).

Por lo tanto, se descartaron las mazorcas verdes o poco maduras y así garantizar una pulpa rica en azúcares, pectinas y humedad.

Figura 3.

Mazorca maduras de cacao (Theobroma cacao L.) utilizadas para la extracción del mucílago.



Nota. Se emplearon frutos de cacao trinitario o común, típicos de la región, seleccionados en estado de madurez completa (color amarillo a anaranjado).

Fuente: elaboración propia (2025).

La caracterización del mucílago de cacao se realizó en los Laboratorios de Ingeniería Química de la Universidad EAN, con el objetivo de determinar las propiedades fisicoquímicas iniciales. Para cada variable analizada ($^{\circ}$ Brix, pH, color y viscosidad), se tomaron tres mediciones independientes, calculando posteriormente el promedio de los valores obtenidos con el fin de garantizar la reproducibilidad de los datos. Los resultados consolidados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3

Resultados promedio de la caracterización inicial del mucílago de cacao

Variable	Valor promedio	Observaciones
$^{\circ}$ Brix inicial	11	típico de mucílago fresco
pH inicial	4	ligeramente ácido
Color	blanco cremoso a marrón claro	Variación atribuible a diferencias en el grado de madurez de las mazorcas y leve oxidación superficial.
Viscosidad (Cp)	2902	Con textura pegajosa.

Nota. Elaboración propia (2025).

A partir de las mazorcas de cacao utilizadas, se determinó el peso total y el peso conjunto del mucílago con los granos. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla

4. El rendimiento promedio fue del 20,4 %, lo que indica que aproximadamente una quinta parte del peso del fruto corresponde al material interno aprovechable (mucílago y semillas).

Tabla 4

Rendimiento de mucílago + grano respecto al peso total de las mazorcas

Mazorca	Peso Total (g)	peso mucílago + grano (g)	% mucílago/mazorca
1	709	154	21,72
2	1032	142	13,76
3	621	120	19,32
4	586	132	22,53
5	700	173	24,71
6	555	112	20,18
7	553	114	20,61

Nota. Elaboración propia (2025).

Etapa 2: Concentración térmica de la miel de mucílago de cacao. La transformación del mucílago en miel se realizó empleando una plancha de calentamiento y un termómetro para controlar la temperatura del proceso. Se utilizaron siete mazorcas de cacao fresco, de las cuales se obtuvo el material inicial compuesto por semillas cubiertas de mucílago. Tras el filtrado, se recolectó un total de 200g de mucílago fresco, que representa la fracción líquida potencialmente aprovechable del fruto.

Durante la concentración, el mucílago se calentó de manera controlada hasta alcanzar las temperaturas registradas en la tabla 5, se observó color, textura, con evidente aumento de viscosidad y liberación de vapor de agua. El proceso se realizó con agitación continua, evitando el sobrecalentamiento o la caramelización.

Tabla 5

Resultados observados durante la concentración del mucílago

Temperatura (°C)	Tiempo (min)	°Brix	Color observado	Textura / Comportamiento
70	40	13	Marrón claro	Líquido denso
80	60	19	Marrón claro	Fluido espeso
90	80	21.5	Marrón oscuro	Muy viscoso, adherente

Nota. Elaboración propia.

En esta primera prueba, se mostró un incremento gradual en el contenido de sólidos solubles, aunque el valor máximo obtenido fue de 21,5 °Brix, sin lograr la concentración deseada para una miel.

Ensayo 2: Concentración en sartén de mayor área superficial. Con el propósito de mejorar la eficiencia del proceso, se repitió el ensayo utilizando un sartén con una mayor área superficial, se colocó sobre un fogón doméstico para favorecer la evaporación del agua. Este segundo procedimiento permitió un calentamiento más

uniforme y un mayor valor en la medición de °Brix, se alcanzó una temperatura de 90 °C de temperatura, durante 2 horas y los resultados presentados en la siguiente tabla.

Tabla 6

Resultados finales de la concentración del mucílago de cacao

Variable	Valor obtenido	Observaciones
Masa Inicial (g)	200g	Depende del tamaño de la mazorca y estado de madurez de esta.
Temperatura final (°C)	90	Calentamiento realizado con sartén y olla de gran área sobre fogón doméstico.
°Brix final	65	Incremento notable respecto al valor anterior (21,5 °Brix).
pH final	4	Concentración de ácidos naturales.
Color	Marrón Oscuro	Color uniforme.
Textura	Espesa y homogénea	Mayor viscosidad y percepción de dulzor.
Rendimiento del concentrado	18.5%	El rendimiento del mucílago con respecto a la miel que queda de producto depende de los grados brix a la que esta llegue

Viscosidad (Cp)	4000	Se muestra densa, pero con fluidez
Masa Final (g)	37	Equivalente a un rendimiento del 18,5 %

Nota. Elaboración propia (2025).

Evaluación de la viabilidad técnica

La viabilidad técnica del proceso se evaluó con base en las propiedades fisicoquímicas del concentrado final y en el comportamiento observado durante la concentración térmica. Los resultados permiten afirmar que el proceso es técnicamente viable debido a los siguientes aspectos:

Incremento adecuado del contenido de sólidos solubles

El concentrado final alcanzó 65 °Brix, valor dentro del rango esperado para productos tipo miel (60–80 °Brix), lo que confirma la eficacia de la evaporación controlada.

Estabilidad del pH

El pH final se mantuvo alrededor de 4,0, indicando una acidez estable y adecuada para la conservación natural del producto.

Consistencia y textura del producto

La viscosidad final, cercana a 4000 cP, corresponde a una textura espesa, homogénea y comparable con mieles artesanales.

Calidad sensorial básica

El color marrón oscuro, la ausencia de quemado y la homogeneidad visual indican un proceso térmico controlado.

Reproducibilidad del proceso

Los resultados son controlables y reproducibles con equipos más estandarizados en producciones futuras. Estos datos indican que el proceso es técnicamente viable a pequeña escala, con posibilidad de escalarse mediante evaporadores o marmitas de mayor capacidad.

Limitaciones técnicas

Requerimientos técnicos e infraestructura. El proceso de obtención del edulcorante tipo miel a partir del mucílago de cacao requiere condiciones técnicas básicas que permitan garantizar una evaporación controlada del agua presente. Entre los requerimientos técnicos se encuentran el uso de recipientes con suficiente área superficial, una fuente de calor con control de temperatura y un sistema de agitación constante que evite la caramelización localizada del producto.

Disponibilidad del mucílago y rendimiento del proceso. El mucílago de cacao es un subproducto cuya disponibilidad está directamente relacionada con la producción cacaotera. El rendimiento obtenido en el proceso de concentración fue cercano al 18 %, valor que se encuentra condicionado por el alto contenido de humedad del mucílago. Si bien este rendimiento implica una pérdida significativa de masa durante la evaporación, confirma la posibilidad de obtener un producto concentrado de manera consistente, siempre que la materia prima presente condiciones adecuadas de calidad y madurez.

Análisis de conservación del producto. Los °Brix alcanzados durante el proceso de concentración, junto con el pH ácido del producto final, favorecen la reducción de la actividad microbiana y contribuyen al aumento potencial de la vida útil del edulcorante obtenido.

Riesgos técnicos del proceso. Durante la evaluación del proceso se identificaron diversos riesgos técnicos asociados principalmente a la etapa de evaporación.

Entre ellos se destacan el incremento del riesgo de caramelización cuando no se controla adecuadamente la temperatura, los tiempos prolongados requeridos para la eliminación del agua y la pérdida de masa inherente al alto contenido de humedad del mucílago. Estos riesgos pueden mitigarse mediante un control riguroso de las variables operativas y la optimización de las condiciones del proceso.

Con base en la evaluación de los requerimientos técnicos, la disponibilidad de la materia prima, los parámetros de conservación del producto y los riesgos identificados, la transformación del mucílago de cacao en un edulcorante tipo miel es técnicamente viable a escala de laboratorio. El proceso demostró ser reproducible y controlable bajo condiciones adecuadas, lo que constituye una base técnica sólida para futuros estudios orientados a la optimización y posible escalamiento del procedimiento.

Análisis de Costos

De acuerdo con la *Guía Técnica del Cultivo de Cacao* del Fondo Nacional del Cacao (Fedecacao, 2015), el cultivo en Colombia presenta un periodo de cosecha principal entre octubre y enero y una cosecha intermedia entre abril y junio. Con base en esta distribución estacional, se asumió un periodo promedio de actividad productiva intensiva de cuatro meses al año para efectos del presente análisis. Se asumió una operación artesanal de:

2 jornadas de producción por semana

Por lo tanto:

$$16 \text{ semanas} \times 2 \text{ jornadas/semana} = 32 \text{ jornadas/año}$$

El rendimiento promedio nacional del cultivo oscila entre 500 y 800 kg de cacao seco por hectárea al año (Fedecacao, 2023; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023). En fincas de pequeña escala (1–3 ha), esto puede representar una producción anual entre 500 y 2.000 kg de cacao seco. Durante el proceso de beneficio, el mucílago o pulpa representa aproximadamente entre el 10 % y el 20 % del peso fresco del grano, dependiendo de la variedad y estado de madurez (Schwan & Wheals, 2004; Afoakwa, 2014). Este subproducto, usualmente destinado al drenaje durante la fermentación, constituye una fracción con potencial de valorización.

Con base en estas cifras, se asumió un procesamiento artesanal de 10 kg de mucílago fresco por jornada productiva. Este volumen se considera técnicamente manejable bajo condiciones rurales, sin requerir infraestructura industrial

especializada. Manteniendo el rendimiento experimental promedio obtenido en el presente estudio (18,5 % en base húmeda), la producción por jornada se calcula como:

$$10 \text{ kg} \times 0,185 = 1,85 \text{ kg de miel/jornada}$$

Considerando una operación de dos jornadas por semana durante un periodo de cuatro meses (16 semanas), se proyectan 32 jornadas productivas anuales. Bajo este escenario, la producción anual estimada sería de aproximadamente 59,2 kg de miel de cacao.

$$1,85 \text{ kg/jornada} \times 32 \text{ jornadas/año} = 59,2 \text{ kg/año}$$

Con el fin de evaluar la factibilidad técnica-operativa del aprovechamiento del mucílago en finca, se realizó una estimación preliminar de costos bajo un escenario artesanal del aprovechamiento del mucílago de cacao en origen, se realizó una estimación preliminar de los costos asociados a un escenario artesanal en finca. La estimación considera los requerimientos mínimos de implementación del proceso, así como los costos de operación anual bajo el supuesto de 32 jornadas productivas por temporada. Los costos se clasificaron en costos de implementación, costos directos de operación anual y costos indirectos, con el fin de estructurar el análisis de manera coherente con el alcance artesanal del proceso.

Costos de inversión inicial

Tabla 7

Costos de implementación del proceso artesanal en finca

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN			
CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO (COP)
Recipientes de acero inoxidable	Cocción y concentración del mucílago	1 und	600.000
Malla / filtro	Filtración del mucílago fresco	1 und	150.000
Termómetro	Control de temperatura del proceso	1 und	150.000
Subtotal Implementación			900.000

Nota. Elaboración propia (2025), con base en estimaciones de mercado para equipamiento básico en acero inoxidable grado alimenticio.

Costos de operación anual – directos

Tabla 8

Costos de operación anual – escenario artesanal

CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO (COP)
Mano de obra	2 personas × 80.000 COP × 32 jornadas	64 jornales	5.120.000
Envases 100 g	19 unid/jornada × 32 jornadas	608 unid	608.000
Energía eléctrica	3 kWh × 32 jornadas	96 kWh	52.800
Aseo y sanitización	Insumos de limpieza × 32 jornadas	32 jorn.	320.000

Subtotal Directos Anuales	6.100.800
----------------------------------	------------------

Nota. Elaboración propia (2025), con base en supuestos operativos del escenario artesanal propuesto.

Costos indirectos

Tabla 9

Costos indirectos anuales

CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO (COP)
Contingencia (5%)	5% sobre costos directos anuales	—	305.040
Material de rotulado básico	Etiquetado simple artesanal	—	200.000
Transporte local	Distribución pequeña escala	—	300.000
Subtotal Indirectos			805.040

Nota. Elaboración propia (2025).

Tabla 10

Resumen general de costos

Concepto	Costo (COP)
Implementación	900.000
Operación anual directa	6.100.800
Costos indirectos	805.040
Costo total año 1	7.805.840

Nota. Elaboración propia (2025).

Es importante precisar que la estimación económica presentada corresponde a un escenario preliminar de producción artesanal en finca y no contempla los costos asociados a registro sanitario, certificaciones de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) ni adecuaciones locativas exigidas por el INVIMA para la comercialización formal de alimentos. La inclusión de dichos requisitos regulatorios formaría parte de una etapa posterior de escalamiento y formalización del producto.

Conclusiones

- El mucílago proveniente del cacao (*Theobroma cacao L.*) evidenció un alto potencial para su aprovechamiento como materia prima en la elaboración de un edulcorante tipo miel. El proceso experimental permitió obtener un producto homogéneo, de color marrón oscuro, con adecuada fluidez y un contenido final de 65 °Brix. Se obtuvo un rendimiento promedio de 18,5 %, equivalente a 37 g de miel a partir de 200 g de mucílago fresco, resultado

coherente con la alta proporción de agua presente en este subproducto (aproximadamente 80 %), lo que explica la reducción de masa durante la evaporación.

- Se determinó que el tiempo y la temperatura de calentamiento constituyen variables críticas para alcanzar mayores concentraciones de sólidos solubles. Aunque en el presente estudio se logró una miel estable, se identificó que tiempos de evaporación más prolongados y el uso de utensilios con mayor área de transferencia de calor podrían incrementar el grado Brix y mejorar la eficiencia del proceso, evitando fenómenos de caramelización indeseada.
- Desde el punto de vista técnico, el procedimiento demostró ser sencillo, reproducible y viable a escala de laboratorio. La transformación del mucílago en miel puede realizarse sin requerir maquinaria industrial compleja; sin embargo, para una eventual ampliación de escala, sería necesario optimizar las condiciones de evaporación y garantizar un control térmico más preciso para mantener uniformidad y calidad del producto.
- El análisis preliminar de costos permitió estimar el orden de magnitud económico del proceso bajo un escenario artesanal en finca. Se determinó que el costo total del proceso en el primer año asciende aproximadamente a 7.805.840 COP, siendo la mano de obra el principal componente del costo anual. Este resultado evidencia que el proceso es intensivo en trabajo manual y no en consumo energético, lo que puede favorecer su implementación en contextos rurales con recursos tecnológicos limitados.

- En términos de sostenibilidad, el aprovechamiento del mucílago representa una alternativa real de valorización de residuos agroindustriales, contribuyendo a la economía circular en la cadena cacaotera. La transformación de este subproducto en un edulcorante con potencial comercial podría generar nuevas oportunidades económicas para productores, al tiempo que reduce la carga orgánica descartada durante el beneficio del cacao.
- Finalmente, es importante señalar que la evaluación económica presentada tiene carácter preliminar y descriptivo. Estudios futuros podrían profundizar en análisis financieros más detallados, estudios de mercado y evaluación sensorial ampliada, con el fin de determinar la viabilidad comercial a mayor escala.

Referencias

Adomako, D. (1972). Cocoa pod husk pectin. *Tropical Science*.
[https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)88468-X](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)88468-X)

Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA). (2024). *Normativa sanitaria vigente*. <https://www.controlsanitario.gob.ec/normativa-sanitaria-vigente/>

Agrilink. (2024). Así es el boom del cacao: exportaciones crecieron más de 100 % en 2024. <https://agrilink.co/asi-es-el-boom-del-cacao-exportaciones-crecieron-mas-de-100-en-2024/>

AGROSAVIA. (s. f.). *Proyecto de investigación: Subproductos del cacao*.
<https://vivo.agrosavia.co/display/proinv440>

Álava Zambrano, W. A. (2020). *Caracterización físico-química del mucílago de cacao (Theobroma cacao L.) con énfasis en los azúcares que lo componen* [Tesis de maestría, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio de la Universidad Agraria del Ecuador.

Arandú. (2023). Artículo en revista. *Arandú*, 11(2), 521.
<https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.521>

Balladares, C., Chóez-Guaranda, I., García, J., Sosa, D., Pérez, S., González, J. E., Viteri, R., Barragán, A., Quijano-Avilés, M., & Manzano, P. (2016). Physicochemical characterization of *Theobroma cacao* L. sweatings in Ecuadorian coast. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-02-187>

CADENACACAOCA. (s. f.). *Aprendiendo e innovando sobre la cosecha, fermentación y secado del cacao* [Guía sobre el beneficiado del cacao].
https://cadenacacaoca.info/CDOCDeployment/documentos/19_Guia_8_Beneficiado.pdf

Campos-Vega, R., Nieto-Figueroa, K. H., & Oomah, B. D. (2018). Cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husk: Renewable source of bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 76, 204–216.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.022>

Chemat, F., Vian, M. A., & Cravotto, G. (2012). Green extraction of natural products: Concept and principles. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(7), 8615–8627. <https://doi.org/10.3390/ijms13078615>

Chocolates Artesanos Isabel. (s. f.). Cascarilla de cacao: beneficios y recetas. <https://chocolatesartesanosisabel.com/cascarilla-de-cacao-beneficios-recetas/>

Ciprián Jiménez, M. (2020). *Aplicación de la cáscara del grano de cacao (Theobroma cacao L.) como fuente de flavonoides en productos a base de cereales: Revisión de literatura* [Tesis de licenciatura, Universidad Zamorano]. Repositorio Institucional Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstreams/a1c5bf9b-bd4c-4e23-99b9-3acdcec8fab9/download>

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2020). *Documento CONPES 4011: Política de emprendimiento*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/4011.pdf>

Djali, M. S., Setiasih, I. S., & Rindiantika, T. S. (2023). Proximate composition and bioactive compounds of cocoa by-products: A review. *Foods*, 12(15), 2835. <https://doi.org/10.3390/foods12152835>

Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture>

European Commission. (2023). *Circular economy action plan*. https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en

Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao). (2015). *Guía técnica para el cultivo del cacao en Colombia*. <https://canacacao.org/wp-content/uploads/FEDECACAO-GUIA-TECNICA-2015-BAJA-1.pdf>

Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao). (2023). *Informe anual del sector cacaotero*. <https://www.fedecacao.com.co/site/index.php/es/>

Food and Land Use Coalition. (s. f.). *Responsible land use and resource efficiency through circular food production*. (Recuperado el 1 de noviembre de 2025). <https://www.foodandlandusecoalition.org/responsible-land-use-and-resource-efficiency-through-circular-food-production/>

Gil-Ramírez, A., et al. (2024). Uncovering cocoa shell as a safe bioactive food ingredient. *Food Research International*, 183, 113.

Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA). (2024). *Normatividad de alimentos y bebidas*. <https://www.invima.gov.co/normatividad>

Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA). (2025). *Tarifas*. <https://www.invima.gov.co/tramites-y-servicios/tarifas>

International Cocoa Organization (ICCO). (2023). *Estudio sobre la producción de cacao fino o de aroma*.

Jarrín-Chacón, J. P., Núñez-Pérez, J., Espín-Valladares, R. de C., Manosalvas-Quiroz, L. A., Rodríguez-Cabrera, H. M., & Pais-Chanfrau, J. M. (2023). Pectin extraction from residues of the cocoa fruit (*Theobroma cacao* L.) by different organic acids: A comparative study. *Foods*, 12(3), 590. <https://doi.org/10.3390/foods12030590>

Lefeber, T., Janssens, M., Camu, N., & De Vuyst, L. (2010). Kinetic analysis of lactic acid bacteria and acetic acid bacteria in cocoa pulp simulation media: Towards a starter culture for cocoa bean fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(23), 7708–7716. <https://doi.org/10.1128/AEM.01206-10>

Martínez, A., & Hernández, J. (2022). Aprovechamiento de subproductos de cacao en alimentos. *Revista Agroalimentaria*, 28(3), 45–56.

Meersman, E., Steensels, J., Mathawan, M., Wittcox, P.-J., Saels, V., Struyf, N., Aerts, G., Daniel, H.-M., & Verstrepen, K. J. (2013). Detailed analysis of the microbial population in Malaysian spontaneous cocoa pulp fermentations reveals a core and variable microbiota. *PLoS ONE*, 8(12), e81559. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081559>

Merino, M. (2019). *Diseño e implementación de reactor anaerobio semicontinuo para aprovechamiento de cáscaras de cacao* [Tesis de pregrado].

Ministerio de Agricultura de Colombia. (2023). *Informe de consumo de miel en Colombia*.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). *Resolución 2674 de 2013*. <https://www.funcionpublica.gov.co/documents/418537/604808/1962.pdf/abe38fb4-e74d-4dcc-b812-52776a9787f6>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2021, 16 de junio). *Resolución 810 de 2021*. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resolución%20No.%20810de%202021.pdf

Ministerio de Salud y Protección Social. (2022, 13 de diciembre). *Resolución 2492 de* *2022.*

[https://www.minsalud.gov.co/Normatividad Nuevo/Resoluci3n%20No.%202492de%202022.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad%20Nuevo/Resoluci3n%20No.%202492de%202022.pdf)

Nascimento, M. B., et al. (2025). Functional and technological potential of by-products from cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Food Chemistry* (en prensa).

Nunes, C. d. S. O., de Carvalho, G. B. M., da Silva, M. L. C., da Silva, G. P., Machado, B. A. S., & Uetanabaro, A. P. T. (2017). Cocoa pulp in beer production: Applicability and fermentative process performance. *PLoS ONE*, *12*(4), e0175677. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175677>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) & Organización Mundial de la Salud (OMS). (2023). *Codex Alimentarius: Principios y directrices sobre la adición de edulcorantes a los alimentos.*

Procolombia. (2023). *Oportunidades de exportar cacao colombiano en el mercado global.*

Quiceno-Suárez, F. A., et al. (2024). By-products of the cocoa agribusiness: High value applications. *RedALyC Journal*.

Riveros-Cepeda, J. (2023). *Aprovechamiento de subproductos del beneficio del cacao.*

Rojo-Poveda, O., Barbosa-Pereira, L., Orden, D., & Zeppa, G. (2020). Cocoa bean shell - A by-product with nutritional properties and biofunctional potential. *Nutrients*, *12*(4), 1123. <https://doi.org/10.3390/nu12041123>

Ruiz Lázaro, F. J. (s. f.). *Estado del arte*. Scribd.

Sánchez, M., Laca, A., Laca, A., & Díaz, M. (2023). Cocoa bean shell: A by-product with high potential for nutritional and biotechnological applications. *Antioxidants*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/antiox12051028>

Sarmiento-Vásquez, Z., Silva-Campos, A., López, M. L., & Freitas, S. P. (2021). Cocoa pod husk valorization: Alkaline-enzymatic pre-treatment for propionic acid production. *Cellulose*, 28(7), 4009–4024.

SCIELO. (2024). Aprovechamiento de residuos de cacao en fincas andinas.

Semana. (2023). Este es el departamento del país que produce más cacao.

Soares, J. C., Bispo, E. S., & de Jesus, M. S. (2022). Cocoa by-products: Characterization of bioactive compounds and beneficial health effects. *Journal of Food Science and Technology*.

Soares, T. F., & Oliveira, M. B. P. P. (2022). Cocoa by-products: Characterization of bioactive compounds and beneficial health effects. *Molecules*, 27(5), 1625. <https://doi.org/10.3390/molecules27051625>

Téllez, H. B. H., Muñoz, M. C. G., Salazar, I. X. C., & Aldana, A. P. S. (2019). Evaluation of the fermentation process and final quality of five cacao clones from the department of Huila, Colombia. *DYNA*, 86(210). <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.75814>

The Food Tech. (2023a). Economía circular: el modelo de negocio que busca innovar en la industria alimentaria.

The Food Tech. (2023b). El mucílago de cacao, ingrediente que crece en el arte culinario.

U.S. Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. (2024, 15 de octubre). *The Colombian cacao sector - 2024 update* (Report No. CO2024-0011).

Universidad Técnica de Babahoyo. (s. f.). *Aprovechamiento del mucílago de cacao (Theobroma cacao L.) para la obtención de un néctar con cannabis no psicoactivo (Cannabis sativa L.)*.

Universidad Tecnológica de Bolívar (UTB). (2023). *Aprovechamiento de residuos de cacao en productos alimenticios* [Tesis de pregrado].

Vargas Lucero, W. E. (2022). Las propiedades de la cascarilla de grano de cacao.

Vega González, R. J. (2024). Subproductos de cacao (*Theobroma cacao*) en la alimentación animal: ¿Una alternativa viable y sostenible? *Manglar*. <https://doi.org/10.57188/manglar.2024.013>

Vergara-Mendoza, M., Martínez, G. R., Blanco-Tirado, C., & Combariza, M. Y. (2022). Mass balance and compositional analysis of biomass outputs from cacao fruits. *Molecules*.